

تصميم الشبكات الكهربائية

وقل رب زدني علما
Damascus University

منشورات جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية الكهربائية

تصميم الشبكات الكهربائية

الدكتور

مصطفى الحزوري

أستاذ في قسم هندسة الطاقة الكهربائية

جامعة دمشق

1438-1439 هـ

2016-2017 م

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفهرس	
الفهرس	5
الباب الأول(هندسة الإنارة)	**13**
الفصل الأول: المفاهيم والقوانين الأساسية للإنارة .	**15**
1-1 مقدمة	15
1-2 تعاريف	15
1-2-1 الضوء والرؤية	15
1-2-2 الفيض الضوئي	18
1-2-3 الشدة الضوئية	19
1-2-4 سوية الإنارة	20
1-2-5 الوضوح	21
1-3 القيم العملية لكميات الإنارة لبعض المنابع الضوئية	23
1-4 السطح الناثر المنتظم	24
1-5 الخواص الانعكاسية والانتقالية للسطوح	25
1-6 قانون التربيع العكسي وقانون التجيب	29
1-7 المخططات المميزة لأجهزة الإنارة	33
1-7-1 مخطط الشدة الضوئية	33
1-7-2 مخطط سوية الإنارة الثابتة	36
1-7-3 مخطط توزيع سوية الإنارة	40
1-7-4 مخطط الشدة الضوئية الثابتة	41
1-7-5 مخطط توزيع الفيض الضوئي	41
1-8 تطبيقات	42
الفصل الثاني : المنابع الضوئية الكهربائية (المصابيح)	**51**
2-1 مقدمة	51
2-2 المنابع الضوئية الكهربائية	53
2-2-1 المصابيح المتوهجة	54

2-2-2 المصابيح الانفراغية	58
2-2-3 المصابيح الموفرة للطاقة	68
2-2-4 مصابيح الليدات	69
2-3 الترميز ودرجة الحماية لأجهزة الإنارة الكهربائية	74
الفصل الثالث: الأسس التصميمية للإنارة الداخلية	**77**
3-1 مقدمة	77
3-2 التوزيع الضوئي لأجهزة الإنارة	77
3-3 العلاقة بين وضوح جهاز الإنارة والوهج	78
3-4 الأسس المتبعة في توزيع أجهزة الإنارة	80
3-5 اختيار نظام الإنارة المناسب	81
3-6 سويات الإنارة المعتمدة	82
3-7 طرق حساب سوية الإنارة الداخلية	83
3-8 حساب سوية الإنارة و الفيض الضوئي لمنابع ذات أشكال هندسية	88
3-8-1 حساب الفيض الضوئي لبعض السطوح المضيئة	88
3-8-2 حساب سويات الإنارة الناتجة عن المنابع الضوئية	91
3-9 تطبيقات	113
الفصل الرابع :الأسس التصميمية للإنارة الخارجية	**121**
4-1 مقدمة	121
4-2 إنارة الشوارع والطرق	121
4-2-1 وضوح الرؤية	121
4-2-2 المعلومات المطلوب توفرها عند إجراء دراسة إنارة شارع أو طريق	122
4-2-3 المصابيح المستخدمة في إنارة الشوارع والطرق	123
4-2-4 أجهزة إنارة الشوارع	124
4-2-5 تصنيف الشوارع والطرق	128
4-2-6 سويات الإنارة المعتمدة في إنارة الشوارع	134
4-2-7 أساليب معتمدة لتوزيع أعمدة الإنارة في الشوارع	135

4-2-8 الحسابات العملية لإنارة الشوارع	141
4-2-8-1 مفاهيم وتعاريف عامة	141
4-2-8-2 طرق وأساليب حساب سوية الإنارة	142
4-2-8-3 تطبيقات	151
4-2-9 طرق حساب الوضوح	158
4-2-10 الوهج	161
4-2-10-1 تقييم الوهج	161
4-2-10-2 دور الوهج في اختيار نموذج المصباح	163
4-2 إنارة الأنفاق	163
4-3-1 مقدمة	163
4-3-2 التوصيات الخاصة بإنارة الأنفاق	163
4-3-3 مستوى الإنارة داخل النفق	164
4-3-4 مناطق النفق التي يجب تركيز دراسة الإنارة فيها	165
4-3-5 مستويات الوضوح في النفق	166
4-5 الإنارة الخارجية الفائضة	168
4-5-1 مقدمة	168
4-5-2 استخدام الإنارة الخارجية لأهداف الإنارة التزيينية	168
4-5-2-1 تحديد سوية الإنارة المطلوبة لإضاءة واجهة ما	171
4-5-2-2 طرق حساب الإنارة لأهداف تزيينية	172
4-5-3 الإنارة الفائضة في الملاعب الرياضية	181
4-5-3-1 مقدمة	181
4-5-3-2 سويات الإنارة الخارجية في الملاعب الرياضية	181
4-5-4 إنارة المسابح	195
4-5-5 تطبيقات	202
الباب الثاني(الشبكات في المباني ومنابع التوليد الاحتياطية)	**207**
الفصل الأول : شبكات التغذية الكهربائية في المباني والمنشآت الصناعية	**209**

1-1 مقدمة	209
2-1 أسس تصميم دارات التيار القوي في المباني العامة	209
3-1 أسس تصميم دارات التيار القوي في المنشآت الصناعية	222
4-1 التأريض	226
الفصل الثاني :الشبكات الخدمية	**227**
2-1 مقدمة	227
2-2 أسس تصميم دارات التيار الضعيف	227
2-2-1 طرق مد أسلاك وكابلات التيار الضعيف	227
2-2-2 شبكات التيار الضعيف	228
2-2-2-1 شبكة الهاتف	228
2-2-2-2 شبكة الإنذار عن الحريق	230
2-2-2-3 شبكة المعلوماتية	240
2-2-2-4 شبكة هوائي التلفزيون الموحد	244
2-2-2-5 شبكات كاميرات المراقبة	250
2-3 شبكات ونظم التأريض	256
2-3-1 أسس وتعاريف	256
2-3-2 نظم التأريض	258
2-3-3 عناصر نظام التأريض	265
2-4 شبكات الحماية من الصواعق	283
2-4-1 تصميم العناصر الرئيسية لنظام الحماية من الصواعق	288
الفصل الثالث :منابع توليد الطاقة الكهربائية الاحتياطية	**301**
3-1 مقدمة	301
3-2 نظم توليد الطاقة الكهربائية باستخدام مجموعات الديزل	301
3-3 نظم مدخرات القدرة	318
3-4 أنظمة عدم الانقطاع UBS	319
3-5 نظم توليد الطاقة الكهرو شمسية	320

6-3 نظم توليد الطاقة الكهربائية الريحية	327
الباب الثالث(تصميم خطوط نقل القدرة الهوائية)	**333**
الفصل الأول : مبادئ أساسية في تصميم خطوط نقل القدرة الكهربائية	**335**
1-1 مقدمة	335
1-2 أعمال المرحلة الأولى	335
1-3 أعمال المرحلة الثانية	337
1-4 أعمال المرحلة الثالثة	383
1-5 إعداد إضبار المشروع	340
الفصل الثاني : كابلات القدرة الكهربائية منخفضة ومتوسطة التوتر .	341
2-1 مقدمة	341
2-2 حساب مقطع الكابل	341
2-3 المواصفات الفنية لكابلات القدرة الكهربائية	345
2-3-1 المواصفات الفنية لكابلات التوتر المنخفض	345
2-3-2 المواصفات الفنية لكابلات التوتر المتوسط	350
الفصل الثالث: النواقل المستخدمة في خطوط نقل القدرة الهوائية.	**361**
3-1 مقدمة	361
3-2 أنماط النواقل حسب بنيتها	361
3-3 الخواص الكهربائية العامة للنواقل	366
3-4 أنواع النواقل المستخدمة في شبكات توزيع وخطوط نقل القدرة الكهربائية	366
الفصل الرابع : الدراسة الميكانيكية للنواقل وسلاسل العوازل	**375**
4-1 مقدمة	375
4-2 الخواص الميكانيكية للنواقل	375
4-3 التصميم الميكانيكي للنواقل	384
4-3-1 معادلة السلسلة الأفقية	384
4-3-2 السهم الأعظمي	388
4-3-3 قوى الشد عند نقاط التعليق	390

4-3-4 السليسلة المائلة	391
4-4 الفرضيات المناخية	395
4-5 معادلة تغير الحالة	396
4-6 المنحنيات المميزة للنواقل	400
4-7 المسافات بين النواقل وبين النواقل وجسم الحامل	403
4-8 تطبيقات	411
الفصل الخامس : تصميم الحوامل.	**425**
5-1 مقدمة	425
5-2 تصنيف الحوامل	425
5-3 القوى الخارجية على الحوامل	429
5-4 القوى الداخلية في الحوامل	435
5-4-1 حساب القوى الداخلية في الحوامل	435
5-5 الحسابات التصميمية للحوامل	439
5-5-1 الأعمدة الخشبية	439
5-5-2 الحوامل الخرسانية أو البيتونية المسلحة	458
5-5-3 الأعمدة الفولاذية	463
5-5-4 الأبراج المعدنية	467
5-5-4-1 نماذج الأبراج المعدنية حسب مستوى التوتر	468
5-5-4-2 اعتبارات تصميمية في الأبراج	474
5-5-4-3 الحسابات التصميمية لنماذج أبراج التوتر العالي	474
5-5-4-4 تصميم عناصر أبراج التوتر العالي	480
5-5-4-5 حساب أبراج الزاوية	483
5-5-4-6 تأثير انقطاع أحد النواقل على البرج	484
5-5-4-7 تصميم حاملات العوازل	484
5-5-4-8 تطبيقات	489
الفصل السادس : تصميم قواعد الحوامل	**503**

1-6 مقدمة	503
2-6 الخواص الأساسية للتربة	504
3-6 النماذج الأساسية للقواعد البيتونية	506
4-6 القوى الخارجية المؤثرة في القواعد	507
5-6 تصميم قواعد الأبراج والأعمدة	509
6-6 تطبيقات	520
الباب الرابع(تصميم شبكات توزيع التوتر المنخفض 0.4 kv)	**529**
الفصل الأول : أسس حساب الحمولات في شبكات التوزيع الكهربائية	**531**
1-1 مقدمة	531
2-1 الأعمال التحضيرية من أجل تصميم شبكة توزيع	532
3-1 حساب استطاعة الحمولات وتقديرها	534
1-3-1 تقدير استطاعة الحمولات الكهربائية	534
2-3-1 عوامل الاستخدام والتباين	535
3-3-1 تطبيقات	538
الفصل الثاني : التصميم الميكانيكي لشبكات التوزيع الكهربائية الهوائية	**543**
1-2 مقدمة	543
2-2 التصميم الميكانيكي لشبكات توزيع التوتر المنخفض الهوائية	543
3-2 التصميم الميكانيكي لشبكات توزيع التوتر المتوسط الهوائية	550
4-2 التصميم الميكانيكي لخطوط نقل القدرة الهوائية عالية التوتر	564
الفصل الثالث : تصميم شبكات التوزيع الكهربائية الأرضية	**569**
1-3 مقدمة	569
2-3 تصميم شبكات توزيع التوتر المنخفض الأرضية	569
3-3 تصميم شبكات توزيع التوتر المتوسط الأرضية	578
الفصل الرابع : تصميم مراكز التحويل 20/0.4 KV في شبكات التوزيع	**593**
1-4 مقدمة	593
2-4 اختيار موقع مركز التحويل	593

4-3 الشروط الفنية لبناء مراكز التحويل الأرضية والهوائية	595
4-4 المواصفات الفنية لتجهيزات مراكز التحويل الأرضية والهوائية	601
4-5 تأريض مراكز التحويل	620
4-6 الأبعاد الدنيا المسموح بها بين تجهيزات مركز التحويل الأرضي	621
الملحق A	623
الرموز والمصطلحات	631
المراجع	633

الباب الأول

هندسة الإنارة

Illumination Engineering

تعتبر هندسة الإنارة من المواضيع الأساسية في الدراسات الكهربائية، وهو موضوع كبير وواسع ولا يمكن تغطية كل تفاصيله وجزئياته من خلال باب في كتاب بل يحتاج إلى كتب خاصة به. في هذا الباب سنحاول شرح أهم المبادئ والأسس لدراسة مشروع إنارة من خلال الفصول التالية :

الفصل الأول: المفاهيم والقوانين الأساسية للإنارة .

الفصل الثاني : المنابع الضوئية الكهربائية (المصابيح)

الفصل الثالث: الأسس التصميمية للإنارة الداخلية .

الفصل الرابع :الأسس التصميمية للإنارة الخارجية.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الأول

المفاهيم والقوانين الأساسية للإنارة

Basic Concepts and Laws

1-1 مقدمة:Introduction

في هذا الفصل سنقدم شرحا عن المفاهيم والمصطلحات الأساسية في علم الإنارة، كما سنستنتج القوانين الأساسية المستخدمة في حسابات الإنارة .[1],[41],[81],[92],[103]

1-2 تعاريف: definitions

1-2-1 الضوء والرؤية : (Light and Vision):

الضوء هو طاقة إشعاعية (Radiant Energy) قادرة على خلق رؤية في العين، ومن الوجهة الفيزيائية الضوء هو مجموعة من الموجات الكهرطيسية التي تشغل جزء صغير من طيف كهرطيسي حدوده التقريبية بالنسبة لطول الموجة تقع بين 3800 A (أنجستروم) و 7800 A، هذه الموجات تنتشر في الجو بسرعة ثابتة تساوي سرعة الضوء $300\times10^{6}\ m/s$. يقاس طول الموجة بالأنجستروم $(10^{-10}\ m)$ أو بالميكرون $(10^{-6}\ m)$ أو الميلي ميكرون $(10^{-9}\ m)$، العلاقة بين التردد وطول الموجة وسعة الضوء هي:

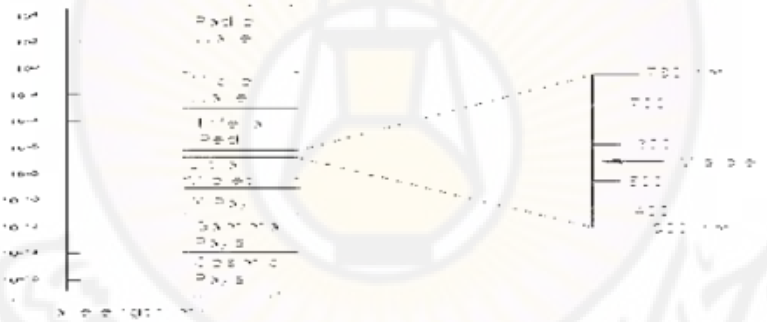
$$f=\frac{3.00\times10^{8}}{\lambda} \qquad (1-1)$$

f = التردد دروة/ثا.

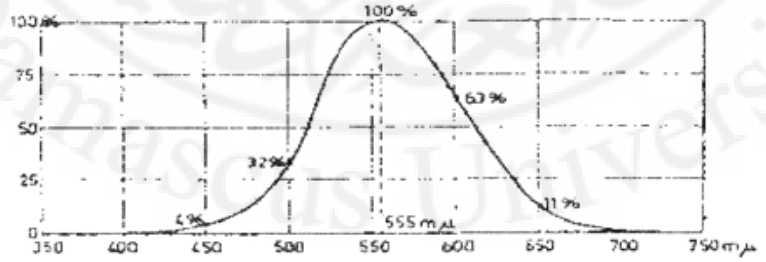
λ = طول الموجة بالمتر.

إن ترتيب الألوان في الطيف المرئي تصاعدياً حسب طول الموجة هو: بنفسجي- أزرق- أخضر- أصفر- برتقالي- أحمر. إن طول الموجة الضوئي يعطي انطباعاً لونياً في

العين ويتغير هذا الانطباع بتغير طول الموجة. هذا يعني أن العين تقوم الموجات الضوئية المرئية ذات الأطوال المختلفة تقويماً من حيث شدة تأثرها بالضوء، فمثلاً لو أخذنا عدة طاقات ضوئية متساوية ولكن بأطوال موجية مختلفة فإن الإشعاع ذو اللون الأخضر المصفر (yellow-green) والذي طول موجته ($555m\mu$) يعطي أقوى انطباع ضوئي في العين، بالمقابل فإن الإشعاع ذا اللون الأحمر أو البنفسجي يعطي تأثيراً ضوئياً ضعيفاً. مما سبق نستنتج أنه يوجد علاقة بين لون الضوء وحساسية العين الضوئية، هذه العلاقة تمثل بمنحن يطلق عليه اسم منحني المردود الضوئي النسبي للعين (Relative efficiency curve) ويسمى أحياناً منحني نورانية العين (Luminosity curve). الشكل (1-1-أ-ب) يمثل هذه العلاقة حيث تظهر الحساسية العظمى الضوئية للعين عند اللون الأخضر المصفر وتتناقص تدريجياً باتجاه اللونين الأحمر والبنفسجي.

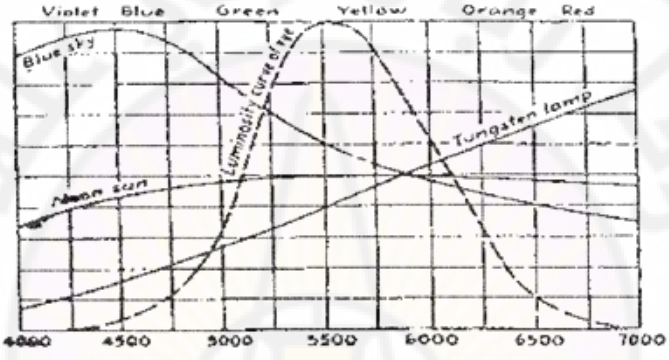


الشكل (1-1-أ) منحني المردود الضوئي النسبي للعين



الشكل (1-1-ب) منحني المردود الضوئي النسبي للعين

تعتبر الحساسية الضوئية النسبية مساوية إلى القيمة العظمى 100% عند طول موجة ($555m\mu$) وهي طول موجة اللون الأخضر المصفر، أما حساسية العين الضيائية أو الضوئية لبقية الألوان فإنها تنسب إلى القيمة العظمى، فمثلاً حساسية العين للون البرتقالي هي (63%). الشكل (1-2) يبين حساسية العين الضوئية بالنسبة لمصباح متوهج، ضوء الشمس عند منتصف النهار، واللون الطبيعي لسماء زرقاء.



الشكل (1-2) منحني نورانية العين بالنسبة لمنحنيات الطيف لمصباح متوهج

تعريف فعل بوركينج Purkinge effect:

عند سويات إنارة منخفضة بحدود 0.01lux أو أقل تحدث الرؤيا تحت ظروف الرؤيا المظلمة (Scooped vision) ، في هذه الحالة تتحسس العين للرؤيا من خلال خلاياها المحيطية العصوية حيث يصبح تمييز التفاصيل الدقيقة والألوان للأجسام شبه معدوم وتظهر الأجسام منمقة ورمادية اللون بغض النظر عن الشكل واللون الحقيقي لها، أما عندما تكون سويات الإنارة بحدود 1lux أو أكثر فإن العين تتحسس للرؤيا من خلال خلاياها المخروطية وهذه الخلايا تتأثر بالتفاصيل الدقيقة والألوان وتحدث الرؤيا تحت ظروف الرؤية المضيئة (photonics vision) وتظهر الرؤيا الأعظمية عند موجة طولها $555m\mu$ وهي مجموعة اللون الأصفر. إن منحني حساسية الخلايا العصوية الضوئية مشابه لمنحني الحساسية الضوئية للخلايا المخروطية غير أن قمته تظهر عند موجة طولها $507m\mu$ وهي موجة اللون الأخضر المائل للأزرق. في مجال سويات إنارة واقعة

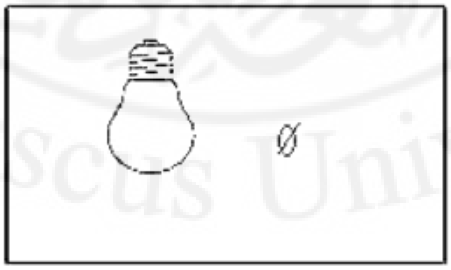
بين 0.01-1lux فإن الخلايا العصوية والمخروطية تعملان معاً ومنحني الحساسية الضوئية يقع بين المنحنيين السابقين. إن الانزياح بين قمة منحني الرؤية المظلمة ومنحني الرؤية المضيئة يدعى بفعل بوركينج ،الشكل (1-3) يبين هذه الظاهرة.



الشكل (1-3) ظاهرة بوركينج

1-2-2 الفيض الضوئي (السيالة الضوئية) Luminous flux:

الفيض الضوئي هو كمية الضوء التي يعطيها المنبع الضوئي في الثانية ويرمز له بالرمز Φ ويقاس باللومن (Lumen) وتختصر بـ Lm ، حيث أن اللومن الواحد يعادل وات ضوئي واحد. الوات الضوئي = الوات × المردود النسبي لحساسية العين عند طول موجي قدره $555m\mu$. الشكل (1-4) يبين توزع الفيض الضوئي حول مصباح إنارة.

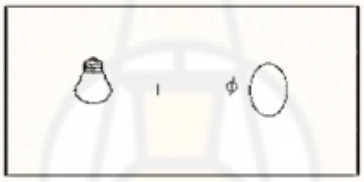


الشكل (1-4) توزع الفيض الضوئي حول مصباح إنارة.

1-2-3 الشدة الضوئية Luminous Intensity:

تعرف الشدة الضوئية لمنبع ضوئي بمقدرة هذا المنبع على إشعاع الضوء في وحدة الزوايا المجسمة في اتجاه معين ويرمز لها بالرمز I وتقاس بالكانديلا (Candela) وتختصر بـ Cd، حيث يستخدم الستيريديان Steredian لقياس الزاوية المجسمة . لحساب الزاوية المجسمة نفترض وجود نقطة في مركز كرة (الشكل1-5- أ-ب) يرى منها قطاع زاوي زاويته المجسمة ω ويحدد مساحة على سطح الكرة قدرها A، في هذه الحالة تعطى الزاوية المجسمة ω بالعلاقة:

$$\omega = \frac{A}{r^2} \qquad (1-2)$$



الشكل(1-5-آ) الزاوية المجسمة التي تحدد شعاع الشدة الضونية والفيض الضوني



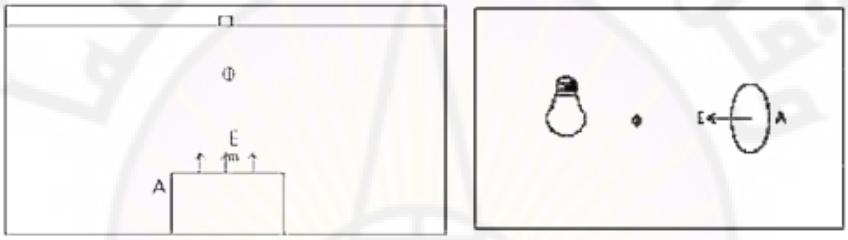
الشكل(1-5-ب) الزاوية المجسمة التي تحدد شعاع الشدة الضونية والفيض الضوني

وبما أن سطح الكرة هو $S = 4\pi r^2$ فإن الزاوية المجسمة هي 4π. مما سبق يمكن كتابة العلاقة بين الشدة الضوئية والفيض الضوئي:

$$I = \Delta\Phi / \Delta\omega \qquad (1-3)$$

4-2-1 الإنارة (سوية الإنارة) Illuminance:

سوية الإنارة هي مقياس درجة تركيز الضوء الساقط على سطح ما ويرمز لها بالرمز E وتقاس باللوكس Lux وتختصر بـ Lx، حيث 1Lux = 1 Lumen/m^2. في الوحدات الانكليزية تقاس الإنارة بالقدم- كاندل (foot – candle) حيث $\left(1\,fc = 1\,Lm/\,ft^2\right)$ و القدم كاندل يعادل 10.76 Lux، أي أن اللوكس يعادل $0.093\ Lm/\,ft^2$. الشكل (1-6) يبين العلاقة بين الفيض الضوئي وسوية الإنارة.

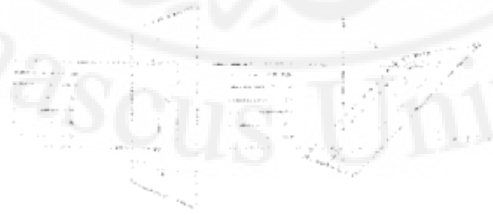


الشكل(1-6) العلاقة بين الفيض الضوئي وسوية الإنارة.

إن العلاقة بين سوية الإنارة الوسطية E_{av} والفيض الضوئي Φ الساقط على السطح المضاء S تعطى بالعلاقة:

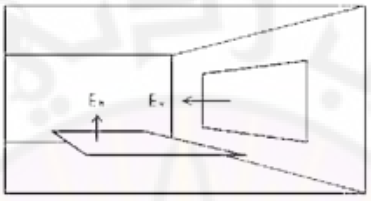
$$E_{av} = \Phi / S_r \qquad (1-4)$$

من العلاقة (1-4) نلاحظ أن سوية الإنارة تتغير بتغير زاوية ورود الفيض الضوئي على السطح المضاء. الشكل (1-7) يبين ذلك.



الشكل (1-7) تغير سوية الإنارة بتغير زاوية ورود الفيض على السطح المضاء

في الحسابات العملية لسوية الإنارة يجب أن نميز بين سويتين للإنارة الأولى سوية إنارة على السطح الأفقي المقابل لمنبع الضوء E_h، أما الثانية فهي سوية الإنارة على المستوي العمودي على مستوي تعليق المنبع الضوئي E_v. الشكل (1-8) بين وضعية هاتين السويتين.



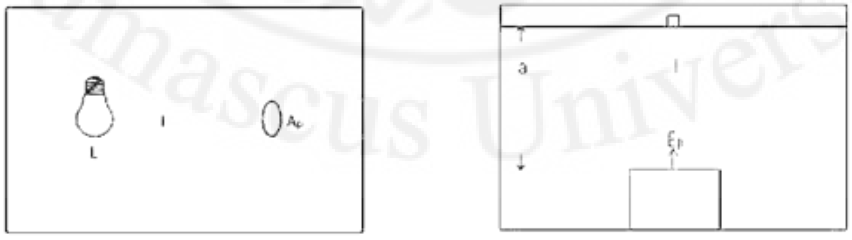
الشكل(1-8) وضعية سويتي الإنارة العمودية والأفقية

1-2-5 الوضوح Luminance:

يعرف الوضوح أو السطوع لسطح مضيء أو سطح عاكس بأنه الشدة الضوئية لهذا السطح في اتجاه معين مقسوماً على مساحته المسقطة كما ترى من هذا الاتجاه. أو بعبارة أخرى هو كثافة الشدة الضوئية في اتجاه معين ويرمز له بالرمز L ويقاس بواحدة cd/m^2 أو cd/cm^2 يحسب الوضوح بدلالة الشدة الضوئية من العلاقة:

$$L = \frac{I}{A_p} \qquad (1-5)$$

الشكل(1-9) يبين العلاقة بين الشدة الضوئية والوضوح.

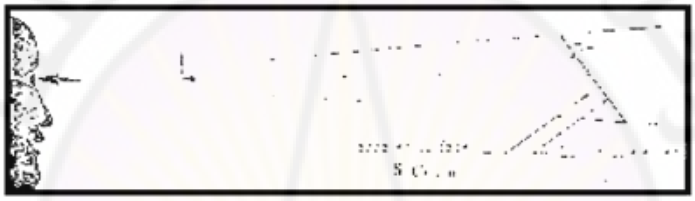


الشكل(1-9) لعلاقة بين الشدة الضونية والوضوح.

في حالة وجود زاوية ميل للسطح المضاء عن الوضع الشاقولي كما هو موضح على الشكل (1-10) فإن الوضوح عند ذلك يحسب من العلاقة :

$$L = \frac{I}{S \cos \alpha} \qquad (1-6)$$

حيث تمثل S المساحة الحقيقية للسطح المضيء أو العاكس $S \cos \alpha$ المساحة المسقطة أو الظاهرة في اتجاه الشدة الضوئية I.



الشكل (1-10) وضوح سطح مضيء أو عاكس

في السطوح العاكسة التي لها خاصية الناثر المنتظم يعطى الوضوح بالعلاقة:

$$L = \frac{\mathrm{E} \times r_{\rho}}{\pi} cd/m^2 \qquad (1-7)$$

E- سوية الإنارة.

r_{ρ} - عامل الانعكاس للسطح.

يطلق أحياناً على cd/cm^2 اسم ستيلب (stilb) وعلى cd/m^2 اسم نيت (nit)، ويقاس الوضوح بالوحدات الإنكليزية بالكانديلا على القدم المربع (Candles per sq.) أو الكانديلا على البوصة المربعة (Candles per sq in)، كما يقاس أيضاً باللومن على القدم المربع

وفي هذه الحالة يطلق عليه اسم القدم لامبرت (ft – Lamberts).

$$1\,\text{ft Lamberts} = \frac{1}{\pi} candles\ \ per\ \ sq.ft \quad 1cd/cm^2 = 2920\ \ foot - Lamberts$$

1-3 القيم العملية لكميات الإنارة لبعض المنابع الضوئية:

تبين الفقرات التالية قيماً تقريبية لكل من الفيض الضوئي، سوية الإنارة، الشدة الضوئية، والوضوح لبعض المنابع الضوئية التي نصادفها في الحياة العملية:

1-3-1 الفيض الضوئي :

مصباح دراجة عادية	10 Lm
مصباح متوهج 150 w	1940 Lm
مصباح بخار صوديوم 140 W	13000Lm
مصباح بخار زئبق 400 W	20000 Lm

1-3-2 سوية الإنارة :

منتصف النهار وفي فصل الصيف وموقع مفتوح وسماء	100 000 Lux
منتصف النهار وفي فصل الشتاء وموقع مفتوح	10 000 Lux
منتصف النهار وفي فصل الصيف وتحت الشرفة	2000 – 5000 Lux
منتصف النهار وفي فصل الصيف وخلف النافذة	1000 – 3000 Lux
شروق الشمس وغروبها	500 Lux
ليلة فيها القمر بدر والسماء صافية	0.25 Lux
مكتب ذو إنارة جيدة	800 Lux

1-3-3 الشدة الضوئية :

مصباح دراجة عادية أمامية بدون عاكس	1 cd
مصباح دراجة عادية أمامية بعاكس	250 cd
مصباح مرآة عاكسة 150 w وعلى المحور الرئيس	20 000 cd

1-3-4 الوضوح:

الشمس	165 000 cd/cm^2
القمر	0.25 cd/cm^2
فتيلة مصباح متوهج	700 cd/cm^2
مصباح متوهج	20 cd/cm^2
مصباح فلوريسنت في الاتجاه العرضي	8000 cd/m^2

4-1 السطح الناثر المنتظم perfect diffuser surface:

السطح الناثر المنتظم أو الناثر المثالي هو سطح مضيء أو مضاء يبعث الأشعة الضوئية بشكل منتظم في جميع الاتجاهات حيث تتغير الشدة الضوئية في أي اتجاه بالنسبة للشدة الناظمية للسطح مع تغير تجيب الزاوية الواقعة بين الناظم والشعاع في هذا الاتجاه. الخواص الضوئية لهذا السطح تتبع قانون لامبرت الذي يعطي العلاقة بين الشدة الضوئية النظامية I_o والشدة الضوئية I_α في أي اتجاه على النحو التالي:

$$I_\alpha = I_o \cos\alpha \qquad (1-8)$$

الشكل (1-11) يوضح العلاقة بين الشدة الضوئية وزاوية انتشار الأشعة مقاسة من الناظم.



الشكل (1-11) سطح ناثر منتظم

إن هذه الخاصية أو الميزة للسطح الناثر المنتظم تجعل وضوحه ثابتاً في جميع الاتجاهات، ويمكن إثبات ذلك كما يلي:

$$L = I_\alpha / S\cos\alpha = I\cos\alpha / S\cos\alpha$$

$$L = \frac{I}{S} \qquad (1-9)$$

حيث : I الشدة الناظمية و S مساحة السطح المضيء.

1-5 الخواص الانعكاسية والانتقالية للسطوح:

عندما يسقط شعاع ضوئي على جسم ما فإن الفيض الساقط يتجزأ إلى ثلاث مركبات:

1- الفيض الضوئي المنعكس.

2- الفيض الضوئي المنتقل.

3- الفيض الضوئي الممتص.

وإذا رمزنا لعامل الانعكاس بالرمز r ولعامل الانتقال بالرمز t ولعامل الامتصاص بالرمز a يمكن كتابة العلاقة:

$$r + a + t = 1 \qquad (1-10)$$

1-5-1 الانعكاس Reflection:

من المعلوم أن الضوء الذي يصل إلينا ليس ناتجاً فقط من الإشعاع الضوئي المباشر الذي تعطيه المنابع الضوئية، وإنما يصل الجزء الأكبر منه إلينا عن طريق الانعكاسات الضوئية من الأجسام المحيطة وهي التي لها خواص انعكاسية ضوئية نطلق عليها اسم المنابع الضوئية الثانوية. يعرف عامل الانعكاس بأنه النسبة بين الفيض الضوئي المنعكس إلى الفيض الساقط. الجدول (1-1) يبين عوامل الانعكاس لعدة أنواع من المواد التي نصادفها بكثرة في الحياة العملية عند تعرضها للضوء الأبيض.

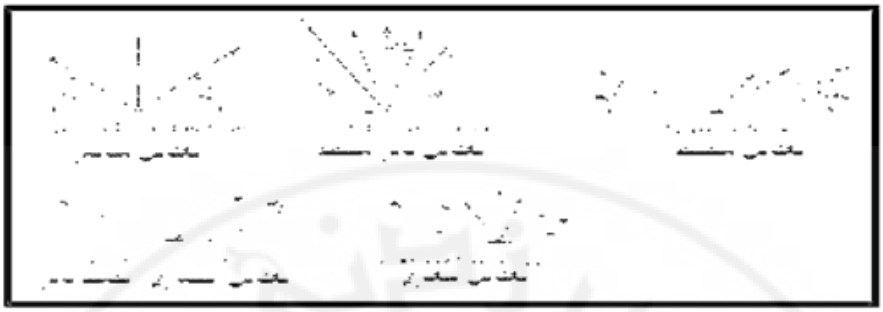
جدول (1-1) عامل الانعكاس لعدة أنواع من السطوح بالنسبة للضوء ذي اللون الأبيض

الشكل (1-12) يبين العلاقة بين الخواص الانعكاسية لبعض المعادن وطول موجة الضوء الساقط. هنا نميز نوعين من المواد، بعضها تملك خواص انعكاسية حيادية (Neutral reflection) وبعضها تملك خواص انعكاسية انتقائية (Selective reflection). في النوع الأول المادة تعكس الألوان كافة بالقوة نفسها تقريباً. من الناحية العملية نميز بين خمسة أصناف من الانعكاس، كما هو مبين في الشكل (1-13):

1- الانعكاس المباشر .
2- الانعكاس الناثر.
3- الانعكاس المنتشر.
4- الانعكاس المختلط.
5- الانعكاس المتناثر (المبعثر).

في الانعكاس المباشر يعكس السطح الأشعة الساقطة عليه كما في المرآة، أما في الانعكاس الناثر فتنعكس الأشعة في جميع الاتجاهات بصورة منتظمة وفقاً لقانون لامبرت حيث يبدو السطح متساوي السطوع من الاتجاهات كافة وهذا النوع من السطوح نادر الوجود في الحياة العملية. بشكل عام تعطي السطوح انعكاسات إما من النوع النصف ناثر أو المختلط، ففي الانعكاس النصف ناثر يحدث انتشار كبير بحيث يتبع قانون الانعكاس المباشر. إن السطوح غير اللامعة تعطي هذا الانعكاس.

الشكل (1-12) تغير عوامل الانعكاس بتغير الطول الموجي للإشعاع الساقط



الشكل (1-13) أنواع الانعكاس في السطوح

في الانعكاس المختلط تنعكس بعض الأشعة الضوئية انعكاساً ناثراً، وبعضها الآخر ينعكس انعكاساً مباشراً ومثال على ذلك السطوح البورسيلينية، الدهان الزياتي اللامع. أما في الانعكاس المتبعثر فإن الشعاع الساقط يتجزأ إلى عدة أشعة منعكسة، مثال على ذلك اصطدام الأشعة بزجاج محجر. الجدول (1-2) يبين عوامل الانعكاس لألوان متعددة من سطوح لها خاصية الانعكاس الناثر.

جدول (1-2) عوامل الانعكاس لسطح ناثر عند عدة ألوان

Color	light	average	Dark
Yellow	0.70	0.50	0.30
Beige	0.65	0.45	0.25
Brown	0.50	0.25	0.28
Red	0.35	0.20	0.10
Green	0.60	0.30	0.12
Blue	0.50	0.20	0.05
Grey	0.60	0.35	0.20
White	0.80	0.70	-
Black		0.04	-

1-5-2 الانتقال Transmission:

عمليا" يمكن أن نميز عند انتقال الأشعة عبر السطوح خمسة أنواع من الانتقال:

1- الانتقال المباشر.

2- الانتقال الناثر المنتظم.

3- الانتقال الناثر (نصف ناثر).

4- الانتقال المختلط.

5- الانتقال المبعثر.

الشكل(1-14) يبين الأنواع المختلفة للانتقال عبر السطوح الزجاجية . يظهر الانتقال المباشر في الزجاج أو البلاستيك الصافي الشفاف حيث تخترق الأشعة السطح المعرض بعد أن تفقد قسماً كبيراً من طاقتها نتيجة الانعكاس أو الامتصاص الجزئي، وتظهر من الجانب المقابل لسطح السقوط بحيث تكون زاوية الأشعة الساقطة هي نفسها زاوية الأشعة المغادرة. في الانتقال الناثر تتبعث الأشعة المنتقلة بصورة منتظمة في جميع الاتجاهات وفقاً لقانون لامبرت ويظهر سطوع المادة متساوياً من الاتجاهات كافة. من الصعب مصادفة مواد من هذا النوع ولكن الزجاج الحبيبي أو الزجاج ذا اللون الأبيض له خواص انتقالية قريبة من ذلك. في الانتقال النصف ناثر تنفذ الأشعة وتنتشر حيث يأخذ منحاها العام اتجاه الانتقال المباشر وكمثال على ذلك الزجاج المغشى (المثلج) حيث يظهر للناظر الزجاج ساطعاً في اتجاه معين أكثر من الاتجاهات الأخرى. في الانتقال المختلط ينتشر جزء من الأشعة النافذة والجزء الآخر ينتقل انتقالاً مباشراً ومثال على ذلك الزجاج المضلع. يحدث الانتقال المبعثر عندما تتكسر الأشعة النافذة إلى مجموعة من الأشعة النافذة المباشرة ومثال على ذلك الزجاج المحجر (سطح غير مستوي) هذا النوع من الزجاج يظهر كأنه متلألئ. الجدول (1-3) يبين عوامل الانتقال لبعض المواد النافذة للضوء كالزجاج والحرير والورق.

جدول (1-3) عوامل الانتقال لبعض المواد

Clear glass	0.90 – 0.93
DE polished glass	0.55 – 0.56
Serrated glass	0.65 – 0.75
Opalescent glass	0.59 – 0.84
Milk glass	0.10 – 0.38

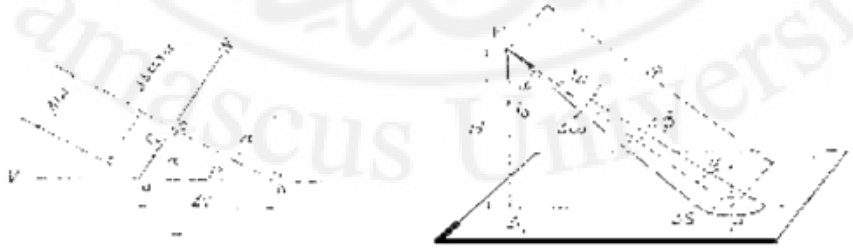
Flashed ople glass	0.35 – 0.65
White silk	0.60 – 0.70
Coloured silk	0.15 – 0.55
Silk lamp shade with white lining	0.05 – 0.35
Parchment paper	0.40 – 0.45



الشكل (1-14) أنواع الانتقال في السطوح

1-6 قانون التربيع العكسي وقانون التجيب: The Inverse Square law and Cosine Law

ليكن لدينا سطح مستوٍ (V) كما في الشكل (1-15- أ-ب) مضاء بواسطة منبع ضوئي نقطي F ، ولنأخذ نقطة اختيارية P على هذا السطح مضاءة بالإشعاع الوارد في الاتجاه FP، ولتكن الشدة الضوئية في اتجاه النقطة P هي I_α كانديلا.



الشكل (1-15) قانون التربيع العكسي وقانون التجيب

يعطى الفيض الضوئي الجزئي $\Delta\Phi$ الواقع في الزاوية المجسمة $\Delta\omega$ بالعلاقة:

$$\Delta\Phi = I_\alpha \, \Delta\omega \qquad (1-11)$$

يسقط الفيض الضوئي على سطح ΔS ضمن زاوية مجسمة $\Delta\omega$ تقابل النقطة F ومنه:

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S} \qquad (1-12)$$

$$\Rightarrow E = I_\alpha \, \frac{\Delta\Phi}{\Delta S} \qquad (1-13)$$

لنأخذ المنطقة المحيطة بالنقطة P ونظهرها كما في الشكل (1-15 ب)، لنفرض أن الزاوية $\Delta\omega$ ضيقة جداً حيث يمكن افتراضها تصنع زاوية α مع الناظم على السطح المضاء. لنتصور وجود سطح آخر عند النقطة P هو W ومتعامد مع الاتجاه $\Delta\omega$. من الواضح أن السطح الجزئي Q من هذا السطح والذي يقابل الزاوية $\Delta\omega$ هو أصغر من ΔS. إن نسبة هذين العنصرين تساوي نسبة الضلع ac إلى الضلع ab من المثلث abc، وبما أن الزاوية بين هذين الضلعين هي α وأن c زاوية قائمة إذن: $ac/ab = \cos\alpha$ من هذا يمكن حساب مساحة العنصر Q من العلاقة:

$$\Delta S' = \Delta S \cos\alpha \qquad (1-14)$$

يمكن أن يعبر عن قيمة $\Delta S'$ بصورة أخرى، حيث يمثل العنصر Q قسماً "صغيراً" جداً من السطح الكروي الذي يقع في مركزه المنبع F أي:

$$\Delta S' = R^2 \, \Delta\omega \qquad (1-15)$$

$$\Rightarrow \Delta S = \frac{\Delta S'}{\cos\alpha} = \frac{R^2 \, \Delta\omega}{\cos\alpha} \qquad (1-16)$$

$$\Rightarrow E = \frac{I_\alpha}{R^2} \cos\alpha \qquad (1-17)$$

تدعى هذه العلاقة بقانون حساب الإنارة النقطية ويمكن كتابتها بعدة أشكال. عند ورود الشعاع الضوئي بشكل ناظمي على السطح المضاء تصبح $\cos\alpha = 1$، أي أن:

$$E = \frac{I_\alpha}{R^2} \qquad (1-18)$$

يمكن أيضاً كتابة العلاقة (1-17) بدلالة الارتفاع H وزاوية الورود α كما يلي:

$$\frac{H^2}{R^2} = \cos^2\alpha \qquad (1-19)$$

$$\frac{1}{R^2} = \frac{1}{H^2}\cos^2\alpha \quad \Rightarrow E = \frac{I_\alpha}{H^2}\cos^3\alpha \qquad (1-20)$$

يبين الشكل (1-16) حالة $\alpha = 0$

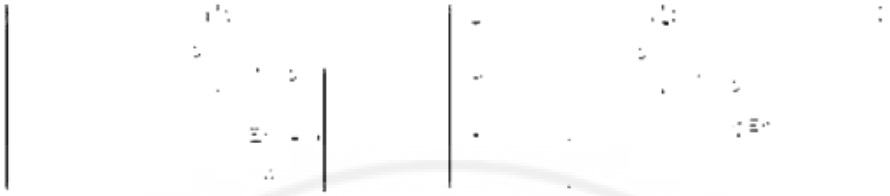


الشكل (1-16) حالة $\alpha = 0$

بصورة عامة إذا افترضنا أن سوية الإنارة في المستوى الأفقي هي E_H وسوية الإنارة على المستوى العمودي هي E_V كما في الشكل (1-17-أ-ب)، يمكن كتابة ما يلي:

$$E_H = \frac{I_\alpha \cos^3\alpha}{H^2} \qquad (1-21)$$

$$E_V = \frac{I_\alpha \cos^2\alpha \sin\alpha}{H^2} \qquad (1-22)$$



الشكل(1-17-آ) سوية الإنارة الأفقية الشكل(1-17-ب) سوية الإنارة العمودية

تمكننا العلاقة (1-20) من استنتاج قانونين أساسيين للإنارة هما:

أ- **قانون التربيع العكسي Inverse square law:**

ينص قانون التربيع العكسي على أن سوية الإنارة التي يعطيها منبع ضوئي نقطي تتناسب عكساً مع مربع المسافة بين المنبع والنقطة المضاءة. ويمكن توضيح هذا القانون بالاستعانة بالشكل (1-18) حيث تمثل النقطة F المنبع النقطي، حيث أن الفيض الضوئي الذي يصل إلى السطح القريب من المنبع هو نفسه الذي يصل إلى السطح البعيد عنه، وإذا افترضنا أن بعد السطح الثاني عن المنبع هو ضعف بعد السطح الأول، فهذا يعني أن مساحة السطح الثاني هي أربعة أمثال مساحة السطح الأول وهذا يدل على أن سوية الإنارة على السطح البعيد تساوي ربع سوية الإنارة على السطح القريب.



الشكل (1-18) قانون التربيع العكسي في الإنارة

ب-**قانون التجيب Cosine Law:**

ينص هذا القانون على أن سوية الإنارة التي يسببها منبع نقطي تتناسب مع تجيب الزاوية التي يصنعها الشعاع الساقط من المنبع مع الناظم على السطح في النقطة المضاءة. من

الشكل (1-19) نرى إن كمية الفيض الضوئي التي تصل إلى السطح ABCD هي نفسها التي تصل إلى السطح EFGH ولكن مساحة هذا السطح أكبر من السطح الأول بنسبة $1:\cos\theta$ ، هذا يعني أن سوية الإنارة على السطح المائل أصغر من سوية الإنارة على السطح العمودي بنسبة $\cos\theta:1$.



الشكل (1-19) قانون التجيب في الإنارة

يستخدم هذا القانون في حساب سويات الإنارة التي تعطيها المنابع النقطية ، ويعد المنبع نقطياً إذا كان بعد النقطة المطلوب حسب الإنارة فيها عن المنبع الضوئي لا يقل عن خمسة أمثال أكبر بعد من أبعاد الجهاز.

1-7 المخططات المميزة لأجهزة الإنارة: Illumination Diagrams

من الناحية العملية توجد عدة مخططات مميزة لأجهزة الإنارة يستفاد منها في دراسة خواص الجهاز وحسابات الإنارة . تصمم هذه المخططات من الشركات المصنعة لأجهزة الإنارة، وتعطى لمستثمر الجهاز كنشرات فنية. من أهم هذه المخططات ما يلي:

1-7-1 مخطط الشدة الضوئية: Luminous Intensity diagram

يبين منحني الشدة الضوئية لمنبع ضوئي شكل توزع الضوء في الفراغ المحيط بالجهاز، ويظهر هذا التوزيع برسم العلاقة بين الشدة الضوئية I واتجاه الشعاع في الفراغ المحيط بالجهاز، حيث تقاس زاوية الاتجاه للشعاع بدءا من الخط الشاقولي (يعتبر الاتجاه السفلي للخط الشاقولي مبدأ لقياس الزوايا) ويجري تمثيل هذه العلاقة باستخدام

الإحداثيات القطبية. ترسم المنحنيات القطبية عادة منسوبة لفيض ضوئي قدره 1000 لومن (قيمة أساس)، ويجرى حساب الشدة الضوئية الحقيقية بتصحيح القيمة المقروءة من المخطط بضربها بالفيض الضوئي للجهاز مقسوماً على 1000 ، والشكل (1-20) يبين المنحني القطبي لمنبع ضوئي يشع في الاتجاهين السفلي والعلوي، حيث يتضح أن هذا المنحني متناظر حول خط الصفر (المحور العمودي). في مثل هذه الحالة يمكن الاكتفاء برسم نصف المنحني فقط، ويرسم النصف الآخر بالتناظر. يدعى هذا النوع من المنابع الذي له خاصية التناظر حول المحور العمودي ($180^{\circ}-0$) بالمنبع ذي التوزيع الضوئي المتناظر، وكمثال على ذلك أجهزة الإنارة التي تستخدم المصابيح المتوهجة، يضاف لذلك فهذا النوع من المنابع له الخواص الضوئية نفسها في جميع المستويات العمودية التي فصلها المشترك محور الجهاز والمنطبق على الخط العمودي ($180^{\circ}-0$)، كما أن لها منحني شدة ضوئية فراغي نحصل عليه من تدوير المنحني القطبي للجهاز حول المحور ($180^{\circ}-0$)دورة كاملة. إن المنابع الضوئية التي لا تملك توزيعاً ضوئياً متماثلاً في جميع المستويات (المنابع غير المتناظرة)، تتميز بمنحني شدة ضوئية في المستوى العمودي على محور الجهاز (المنحني المتعارض) ومنحني شدة ضوئية في المستوى العمودي المار بمحور الجهاز (المنحني المحوري). الشكل (1-21) يبين منحنيات الشدة الضوئية لمصباح من الفلوريسنت في مستويين.

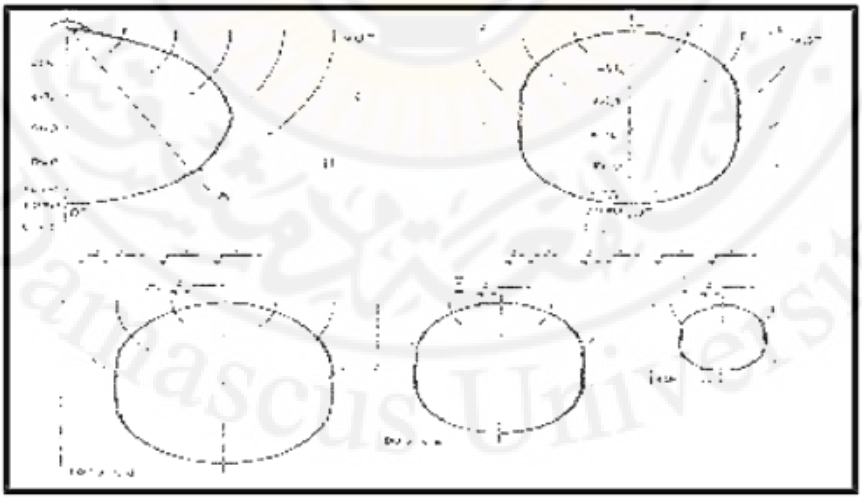


الشكل (1-20) المنحني القطبي المتناظر لمنبع ضوئي



الشكل (1-21) منحنيات الشدة الضوئية لمصباح من الفلوريسنت

في بعض المنابع الضوئية الخطية (جهاز إنارة فلورسنت مثلاً) والتي تتصف بتوزيع شدة ضوئية غير متناظر أي لها منحني شدة ضوئية مميز في المستوي العمودي على محور الجهاز ومنحني آخر مميز في المستوى العمودي المار بمحور الجهاز، يمكن افتراض أن منحنيات الشدة الضوئية كافة في المستويات التي فصلها المشترك هو محور الجهاز صورة مصغرة عن المنحني الأصلي الواقع في المستوي العمودي المار في الجهاز وهذا موضح في الشكل (1-22).

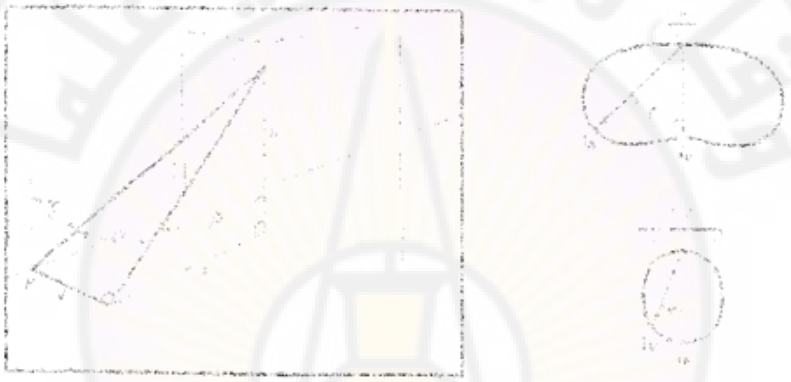


الشكل (1-22) المنحنيات القطبية في المستوي الأفقي والعمودي

في مثل هذه الحالة وعند افتراض المنبع أنه منبع نقطي وبالاستعانة بالشكل (1-23) يمكن حساب سوية الإنارة في نقطة P على المستوى الأفقي الموازي للجهاز من العلاقة:

$$E_h = \frac{I\beta}{I_o} \cdot \frac{h}{\sqrt{(a^2 + b^2 + h^2)^3}} \qquad (1-23)$$

تستخدم هذه العلاقة في الحسابات النقطية للإنارة الخارجية لمثل هذا النوع من الأجهزة.

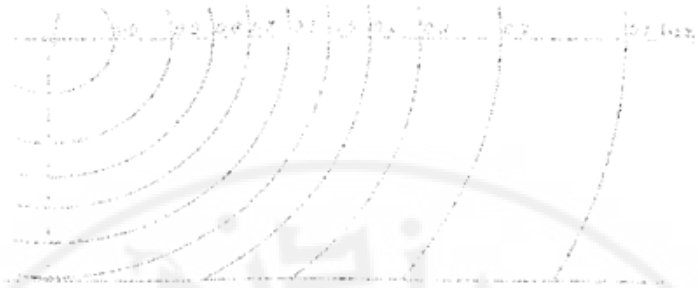


الشكل (1-23) حساب سوية الإنارة في النقطة P

إن لمنحنيات الشدة الضوئية أهمية كبيرة في الحسابات النقطية للإنارة وفي حسابات توزيع الفيض الضوئي لأجهزة الإنارة.

1-7-2 مخطط سوية الإنارة الثابتة Isolux diagram:

يمثل هذا المخطط توزيع الإنارة على المستوى الأفقي أي المستوي المضاء، ويتألف من مجموعة من المنحنيات تقع عليها النقاط التي تتساوى فيها سويات الإنارة، فلو أخذنا مثلاً منبعاً ضوئياً له خواص ضوئية متناظرة حول محوره العمودي على السطح المضاء، فإن مخطط سوية الإنارة الثابتة لهذا المنبع عبارة عن مجموعة من الدوائر المركزية، مركزها مسقط الجهاز في المستوي المضاء وكل دائرة تمثل قيمة معينة لسوية الإنارة كما في الشكل (1-24).



الشكل (1-24) مخطط سوية الإنارة الثابتة لمنبع ذي خواص ضوئية متناظرة

يمكن أيضاً رسم مخطط سوية الإنارة الثابتة لمنبعين متجاورين لهما خواص ضوئية متناظرة يجري الوصل بين النقاط ذات سويات الإنارة الثابتة التي تحددها نقاط التقاطع بين دوائر الإنارة الثابتة للمنبعين، والشكل (1-25) يبين ذلك بالنسبة لمنبعين على محاذاة بعضهما ولمنبعين مزاحين.



الشكل (1-25) مخطط سوية الإنارة الثابتة لمنبعين متجاورين لهما خواص ضوئية متناظرة

للحصول على منحنيات سوية الإنارة الثابتة لمنبع له خواص ضوئية متناظرة يجرى اختيار عدة نقاط من المستوى المضاء وعلى أبعاد متساوية من مسقط الجهاز على هذا المستوي، ثم تحسب سوية الإنارة مباشرة في هذه النقاط باستخدام قانون الإنارة النقطية. أما بالنسبة للأجهزة التي لها توزيع شدة ضوئية غير متناظر في هذه الحالة يتم الحصول على منحنيات الإنارة الثابتة بطريقتين:

أ- معرفة توزيع الشدة الضوئية الفراغي للمنبع (منحني الشدة الضوئية الثابتة) على المستوي الأفقي أو معرفة الشدة الضوئية للمنبع في عدة مستويات عمودية فصلها المشترك المحور الشاقولي المار بالمنبع . بعد ذلك يتم تحديد سويات الإنارة بدءاً من النقطة 0 في إيجاد الأقطار OA, OB, OC (خطوط تقاطع المستويات العمودية مع المستوي الأفقي) كما في الشكل (1-26) ، ثم تحسب سوية الإنارة في النقطة P على أحد الأقطار (القطر OB) مثلاً من قانون سوية الإنارة النقطية:



الشكل (1-26) خطوط تقاطع المستويات العمودية مع المستوي الأفقي

ب-في هذه الطريقة تحسب سويات الإنارة على المستوي الأفقي مع المستويات المائلة المارة بمحور الجهاز ، إن سوية الإنارة في النقطة P على المستوى الأفقي تعطى بموجب الشكل (1-27) بالعلاقة:

$$E_p = \frac{I_\alpha}{H^2}\cos^3 \alpha \cos^3 \beta \qquad (1-24)$$

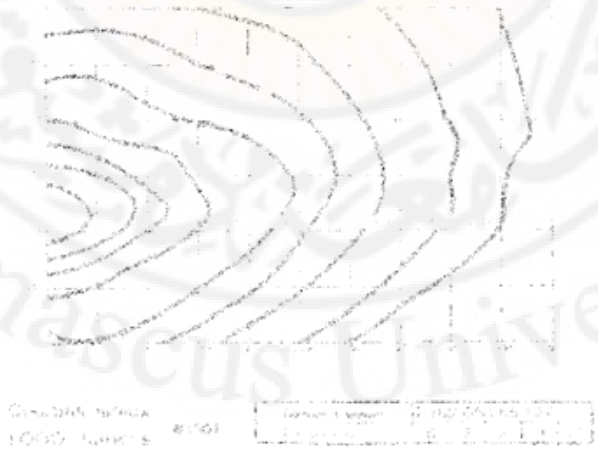


الشكل (1-27) خطوط تقاطع مستو أفقي مع المستويات المارة بمحور الجهاز

الشكل (1-28) يبين مخطط سوية الإنارة الثابتة لمنبع غير متناظر تم الحصول عليه من استخدام الطريقتين السابقتين. تستخدم منحنيات سوية الإنارة الثابتة في حسابات إنارة الشوارع، إذ يمكن بوساطتها دراسة توزيع الإنارة على سطح الطريق. الشكل (1-29) يبين مخطط الإنارة الثابتة لجهاز إنارة شوارع حيث تظهر قيم سويات الإنارة بالنسبة لفيض ضوئي قيمته 1000 لومن مع قائمة بعوامل التصحيح تتعلق بارتفاع جهاز الإنارة عن أرض الشارع، أما الإحداثيات على المحورين فهي بدلالة الارتفاع مع ملاحظة وجود إنارة أمام الجهاز (جانب الشارع) ووجود إنارة خلف الجهاز (جانب الرصيف).



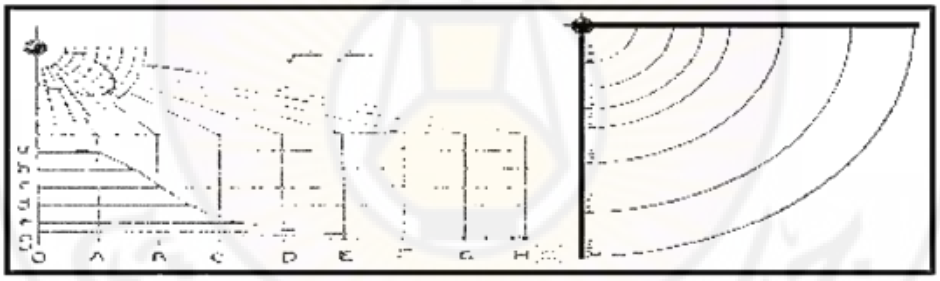
الشكل (1-28) مخطط الإنارة الثابتة لمنبع غير متناظر



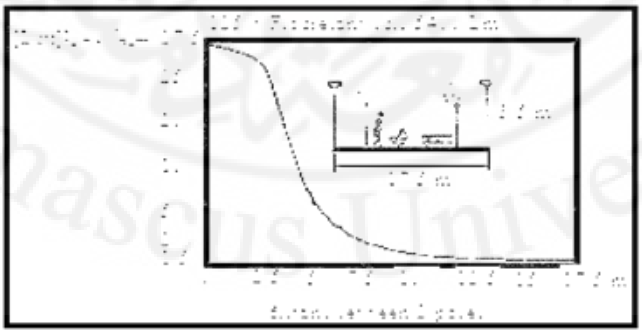
الشكل (1-29) مخطط الإنارة الثابتة لجهاز إنارة شوارع

3-7-1 مخطط توزيع سوية الإنارة: Iluminance distribution diagram

في أجهزة الإنارة التي تتصف بالتوزيع الضوئي المتناظر في جميع الاتجاهات يمكن تمثيل سوية الإنارة التي تعطيها هذه الأجهزة على المستوي الأفقي وهي تعد ثابتة بالنسبة لكافة النقاط التي تبعد عن أثر الجهاز على المستوى الأفقي بعدا" متساويا بمنحني يبين العلاقة بين البعد عن أثر الجهاز على المستوي الأفقي وسوية الإنارة. يجرى رسم هذا المنحني بالاستعانة بمنحني شدة الإضاءة القطبي للجهاز ، كما يمكن أيضاً من هذا المخطط رسم مخطط سوية الإنارة الثابتة كما هو موضح في الشكل (1-30). هذا النوع من مخططات توزيع الإنارة شائع الاستخدام في أجهزة إنارة ممرات المشاة وأجهزة إنارة الساحات. الشكل (1-31) يبين مخطط توزيع الإنارة لجهاز إنارة ممر مشاة مركب على ارتفاع 3.5 m ويستخدم مصباح بخار زئبقي ذا ضغط عالٍ استطاعة 125 w.



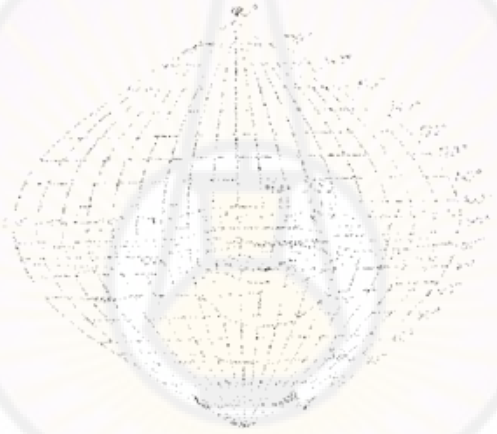
الشكل (1-30)مخطط توزيع الإنارة بالاستعانة بمنحني شدة الإضاءة القطبي للجهاز



الشكل (1-31) مخطط توزيع الإنارة لجهاز ممر مشاة

1-7-4 مخطط الشدة الضوئية الثابتة: Luminous Intensity diagram Constant

يمثل هذا المخطط الفراغي مجموعة من المنحنيات مرسومة على سطح كرة وكل منحنٍ هو مجموعة من النقاط لها شدة ضوئية واحدة. يجري تحديد موقع أي نقطة بالفراغ المحيط بجهاز الإنارة والمفروض أنه موجود في مركز الكرة الأرضية بمعرفة خط الطول وخط العرض الواقعة عليه . الشكل (1-32) يبين هذا المخطط، ويستخدم هذا النوع من المخططات في حسابات الإنارة النقطية للمنابع غير المتناظرة، كما يستخدم في إيجاد مخطط سوية الإنارة الثابتة (إيزولوكس).



الشكل (1-32) مخطط الشدة الضوئية الثابتة

1-7-5 مخطط توزيع الفيض الضوئي Zonal Luminous Flux diagram :

يمثل هذا المخطط التوزيع النسبي للفيض الضوئي لجهاز معين في الفراغ المحيط به وضمن الزوايا المجسمة الواقعة بين (0°-180°) ، الشكل (1-33) يبين هذا المخطط. من هذا الشكل نرى أن المستوي الذي يفصل نصف الكرة العلوي عن نصف الكرة السفلي وهو يقابل الزوايا 90° يحدد أن 57% من الفيض الضوئي الإجمالي للجهاز يشع في الاتجاه العلوي و 43% من الفيض الإجمالي يشع في الاتجاه السفلي. يمكن من مخطط توزيع الفيض الضوئي لجهاز إنارة قراءة المعلومات الآتية:

أ- مردود الجهاز الضوئي وذلك عند وجود ضياع في الفيض الضوئي الذي يشعه المصباح نتيجة الخواص الامتصاصية للجهاز، حيث يقرأ المردود عند الزاوية 180، إذ أن في هذه الحالة تكون النتيجة التي تقابل هذه الزاوية أقل من 100% ولتكن مثلاً 80% هذا يعني أن 20% من الفيض الضوئي يضيع في الجهاز.

ب- كمية الفيض التي يشعها الجهاز تحت المستوي الأفقي وتقرأ زاوية 90 درجة .

جـ- كمية الفيض الضوئي التي يشعها الجهاز فوق المستوي الأفقي وهي عبارة عن الفرق بين (أ) و(ب). كمية الفيض الضوئي التي يشعها الجهاز ضمن نطاق معين، في هذه الحالة يؤخذ الفرق بين القيمتين المتقابلتين لحدود النطاق.



الشكل (1-33) مخطط توزيع الفيض الضوئي

1-8 تطبيقات:

تطبيق 1:

استخدمت مجموعة من أجهزة الإنارة لإنارة ممر ، علقت على ارتفاع 16m من الأرض ووزعت على محوره الطولي بتباعد 25m بين كل جهازين، إذا افترضنا أن الشدة الضوئية متساوية لكل الأجهزة وتساوي 1000cd في الاتجاهات كافة وتحت المستوي الأفقي فقط، والمطلوب:

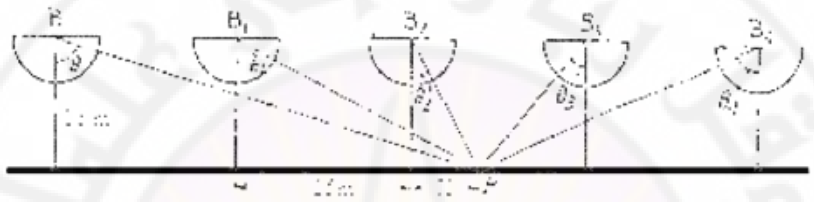
1- حساب سوية الإنارة الدنيا على محور الممر.

2- رسم منحني توزيع سوية الإنارة على محور الممر بين مصباحين بعد إجراء الحسابات اللازمة.

الحل:

1- الشكل (1-34) يبين مواقع خمسة أجهزة على المحور الطولي للممر هي

$$B, B_1, B_2, B_3, B_4$$



الشكل (1-34) مواقع خمسة أجهزة على المحور الطولي للممر

إن سوية الإنارة في النقطة P الواقعة على بعد X من الجهاز B_2 هي :

$$\frac{1000}{B_2P^2}\cos^3\theta_2 = \frac{1000}{16^2}\cos^3\theta_2$$

وعليه فإن سوية الإنارة الكلية في النقطة P هي:

$$(1000/16^2)(\cos^3\theta_1 + \cos^3\theta_2 + \cos^3\theta_3 + \cos^3\theta_4 ....)$$

حيث $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ هي الزاوية التي تصنعها الأشعة B_1P, B_2P, B_3P مع الشاقول ومنه:

$$\tan\theta_1 = (25+\chi)/16, \tan\theta_2 = (25+\chi)/16. \tan\theta_3 = (25+\chi)/16,$$
$$\tan\theta_4 = (25+\chi)/16$$

يمكن بسهولة استنتاج إن سوية الإنارة الدنيا تظهر بين مصباحين متتاليين وسوية الإنارة العظمى تظهر تحت المصباح مباشرة. وللحصول على سوية الإنارة العظمى أو الدنيا نشتق ونعدم المشتق:

$$\frac{d}{d\chi}\left[\frac{1000}{16^2}\left(\cos^3\theta_1+\cos^3\theta_2+\cos^3\theta_3+\cos^3\theta_4+\ldots\right)\right]=0$$

$$\Rightarrow -\frac{1000}{16^2}\times 3\left(\cos^2\theta_1\sin\theta_1\frac{d\theta_1}{d\chi}+\therefore\right)=0$$

$$=-\frac{1000\times 3}{16^2\times 16}\left(\ldots\cos^4\theta_1\sin\theta_1+\cos^4\theta_2\sin\theta_2-\cos^4\theta_3\sin\theta_3-\right.$$
$$\left.-\cos^4\theta_4\sin\theta_4\ldots.\right)$$

عندما تكون P واقعة في منتصف المسافة بين B_3,B_2 يكون $\theta_2=\theta_3,\theta_1=\theta_4$، هذا يعني أن الحدود تلغي بعضها على شكل أزواج، وتظهر في هذه الحالة القيمة الدنيا للإنارة عند وقوع P مباشرة تحت الجهاز B_2 أي :

$$\theta_2=0,\theta_1=\theta_3$$

وهذا يعني أن الحدود لحاوية θ_2 تساوي الصفر وباقي الحدود تلغي بعضها على شكل أزواج وتظهر في هذه الحالة القيمة العظمى للإنارة. إن سوية الإنارة تحت الجهاز B_2 مباشرة يمكن حسابها من العلاقة العامة بعد جعل x = o أي:

$$\theta_2=0,\theta_1=\theta_3=\tan^{-1}(25/16\;\theta=\theta_4=\tan^{-1}(50/16),etc)$$

من ذلك يمكن حساب سوية الإنارة العظمى كالتالي:

$$(1000/16^2)(1+2\times 0.157+2\times 0.028+2\times 0.009)$$
$$=(1000\times 1.39)/16^2=5.4lux$$

إن سوية الإنارة الدنيا تظهر في نقطة واقعة في منتصف المسافة بين B_3,B_2 حيث في هذه الحالة:

$$\theta_2=\theta_3=\tan^{-1}(12.5/16).\;\theta_1=\theta_4=\tan^{-1}(37.5/16),etc$$

ومنه يمكن تنظيم الجدول التالي:

$\theta_3 = 38^\circ$	$\cos\theta_3 = 0.788$	$\cos^3\theta_3 = 0.489$
$\theta_4 = 66^\circ 57'$	$\cos\theta_4 = 0.32$	$\cos^3\theta_4 = 0.062$
$\theta_5 = 75^\circ 39'$	$\cos\theta_5 = 0/248$	$\cos^3\theta_5 = 0.015$

وعليه فإن الإنارة في هذه النقطة:

$$(1000/16^2)\times 2\times(0.489+0.062+0.015)$$
$$=(1000\times 2\times 0.566)/16^2 = 4.4\,hlx$$

2- إن سوية الإنارة في نقطة واقعة في منتصف المسافة بين سويتي الإنارة الدنيا والعظمى فإن: $x = 6.25\,m$. ومنه يمكن تنظيم الجدول التالي:

$\theta_2 = \tan^{-1}(6.25/16) = 21^\circ 21'$	$\cos\theta_2 = 0.931$	$\cos^3\theta_2 = 0.807$
$\theta_3 = \tan^{-1}(18.75/16) = 49^\circ 33'$	$\cos\theta_3 = 0.649$	$\cos^3\theta_3 = 0.273$
$\theta_1 = \tan^{-1}(31.25/16) = 62^\circ 54'$	$\cos\theta_1 = 0.456$	$\cos^3\theta_1 = 0.095$
$\theta_4 = \tan^{-1}(43.75/16) = 69^\circ 57'$	$\cos\theta_4 = 0.343$	$\cos^3\theta_4 = 0.040$
$\theta = \tan^{-1}(56.25/16) = 74^\circ 9'$	$\cos\theta = 0.273$	$\cos^3\theta_2 = 0.012$
$\theta_5 = \tan^{-1}(68.75/16) = 76^\circ 45'$	$\cos\theta_5 = 0.227$	$\cos^3\theta_5 = 0.012$

إن سوية الإنارة في هذه النقطة:

$$(1000/16^2)\times 1.247 = 4.87\,hlx$$

يبين الشكل (1-35) توزيع الإنارة على محور الممر.



الشكل (1-35) توزيع الإنارة على محور الممر

تطبيق 2:

وحدة ضوئية وضعت على صارٍ بارتفاع (25m) فوق سطح الطريق. لنفرض أن المطلوب من هذه الوحدة المضيئة تأمين سوية إنارة أفقية منتظمة بمقدار 2 لوكس على سطح الطريق لمسافة قدرها (75m) من كعب الصاري ثم بعد ذلك يتم قطع الإضاءة كلياً .المطلوب إيجاد منحني الشدة الضوئية لهذه الوحدة.

الحل:

$$E = \frac{I \cos^3 \theta}{h^2}$$

حيث: h هي الارتفاع ويساوي (25 m).

لنأخذ على طول الطريق مسافات متتابعة أفقية وكل مسافة تساوي 15m ومنه وبموجب الشكل (1-36) يمكن كتابة ما يلي:



الشكل (1-36) النقاط المدروسة على سطح الطريق

$\cos\theta_1 = 1$ ومنه: $\cos^3\theta_1 = 1$
$\cos\theta_2 - \cos(\tan^{-1} 0.6) = \cos 31 = 0.86$, $\cos^3\theta_2 = 0.63$

$\cos\theta_3 - \cos(\tan^{-1}1.2) = \cos 50 = 0.65 \ , \ \cos^3\theta_3 = 0.27$
$\cos\theta_4 - \cos(\tan^{-1}1.8) = \cos 561 = 0.49 \ , \ \cos^3\theta_4 - 0.12$
$\cos\theta_5 - \cos(\tan^{-1}2.4) = \cos 67\,{}^1\!/_2 = 0.38 , \ \cos^3\theta_5 - 0.06$
$\cos\theta_6 - \cos(\tan^{-1}3.0) = \cos 71\,{}^1\!/_2 = 0.32 , \ \cos^3\theta_6 = 0.03$

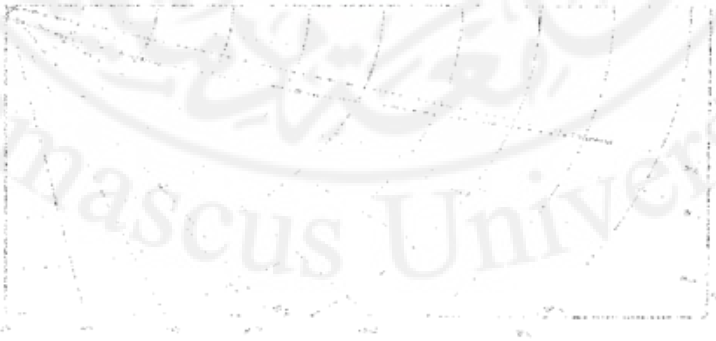
من العلاقة $I = \dfrac{E \times h^2}{\cos^3\theta}$ يمكن حساب الشدة الضوئية في النقاط الست:

$$I_1 = 2.0 \times 625 = 1250 \quad candela \qquad I_2 = \frac{125}{0.63} = 198.4 \quad candela$$

$$I_3 = \frac{125}{0.27} = 462.9 \quad candela \qquad I_4 = \frac{125}{0.12} = 1041.6 \quad candela$$

$$I_5 = \frac{125}{0.06} = 2083.3 \quad candela \qquad I_6 = \frac{125}{0.03} = 4166.66 \quad candela$$

بعد الانتهاء من الحسابات السابقة يجري رسم منحني الشدة الضوئية القطبية كما هو مبين في الشكل (1-37) وهذا المنحني متناظر حول المحور العمودي لذلك يكتفى برسم القسم الأيمن منه.



الشكل (1-37) منحني شدة الإضاءة القطبي

تطبيق 3:

صـــارٍ ارتفاعـــه 27m ركبـــت عليـــه مجموعـــة ضـــوئية تعطـــي شـــدة ضـــوئية ثابتـــة $I_0 = 6000\,cd$ في جميع الاتجاهات .المطلوب حساب سوية الإنارة على المستوي الأفقي في النقاط التي تبعد (0,20,40,60m) عن كعب الصاري ثم رسم العلاقة بين سوية الإنارة على المستوي الأفقي وبعد النقطة عن موقع الصاري.

الحل:

تعطى سوية الإنارة الأفقية بدلالة الارتفاع h وزاوية السقوط v بالعلاقة:

$$E = \frac{I\theta.\cos\theta}{r^2} = \frac{I\theta.\cos^3\theta}{h^2} \qquad \left(d = \frac{h}{\cos\theta}\right)$$

سوية الإنارة في النقطة 0: في هذه الحالة $\cos\theta$ يساوي الواحد نظراً لأن $\theta = 0$:

$$E = \frac{6000}{27^2} = 8.23 \quad Lux$$

سوية الإنارة في النقطة 20 m :

$$\theta = \tan^{-1}\frac{20}{27} = \tan^{-1} 0.74 = 36.5$$

$$\cos\theta = 0.8 \qquad \cos^3\theta = 0.52$$

$$I\theta = Io, \cos\theta = 6000 \times 0.8 = 4800$$

$$\Rightarrow E = \frac{4800 \times 0.52}{27^2} = 3.4\ Lux$$

سوية الإنارة في النقطة 40 m:

$$\theta = \tan^{-1}\frac{40}{27} = \tan^{-1} 0.48 = 55.95 \qquad \cos\theta = 0.57$$

$$\Rightarrow \cos^3\theta = 0.18 \quad \Rightarrow I\theta = 6000 \times 0.57 = 3420$$

$$\Rightarrow E = \frac{3420 \times 0.18}{27^2} = 0.84 \ \ Lux$$

سوية الإنارة في النقطة 60 m:

$$\theta = \tan^{-1}\frac{60}{27} = \tan^{-1} 2.22 = 65^\circ 45'$$

$$\cos\theta = 0.42 \quad \Rightarrow \cos^3\theta = 0.069 \qquad \Rightarrow I\theta = 6000 \times 0.42 = 2492.9$$

$$\Rightarrow E = \frac{2492.9 \times 0.069}{27^2} = 0.24 \ \ Lux$$

الشكل (1-38) يبين العلاقة بين سوية الإنارة على المستوى الأفقي وبعد النقطة عن موقع الصاري.



الشكل (1-38) العلاقة بين سوية الإنارة والمسافة

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل الثاني

المنابع الضوئية الكهربائية – المصابيح

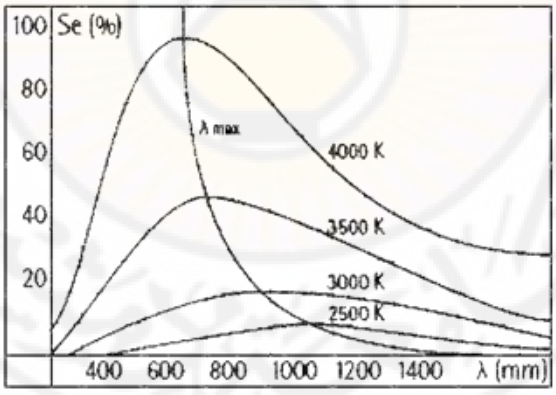
Electric Light Sources (Lamps)

2-1 مقدمة: Introduction

رغم التنوع الكبير للمنابع الضوئية واستخداماتها المختلفة في الإنارة الداخلية والخارجية ، إلا أنها تعتمد في توليد الضوء على الأسس التالية :[1],[10],[76],[81],[92],[103]

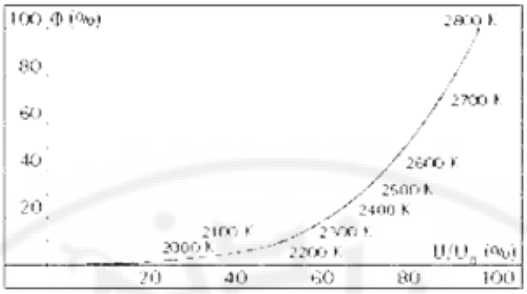
آ-الوهج الحراري Incandescence:

ينشأ الوهج الحراري عن تسخين أسلاك دقيقة مصنوعة من بعض المعادن مثل التنغستين إلى درجات حرارة عالية ، إذ أن تسخين المعدن يؤدي إلى إصدار أشعة ضوئية ذات موجات قصيرة .الطيف الضوئي للمصابيح التي تعتمد مبدأ الوهج الحراري هو طيف مستمر ومتجانس في الفضاء المحيط بالمصباح كما هو واضح على الشكل(2-1).



الشكل(2-1) طيف موجة الضوء المستمر للمصابيح التي تعتمد مبدأ الوهج الحراري

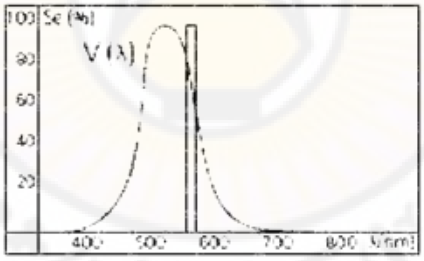
إن تسخين سلك دقيق من المعدن يتم عن طريق تطبيق توتر عليه وبالتالي مرور تيار يؤدي الى تسخينه واحمراره. إن درجة حرارة المعدن قد تصل إلى حدود 3000Kelven وذلك حسب قيمة التوتر المطبق عليه. الشكل (2-2) يبين زيادة حرارة المعدن و زيادة الفيض الضوئي بازدياد التوتر المطبق عليه.



الشكل(2-2) زيادة درجة الحرارة والفيض بتزايد التوتر (U/Un)

ب- التألق الكهربائي Electro Luminescence:

ينشأ التألق الكهربائي نتيجة تهييج ذرات بعض أنواع الغازات أو تحرير أبخرة بعض أنواع من المعادن. تتم عملية تهييج الذرات أو تحرير الأبخرة بواسطة تطبيق توتر بين مسريين ضمن أنبوب مفرغ من الهواء ويحوي غازا" أو بخارا" معدن، ونتيجة لذلك يتأين الغاز أو بخار المعدن ويصدر أشعة ضوئية. الطيف الضوئي للإشعاع الضوئي الناتج يكون ذا شكل حزمي أو خطي حسب خواص المعدن كما في الشكل(2-3).



الشكل(2-3)الطيف الضوئي للمصابيح التي تعتمد مبدأ التألق الكهربائي

Se: توزع الفيض الضوئي

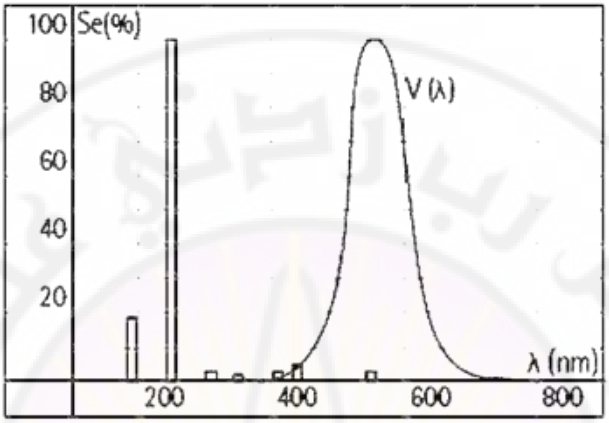
V: حساسية العين .

λ : طول الموجة.

جـ- الإشعاع بالحث Fluorescence:

يطلق على هذه الظاهرة بالتألق الفوتوني Photo Luminescence. إن الإشعاع المرئي ينتج عن سقوط شعاع غير مرئي مثل سقوط أشعة فوق الحمراء Ultra Violet على

بعض المواد القابلة للتألق مما يؤدي إلى حث هذه المواد على إصدار أشعة ضوئية . الطيف الضوئي للإشعاع الناتج يكون حزميا" أيضا" كما في الشكل (2-4).



الشكل(2-4)الطيف الضوئي للمصابيح التي تعتمد مبدأ الإشعاع بالحث

د- الوميض: Chemo-Luminescence:

يظهر الوميض عند امتصاص مادة قابلة للتألق كمادة الفسفور للإشعاعات ثم إعادة إشعاعها على شكل وهج أو وميض .

هـ- الديودات الباعثة للضوء Light Emitting Diodes:

تعمل الديودات الباعثة للضوء على إصدار أشعة ضوئية يمكن الاستفادة منها لأغراض الإنارة بأنواعها، وسيتم شرح مبدأ عمل هذه الديودات لاحقا في هذا الفصل.

2-2 المنابع الضوئية الكهربائية-المصابيح Lamps:

في بداية هذه الفقرة لابد من التمييز بين مصطلحين كلاهما يعبر عن منبع ضوئي هما :

- **مصباح الإنارة** : هو العنصر الأساسي الذي يصدر الأشعة الضوئية .
- **جهاز الإنارة:** هو عبارة عن حاوية معدنية مصنعة بطريق ما يركب ضمنها مصباح كهربائي. تصنع الأجهزة الضوئية بشكل وطريقة تناسب الهدف الوظيفي للمنبع الضوئي، فقد تصمم لإنارة الشوارع ، إنارة الحدائق، إنارة تزينية داخلية وخارجية. بصورة عامة تصنف المنابع الضوئية في ثلاث مجموعات رئيسة:

2-2-1 المصابيح المتوهجة: Incandescent Lamps

تعتمد المصابيح المتوهجة في عملها على مبدأ الوهج الحراري، وحسب الغاز الخامل المستخدم فيها نميز بين نوعين من المصابيح المتوهجة هما:

آ-مصابيح التنغستين – أرغون Tungsten Argon Lamps :

البنية الأساسية لهذا النوع من المصابيح مبينة بالشكل (2-5) .



الشكل (2-5) بنية مصباح متوهج تنغستين- آرغون

كما هو واضح من الشكل (2-5) فإن المصباح يتألف من:

- الفتيل المتوهج (Filament):

استخدم في الجيل الأول فتيل من الكربون ، أما فيما بعد فقد استخدم فتيل من معدن التنغستين الذي يمتاز بدرجة انصهار عالية ومعدل تبخر قليل يسمح بتشغيل المصباح بدرجة حرارة عمل مرتفعة.

- حبابة زجاجية (Bulb):

هذه الحبابة مفرغة من الهواء، تحوي غاز الأرغون، وظيفة الغاز هي منع تبخر معدن الفتيل أو أكسدته كما لو كان في الهواء. الفيض الضوئي لهذه المصابيح يتعلق بتوتر التشغيل ولون الزجاج ، ويقاس بعد (100) ساعة عمل. تعمل هذه المصابيح على التوتر المتناوب والمستمر وعمرها قليل نسبياً يقدر بـ (1000:1500) ساعة عمل، أما المردود

الضوئي فيتراوح بين (8-20Lm/w) وقد يصل إلى (22Lm/w) للمصابيح التي تعمل على توتر (110:115V). لون الضوء لهذه المصابيح أبيض دافئ يميل إلى الاحمرار وطيفه مستمر كما في الشكل(2-1). إن درجة حرارة اللون (temperature color)تقع ضمن المجال (2500-3000K) كما هو مبين في الشكل(2-2). هذا النوع من المصابيح لا يحتاج إلى متممات مساعدة لبدء تشغيله كالمقلعات والمكثفات. تستخدم المصابيح المتوهجة (تنغستين- أرغون) في الإنارة المنزلية والأماكن التي تحتاج إلى إنارة هادئة، والأدراج ودورات المياه والحمامات والأماكن التي توجد فيها تجهيزات تعمل على أمواج راديوية لأنها لا تحدث تشويشاً. الجدول (2-1) يبين مواصفات هذه المصابيح .

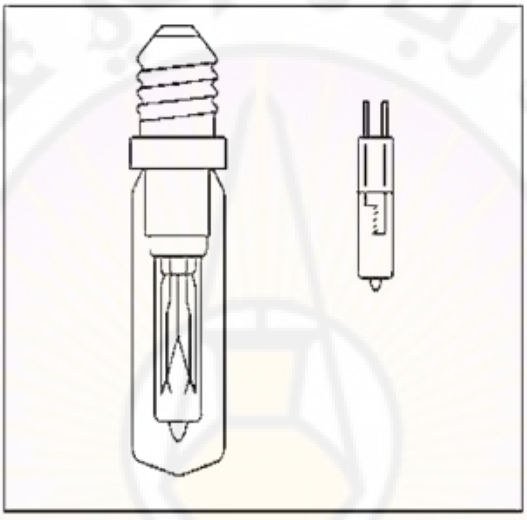
جدول (2-1) الخصائص الضوئية للمصابيح المتوهجة (تنغستين - أرغون)

Power Consumption W	Diameter mm	Length mm	Luminous flux. Lm		Socket
			125 to 130 v	220 to 230 v	
15	60	105	135	120	E 27
25	60	105	260	230	
40	60	105	490	430	
60	60	105	820	730	
75	60	105	1070	960	
100	60	105	1560	1380	
150	70	120	2440	2200	
200	80	148	3400	3150	
300	90	189	5350	5000	E 40
500	110	240	9300	8400	
1000	130	274	20000	18800	
2000	200	380	43000	40000	

ب-مصابيح تنغستين- هالوجين (Tungsten Halogen Lamps):

تشبه هذه المصابيح إلى حد ما المصابيح المتوهجة العادية (تنغستين - أرغون) عدا بعض الفوارق في شكل الحبابة الزجاجية حيث يستخدم أنبوب بدلاً من الحبابة ونوع الغاز الخامل حيث يستخدم غاز الهالوجين بدلا من الأرغون . الشكل(2-6) يبين بنية هذا المصباح. يتصف مصباح التنغستين هالوجين بصغر الحجم و تدني الفيض الضوئي بالمقارنة مع مصباح (تنغستين - أرغون). يقدر عمر المصباح بحدود

(1000:2000) ساعة ويتعلق باستطاعته. المردود الضوئي يقدر بـ (22 Lm/w) ولون الضوء لهذا المصباح أبيض دافئ وطيفه مستمر، أما درجة حرارة اللون فهي بحدود (3200-3100K). هذا المصباح لا يحتاج إلى متممات مساعدة لبدء تشغيله، ويستخدم في الإنارة الفائضة التزيينية الخارجية وإنارة صالات التصوير. الجدول (2-2) يبين الخواص الضوئية لهذا النوع من المصابيح.



الشكل (2-6) بنية مصباح تنغستين - هالوجين

جدول (2-2) الخصائص الضوئية لمصابيح تنغستين-هالوجين

Cat No	Watts	Cap	Dimensions [mm]		Voltages& code	Light output [lm]	Stb Pack
			D	L max	220/230V		
IPR300 3000K	300	R7s	5	117.6	8610	5100	50
IPR500 3000K	500	R7s		117.6	4826	9500	50
IPR1000 3000K	1000	R7s		192.525.5	8022	22000	50
IPR1500 3000K	1500	R7s		334.5	8024	33000	30
IPR2000 3000K	2000	F4a			8050	44000	12

عمليا تصنع مصابيح متوهجة بأشكال ومواصفات متنوعة ، الشكل (2-7) يبين شكل هذه المصابيح ومواصفاتها.

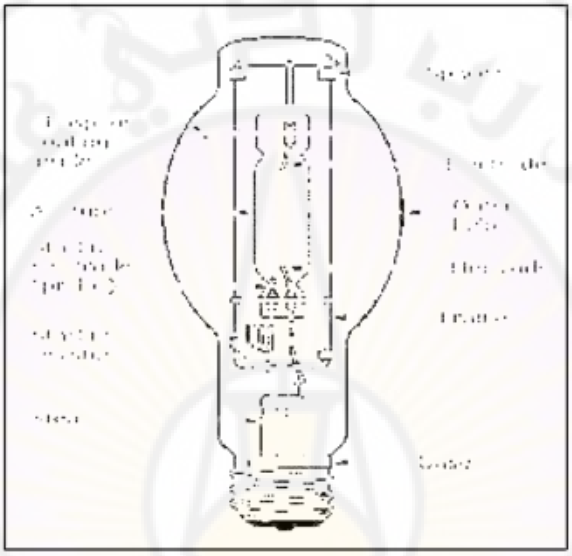
الشكل (2-7) شكل ومواصفات مصابيح متوهجة متنوعة ومواصفاتها

2-2-2 المصابيح الإنفراغية Discharge Lamps:

تعتمد هذه المصابيح على مبدأ التألق الكهربائي. من أهم أنواع هذه المصابيح ما يلي :

آ-مصباح بخار الزئبق ضغط عال High Pressure Mercury Lamps:

الشكل(2-8) يبين مكونات مصابيح بخار الزئبق ضغط عالي.



الشكل(2-8) مكونات مصابيح بخار الزئبق ضغط عالي

يتألف المصباح من حبابة من الزجاج القاسي مغطى بطبقة فلورسنتية، أو طبقة فلورسنتية مضاف إليها مواد تساعد في تحسين الضوء، تحوي الحبابة بداخلها مزيجاً من الغازات الخاملة مثل الأرغون والنتروجين، أيضا تحوي الحبابة أنبوبة مفرغة (Frame) تصنع من زجاج الكوارتز الذي يتحمل درجات حرارة عالية تزود بطرفيها بمسريين للعمل الطبيعي بعد الإقلاع (Electrode) وكل مسرى يطلى بمادة باعثة للإلكترونات، بدورها الأنبوبة تحوي غازاً خاملاً كالأرغون أو النيون مضافا" إليه بخار الزئبق. يقدر عمر المصباح بـ (6000:8000) ساعة حسب الاستطاعة. لون ضوء المصباح الناتج عن الحبابة المغطاة بطبقة فلورسنتية هو أبيض مائل للزرقة ودرجة حرارة اللون لنفس الحبابة هو (3800-5900K)، أما لون الضوء الناتج عن الحبابة المغطاة بطبقة فلورسنتية مع مواد محسنة أبيض ودرجة حرارة اللون (3200-3600K). أما لون الضوء الصادر عن الحبابة

غير المغطاة فهو أبيض مائل للزرقة وحرارة اللون (5700 K). هذا النوع من المصابيح يحتاج إلى متممات تتألف من ملف خانق ومكثف لتحسين عامل الاستطاعة، ولا يحتاج إلى مقلع لأنه يحتوي دارة إقلاع داخلية. هذه الدارة تعمل على توليد توتر مرتفع يسبب انبعاث الإلكترونات من المسريين، وبالتالي تأين الغاز وإصدار الأشعة الضوئية. زمن إقلاع أول بدء تشغيل يتراوح ما بين(7-4) دقائق حتى يصل المصباح إلى فيضه الاسمي. عند وصول درجة حرارة المصباح إلى الحد الأعظمي تفصل التغذية الكهربائية عنه لفترة تبريد مدتها (7-3) دقائق تنخفض خلالها درجة حرارة المصباح ويتكاثف البخار وينخفض الضغط داخله. إن قيمة تيار الإقلاع مرتفعة وتصل إلى (1.5-1.3) مرة من التيار الاسمي. المردود الضوئي لهذه المصابيح (Lm/w 60-40) وتغير التوتر المسموح به ∓10%. تستخدم مصابيح بخار الزئبق ضغطا" عاليا" في إنارة الشوارع والساحات. الجدول (2-3) يبين خواص هذه المصابيح.

جدول (2-3) خواص مصابيح بخار الزئبق ضغط عالي

Type	di[mm]	Len [mm]	Volt [v]	Cur[A]	Pow[w]	Lum[Lm]	Cap
Without fluorescent material(HQL)							
50 w	55	130	220	0.6	59	1900	E 27
80 w	70	156	220	0.8	89	3500	E 27
125 w	75	170	220	1.15	137	5600	E 27
250 w	90	226	220	2.15	266	12000	E 40
400 w	120	292	220	3.25	425	21000	E 40
700 w	150	343	220	5.4	735	37000	E 40
1000 w	165	380	220	7.5	1045	52000	E 40
2000 w	185	430	380	8.0	2070	125000	E 40
Without fluorescent material(HQA)							
80 w	70	156	220	0.8	89	3500	E 27
125 w	75	170	220	1.15	137	5600	E 27
250 w	90	226	220	2.15	266	12000	E 40
400 w	120	292	220	3.25	425	21000	E 40
1000 w	100	430	220	7.5	1045	52000	E 40
2000 w	100	430	380	8.0	2070	125000	E 40
Without metal halogen additives, Without fluorescent material(HQI)							
2000 w	100	430	380	8.0	2070	190000	E 40

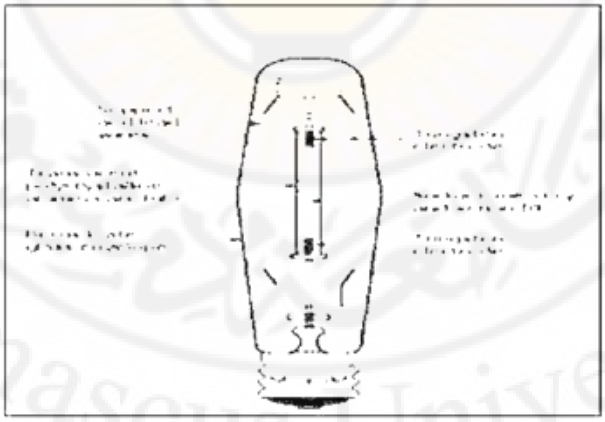
أيضا كما ورد في المصابيح المتوهجة فإن الشركات المصنعة أنتجت نماذج متنوعة من مصابيح بخار الزئبق ذات الضغط المرتفع . الشكل (2-9) يبين بعض هذه النماذج .



الشكل(2-9) بعض نماذج مصابيح بخار الزئبق ضغط عالي

ب-مصابيح بخار الصوديوم ضغط عال High Pressure Sodium Lamps:

يبين الشكل (2- 10) بنية مصابيح بخار الصوديوم ضغط مرتفع



الشكل (2-10) بنية مصابيح بخار الصوديوم ضغط عال

يتكون مصباح بخار الصوديوم ضغط عالي من حبابة أنبوبية الشكل أو بيضوية أو على إجاصة من الزجاج القاسي تغطى من الداخل بمادة فلورسنتية . ضمن الحبابة يوجد أنبوب مفرغ يصنع من أكسيد الألمنيوم الذي يتحمل درجة حرارة عالية، ويحتوي الأنبوب

من طرفيه على قطبين من التنغستين يشكلان مسريي التيار، يملأ هذا الأنبوب بخليط من الصوديوم و الزئبق إضافة إلى غاز خامل مثل النيون أو الأرغون، مهمة هذا الغاز بدء الاشتعال. المردود الضوئي مرتفع وعمر المصباح حوالي (8000) ساعة عمل. يتدنى الفيض بصورة بسيطة في نهاية عمر المصباح. إن لون الضوء الصادر عن المصباح أبيض ذهبي ودرجة حرارة اللون(2300K)، أما المردود الضوئي للمصباح فيقدر بـ (70:130Lm/w) . يحتاج مصباح بخار الصوديوم إلى متممات تتألف من ملف خانق كمقلع ومكثف لتحسين عامل الاستطاعة . يبلغ زمن الإقلاع من (4-6) دقائق وتيار الإقلاع (1.4-1.6) مرة من التيار الاسمي. أيضا" هذه المصابيح تفصل عند وصول درجة حرارة المصباح الحد الأعلى، وتستمر فترة الفصل بضع دقائق يقلع بعدها المصباح مرة ثانية. زمن الإقلاع الثاني يستغرق من (4-3) دقائق. تستخدم مصابيح بخار الصوديوم ضغط مرتفع في إنارة الأنفاق والساحات والشوارع الجدول (2-4-آ- ب) يبين خواص هذه المصابيح.

جدول (2-4-آ) خواص مصابيح بخار الصوديوم ضغط عال(مصابيح ذات شكل بيضوي)

Type	Base	Lum [Lm]	Volt[v]	Max Length[mm]	Max Dia[mm]	Weight[g]
SON70W	E 27	5800	200	156	72	58
SON150W	E 40	14000	200	227	92	180
SON250W	E 40	25000	200	227	92	185
SON400W	E 40	47000	210	192	122	250
SON1000W	E 40	120000	210	400	170	550
SON-H 210W	E 40	18000	198	227	92	200
SON-H 350W	E 40	34000	198	292	122	230

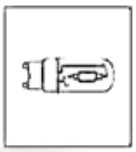
جدول (2-4-ب) خواص مصابيح بخار الصوديوم ضغط عال (مصابيح ذات شكل أنبوبي)

Type	Base	Lum [Lm]	Volt[v]	Leng[mm]	Dia[mm]	Weig [g]
SON T 150 W	E 40	14500	200	211	47	135
	E 40	26000	200	257	47	165
	E 40	48000	210	283	47	200
	E 40	130000	210	390	67	450

الشكل (2-11) يبين بعض نماذج لمصابيح بخار الصوديوم ضغط مرتفع



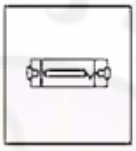
High-pressure sodium lamp				
Des.	P (W)	(lm)	l (mm)	S (mm)
HSE	50	3500	156	70
	70	5600	156	70
	100	9500	186	75
	150	14000	226	90
	250	25000	226	90
Cap: E27/E40		Lamp life 10000 h		



High-pressure sodium lamp				
Des.	P (W)	-lm	l (mm)	S (mm)
HST	35	1300	149	32
	70	2300		
	100	4700		
Cap: PG12		Lamp life 6000 h		



High-pressure sodium lamp				
Des.	P (W)	(lm)	l (mm)	S (mm)
HST	50	4000	156	37
	70	6500	156	37
	100	10000	211	46
	150	17000	211	46
	250	33000	257	46
Cap: E27/E40		Lamp life 10000 h		



High-pressure sodium lamp				
Des.	P (W)	-lm	l (mm)	S (mm)
HST-DE	70	7000	114	20
	150	15000	132	23
Cap: R7S		Lamp life 10000 h		

الشكل(2-11) بعض نماذج لمصابيح بخار الصوديوم ضغط مرتفع

ج -مصباح بخار الصوديوم ضغط منخفض Low Pressure Sodium Lamps:

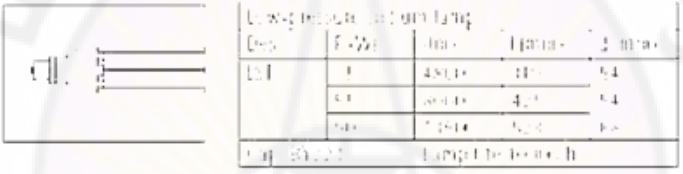
يعد مصباح بخار الصوديوم ضغط منخفض من أفضل المصابيح المفرغة من ناحية المردود الضوئي، شكله الخارجي أنبوبي يشبه مصباح بخار الصوديوم ضغط مرتفع ، أما من الداخل فيحوي أنبوب انفراغ على شكل حرف (U). هذا الأنبوب يحوي حجرات (Dimples) ممتلئة ببخار الصوديوم تحت ضغط ($5\ N/m^2$) بالإضافة إلى غازات خاملة. الغلاف الزجاجي مغطى بمادة أوكسيد الألمنيوم العاكس للأشعة تحت الحمراء. يبلغ عمر المصابيح نحو (8000) ساعة عمل، ويعد مصباح بخار الصوديوم ضغط منخفض أقل مصابيح الإنفراغية تدنياً بالفيض إذ يعد فيضه ثابتاً حتى نهاية العمر. لون الضوء الصادر عنه أصفر وحيد اللون ودرجة حرارة اللون (1740K). مصباح بخار الصوديوم ضغط منخفض يحتاج إلى متممات تتألف من ملف خانق كمقلع ومكثف لتحسين عامل الاستطاعة، المردود الضوئي هو بحدود (100:183Lm/w)، تغير التوتر المسموح به ∓10%، تيار الإقلاع من (1.3-1.7) مرة من التيار الاسمي. زمن الإقلاع لهذا المصباح يقدر بـ (15-7) دقيقة، وكسابقاتها تفصل عند درجات حرارة عالية ثم تعود إلى الإقلاع فور إعادة تطبيق التوتر عليها حيث يصل جهد الإقلاع حتى (550V). تستخدم مصابيح

الصوديوم ذات الضغط المنخفض في إنارة الشوارع والساحات والأماكن الأثرية والمناطق التي يكثر فيها الضباب. الجدول (2-5) يبين خصائص هذه المصابيح.

جدول (2-5) خواص مصابيح بخار الصوديوم ضغط منخفض

Type	Base	Lum [Lm]	Volt [v]	Leng [mm]	Diam[mm]	Weight [g]
SOX 18 w	BY 22	1800	200	216	54	184
SOX 35 w	BY 22	4800	200	310	54	235
SOX 55 w	BY 22	8000	200	425	54	360
SOX 90 w	BY 22	13500	200	528	68	540
SOX 135 w	BY 22	22500	200	775	68	850
SOX 180 w	BY 22	33000	200	1120	68	1080

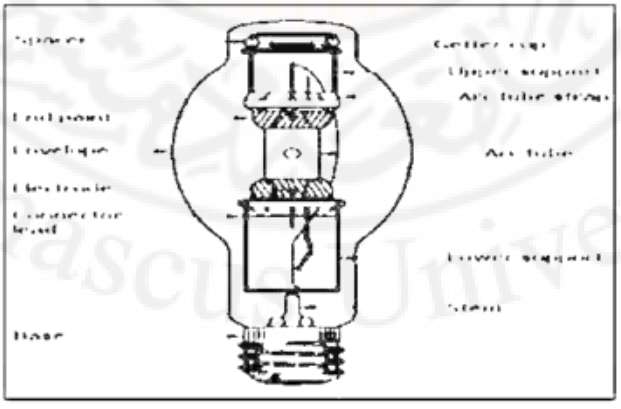
الشكل (2-12) يبين نموذج ومواصفات مصباح بخار صوديوم ضغط منخفض



الشكل (2-12) نموذج ومواصفات مصباح بخار صوديوم ضغط منخفض

د- مصابيح الميتال هاليد Metal Halide Lamp:

تشبه هذه المصابيح إلى حد ما مصابيح بخار الزئبق ذي الضغط العالي وتختلف عنها بمحتوى أنبوبة الانفراغ، حيث تحتوي أملاح الهاليد مع الزئبق. الشكل(2-13) يبين بنيتها



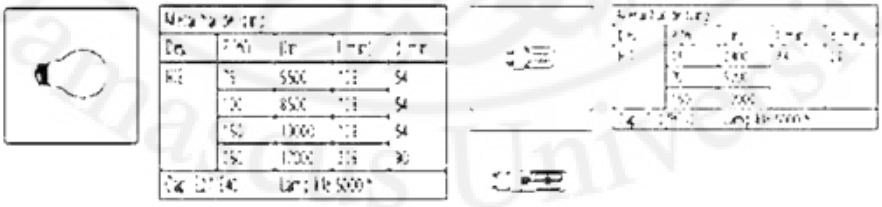
الشكل(2-13) بنية مصباح ميتال هاليد

حبابة المصباح كما ترى على الشكل ذات شكل بيضوي – أنبوبي، مطلية من الداخل بمادة فوسفورية أو مادة فلورسنتية ناثرة للضوء وتحوي بداخلها أنبوب انفراغ ، هذا الأنبوب مصنوع من الكوارتز ويجتازه من كل طرف سلك تغذية يتصل بمسرى تنغستين، ويحوي بداخله مزيجاً من غازي الأرغون والنيون للمساعدة في عملية الإقلاع بالإضافة إلى أملاح الهالايد التالية:(صوديوم + سكانديوم) ، (دبسروزيوم + تاليوم) ،(صوديوم+ تاليوم+ آنديوم). المردود الضوئي لمصابيح الميتال هالايد بحدود(66-90Lm/w)، لون الضوء أبيض ودرجة حرارة اللون فيه (3700K). يحتاج مصباح الميتال هالايد إلى متممات من ملف خانق ومكثف لتحسين عامل الاستطاعة ومقلع، زمن الإقلاع يتراوح بين (3-5) دقائق وجهد الإقلاع يصل إلى (700V). تستخدم هذه المصابيح في إنارة الساحات والملاعب وعقد السير والأماكن التي تحتاج إلى سويات إنارة عالية، تغير التوتر المسموح به $\pm 7\%$. الجدول (2-6) يبين خواص هذه المصابيح.

جدول (2-6) خواص مصابيح الميتال هالايد

Cat No.	Dim [mm]		Lum[Lm]	Cap	Code	Std Pack
MAIHL	Dia.	Len				
250 W	24	162	19000	FC 2	9917	12
375 W	30	206	25000	FC 2	9918	12
400 W	121	290	32000	E 40	9859	6
400 W	48	283	32500	E 40	9858	12
1000 W	66	382	88000	E 40	8522	4
2000 BW	102	442	10000	E 40	9284	4
1000 TP W	121	290	84000	E 40	9107	6
1000 TP 22 W	102	430	170000	E 400	9285	4

الشكل (2-14-أ) يبين بعض نماذج لمصابيح ميتال هالايد



(أ)

الشكل (2-14-ب) بعض نماذج لمصابيح ميتال هالايد

هـ- مصابيح الفلوريسنت Fluorescent lamp:

تعمل المصابيح الفلوريسنتية على مبدأ الإشعاع بالحث. يتألف المصباح من أنبوب زجاجي مطلي من الداخل بمادة فوسفورية تصدر ضوءاً مرئياً عندما تتعرض للأشعة فوق البنفسجية (Ultra violet). عادة يضاف إلى المادة الفوسفورية مواد منشطة ومهيجة وملونة لتعطي اللون المطلوب إذ أن المردود الضوئي تابع للون. يوجد داخل الأنبوب بخار الزئبق بضغط منخفض نحو ($100\ N/m^2$) مع أحد الغازات النادرة مثل الأرغون أو مزيج من الأرغون والنيون أو مزيج من الأرغون والكريتون للمساعدة على بدء عملية الانفراغ وتوليد الأشعة فوق البنفسجية. الشكل(2-15) يبين بنية هذه المصابيح .

الشكل (2-15) بنية مصباح فلوريسنت

تصنع مصابيح الفلوريسانت بأطوال وأشكال مختلفة ولكل منها استطاعته الكهربائية وفيضه الضوئي. كذلك تصنع لتعطي ألوان متعددة بواسطة استخدام غازات خاملة ومواد مضافة ملونة إلى الطبقة الفوسفورية. من أشهر الألوان ما يلي :

- **الألوان الدافئة:** لون الضوء الذي يعطيه المصباح شبيه جدا بلون الضوء الذي تعطيه المصابيح المتوهجة . درجة حرارة اللون (3000K) . تستخدم المصابيح التي تعطي هذا اللون في إنارة المكتبات والأماكن التي تطلب إنارة هادئة.
- **الألوان البيضاء:** لون الضوء الذي يعطيه المصباح هو الأبيض الناصع المائل قليلا إلى الأزرق. درجة حرارة اللون (4000K). يستخدم لإنارة غرف الدرس والمتاجر والمخابر و ورشات العمل الدقيقة.

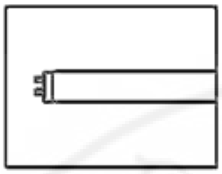
- **ألوان ضوء النهار**: لون الضوء الذي يعطيه المصباح في هذه الحالة شبيه بضوء النهار . درجة حرارة اللون (5000-7500K) . تستخدم في الأماكن التي تحتاج إلى مقارنة ألوان مثل مخازن ومخابر الصباغ.

يبلغ عمر أنابيب الفلوريسنت وسطياً من (4000-6000) ساعة عمل. عموما" تستخدم الأجهزة الفلوريسنتية في إنارة المنازل والمكاتب وقاعات الدرس والمخابر والورشات ذات الارتفاعات القليلة للحصول على سويات إنارة عالية والأماكن التي تحتاج إلى جو عمل ذي إيحاء بارد (المناطق الحارة)، وتستخدم في لوحات الإعلان والأغراض التزيينية10%. لقد تم حديثاً تطوير أنابيب الفلوريسنت إذ حققت وفراً بالاستطاعة بنسبة وتصغير القطر من 30mm إلى 26mm مع المحافظة على الفيض الضوئي نفسه، إذ يؤدي ذلك إلى خفض الاستطاعة الكهربائية للمصباح. يقدر الفيض الضوئي لهذه المصابيح (60Lm/w). زمن الإقلاع صغير بسبب استخدام مقلع (Starter) كما يوجد أنواع ذات مساري مسبقة التسخين يكون فيها الإقلاع فورياً. تيار الإقلاع صغير لكن مع ذلك يجب أخذه بعين الاعتبار أثناء إجراء الحسابات الكهربائية للتصميم . تحتاج الأنابيب الفلوريسنتية إلى ملف خانق Ballast ومقلع Starter لتأمين اشتعال القوس ومكثف Capacitor لتحسين عامل الاستطاعة. الجدول (2-7) يبين الخواص الضوئية وغيرها للمصابيح الفلوريسنتية.

جدول (2-7) خصائص مصابيح الفلوريسنت

Bulb Description	P[w]	L[cm]	Life[hr]	Color T [k]	Lu [Lm]
F40T12CW/RS	40	120	4300	3150	1920
F40T12WW/RS	40	120	3100	3170	1920
F40T12CWX/RS	40	120	4100	2200	1920
F40T12WW/RS	40	120	3000	2170	1920
F40T12D/RS	40	120	6500	2600	1920
F40T12W/RS	40	120	3600	3180	1920
F40T12CW	75	150	4300	6300	7200
F40T12WW	75	150	3100	6335	7200
F40T12CWX	75	150	4100	4465	7200
F40T12WWX	75	150	3000	4365	7200

الشكل (2-16) يبين نموذج ومواصفات مصباح فلوريسنت



Fluorescent lamp				
Des.	P (W)	(lm)	l (mm)	d (mm)
T26	18	1350	590	26
	30	2400	895	
	36	3350	1200	
	38	3200	1047	
	58	5200	1500	
Cap: G13		Lamp life 7000 h		

الشكل (2-16) نموذج ومواصفات مصباح فلوريسنت

و- المصابيح المختلطة Blended Lamps:

تعد هذه المصابيح همزة الوصل بين المصابيح الإنفراغية والمصابيح المتوهجة وتحتوي على مكونات مصباح بخار الزئبق عدا المتممات بالإضافة إلى مكونات المصباح المتوهج. مردود هذه المصابيح الضوئي مرتفع ويصل إلى 11:28Lm/w وعمرها كبير بالمقارنة مع المصابيح المتوهجة العادية (6000-8000) ساعة. لون الضوء الصادر عن هذه المصابيح أبيض دافئ ودرجة حرارة اللون (4000K). تيار الإقلاع لهذه المصابيح من (1.3-1.5) مرة من التيار الاسمي وهي حساسة لتغيرات التوتر. لا يحتاج هذا النوع من المصابيح إلى متممات إذ أن عامل استطاعته مرتفع. تستخدم هذه المصابيح استخداما" واسعا" في إنارة الحدائق والمنازل كبديل للمتوهج. الجدول (2-8) يبين الخواص الضوئية وغيرها لهذه المصابيح.

جدول(2-8) الخواص الضوئية للمصابيح المختلطة

Type HWL	Dia [mm]	Len [mm]	Volt [v]	Power [w]	Lum [Lm]	Socket
160 W/225 v	87	187	225	160	2900	E 27
160 W/235 v			235			
250 W/225 v	106	230	225	290	5200	E 40
250 W/235 v			235			
500 W/225 v	130	275	225	500	12500	E 40
500 W/235 v			235			
1000 W/225 v	160	315	225	1000	28000	E 40
1000 W/235 v			235			

2-2-3 المصابيح الموفرة للطاقة:Compact Fluorescent Light Bulbs(CFL)

(17-2)



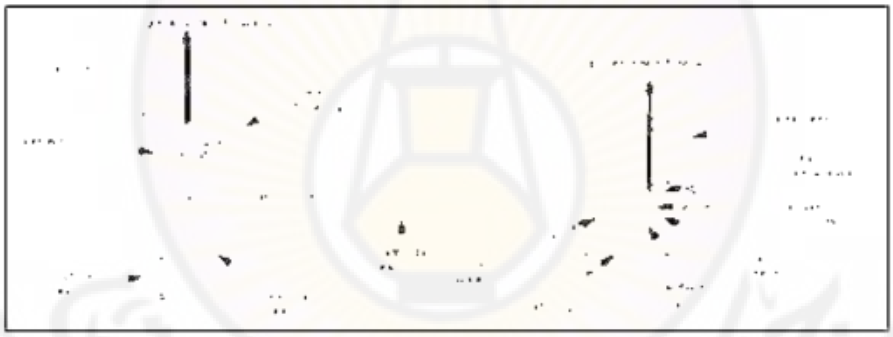
(9-2)

4-2-2 مصابيح الليدات Led Lamps :

انتشر مؤخرا" نوع من المصابيح يعتمد على الديودات الباعثة للضوء أو ما يسمى بمصابيح الليد. بداية لابد من التعرف على مبدأ عمل الديود وآلية إصداره للأشعة.

2-2-4-1 مبدأ عمل الديود الباعث للضوء Light Emitting Diodes (LED):

يختصر اسم الديود الباعث للضوء بـ Light Emitting Diodes LED وهي تعبر عن وظيفته وهي إصدار الضوء. الشكل (2-18) يبين بنية الديود.



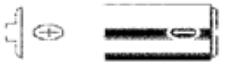
الشكل (2-18) بنية الديود الباعث للضوء

بصورة عامة الديود هو أصغر العناصر المصنعة من مواد أنصاف النواقل المطعمة بنسبة من الشوائب من مواد أخرى. تسمي عملية الإشابة هذه بـ Doping. في حالة الـ LED فإن المادة نصف الناقلة هي الومنيوم جاليوم ارسانيد (AlGaAs). في الحالة النقية تماماً لهذه المادة تكون كل الذرات متعادلة كهربائياً مما يسبب عدم توفر الكترونات حرة لنقل التيار الكهربائي، ولكن عند تطعيم هذه المادة بنسبة محددة من مادة أخرى فإن الحالة السابقة من عدم توصيل التيار الكهربائي تتغير. إن الاشابة تسبب سحب الكترونات من المادة الأساس الأمر الذي يؤدي إلى ترك ثقوب موجبة. إن عملية سحب الإلكترون من موضعه هي بمثابة حركة له وبالتالي فإن المادة وبحركة الإلكترونات

تصبح شبه موصلة للتيار الكهربائي. أنصاف النواقل الغنية بإلكترونات إضافية تطعم بمواد من النوع N، وهو الحرف الأول من كلمة Negative أي سالبة الشحنة، أما أنصاف النواقل التي تحتوي على نقص في الإلكترونات تطعم بمواد من النوع P وهو الحرف الأول من كلمة Positive أي موجبة الشحنة. اعتمادا على هذه الظواهر الفيزيائية تم تصنيع الديود من مادتين من أنصاف النواقل متصلتين بعضهما مع بعض إحداهما من النوع N والأخرى من النوع P مع وجود لبوسين على الطرفين الخارجيين لتوصيل الديود إلى منبع تغذية. عندما لا يوجد توتر مطبق على طرفي اللبوسين فإن الالكترونات في المادة N تنتقل إلى الفجوات في المادة P خلال الوصلة بين المادتين. إن منطقة الوصل بين طبقتي أنصاف النواقل تسمى بمنطقة الاستنزاف Depletion Zone. إن منطقة الاستنزاف تصبح منطقة عازلة عندما تعبأ كل الفجوات بإلكترونات حيث تنعدم حركة الالكترونات. الشكل(2-19) يبين طبقات الليد.

الشكل(2-19) طبقات الليد.

للتخلص من المنطقة العازلة التي تكونت عند الوصلة فإنه يجب دفع الالكترونات على الحركة من المادة N إلى المادة P خلال منطقة الاستنزاف ولعمل هذا نحتاج إلى تطبيق توتر على هذه الالكترونات لإجبارها على الحركة خلال المنطقة العازلة. تطبيق التوتر يتم باستخدام بطارية كهربائية . الشكل(2-20) يبين طريقة تطبيق التوتر من بطارية.



الشكل(2-20) تطبيق التوتر على وصلة نصف الناقل

كما هو مبين من الشكل (2-20) فإنه يتم وصل المسرى الموصل إلى المادة N بالقطب السالب للبطارية ويوصل المسرى الموصل على المادة P بالطرف الموجب للبطارية فتتنافر الالكترونات في المادة N من طرف البطارية السالب، وتندفع تجاه منطقة الاستنزاف وتتحرك الفجوات في المادة P تحت تأثير قوة التنافر مع القطب الموجب للبطارية تجاه منطقة الاستنزاف وبزيادة فرق توتر البطارية تستطيع الالكترونات من عبور منطقة الاستنزاف وتتحد مع الفجوات وتلغي منطقة الاستنزاف ويصبح الديود موصلاً للتيار الكهربائي. في حال توصيل البطارية بالاتجاه المعاكس لما سبق كما هو مبين في الشكل (2-21) تصبح وصلة الديود عازلة للتيار الكهربائي .



الشكل(2-21) التوصيل العكسي لوصلة نصف الناقل.

2-2-4-2- آلية توليد الديود للضوء:

الضوء هو طاقة تنتج أو تنبعث من الذرة على شكل أشباه جسيمات تسمى الفوتونات Photons لها كمية حركة وكتلتها تساوي الصفر، وسميت أشباه جسيمات لان الضوء له طبيعة مزدوجة فيمكن أن يكون موجة ويمكن أن يكون جسيماً. تنطلق الفوتونات من الذرات نتيجة لحركة الإلكترونات، ففي الذرة تتحرك الالكترونات في مدارات دائرية حول النواة بنصف قطر يعتمد على كمية الطاقة التي يمتلكها الإلكترون إذ إنه كلما كانت الطاقة كبيرة كان نصف قطر المدار أكبر، أي أن الإلكترون أبعد عن النواة. عندما ينتقل إلكترون من مدار منخفض إلى مدار أعلى فإنه يمتص طاقة خارجية ليتم الانتقال أما في حالة عودة الإلكترون من المدار الأعلى إلى المدار الأدنى فإنه تتحرر طاقة يحملها فوتون تساوي فرق الطاقة بين المدارين، وبالتالي فإن طاقة الفوتون تتحدد بفارق الطاقة بين المداريين اللذين انتقل بينهما الإلكترون وهذا يدل على أن طاقة الفوتون يمكن أن

تكون متغيرة حسب عدد المدارات التي حدثت بينها الانتقالات. إن تغير طاقة الفوتون تعني تغير في الطول الموجي للفوتون، وبالتالي حسب طول الموجة يمكن أن يكون الفوتون على شكل ضوء مرئي أو ضوء غير مرئي. في حالة الديود تتحرك الالكترونات الحرة عبر وصلة الديود في اتجاه الفجوة وهذا يعني أن الإلكترون عندما يتحد مع الفجوة كأنه انتقل من مدار عالي الطاقة إلى مدار منخفض الطاقة وبالتالي تنطلق طاقة على شكل فوتون. إن الفوتون المنبعث لا يرى إلا إذا كان ذا طول موجي واقع ضمن الطيف المرئي. هذا لا يتحقق في كل أنواع الديود ففي الديود المصنعة من مادة السليكون يكون الفوتون المنطلق في منطقة تحت الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي ولا يرى بالعين المجردة ولكن له تطبيقات هامة في التحكم عن بعد حيث تنتقل التعليمات من جهاز التحكم عن بعد إلى التلفزيون على شكل نبضات من الفوتونات تحت الحمراء يفسرها مجس الاستقبال في التلفزيون. وللحصول على ديودات تعطي ضوءا" مرئيا" يجب استخدام مواد ذات فارق طاقة اكبر بين مدار الإلكترون في المادة N والفجوة في المادة P التي تمثل المدار ذي الطاقة الأدنى. إن التحكم في هذا الفارق يحدد لون الضوء المنبعث من الديود عند اتحاد الإلكترون مع الفجوة خلال وصلة الديود. إن الضوء المنبعث نتيجة حركة الإلكترون له كفاءة معينة تعرف بالشدة الضوئية لليد، إذ إن جزءا" من هذا الضوء يعاد امتصاصه داخل الديود. لذلك فإن الديودات الباعثة للضوء LED تصمم بحيث يتم توجيه الضوء إلى خارج الديود وذلك بوضع وصلة الديود داخل مادة بلاستيكية على شكل مصباح شبه كروي كما هو واضح على الشكل(2-22).



الشكل(2-22)الغطاء البلاستيكي لليد .

2-2-4-3 بنية مصباح الليد :

يصنع مصباح الليد بتوصيل مجموعة ديودات مع بعضها . إن عدد الديودات وطريقة توصيلها التفرعي والتسلسلي يحددان مواصفات المصباح. الشكل (2-23) يبين دارة توصيل مجموعة ديودات على التفرع والتسلسل لتصنيع مصباح يعمل على توتر v 220.

الشكل(2-23) دارة توصيل مجموعة لتصنيع مصباح يعمل على توتر v 220.

من الشكل (2-23) نلاحظ أنه استخدم في الدارة 16 ليد من النوع نفسه على شكل مصفوفة 4X4 كما استخدمت العناصر التالية:

- مكثف لتحديد قيمة التيار ويمكن استخدام مكثف واحد أو عدة مكثفات على التوازي .
- مقاومات R1 إلى R4 قيمة كل منها 10 أوم وظيفتها فرض توزيع متساوٍ للتيار في فروع الدارة.
- ديود زنر (D17) استطاعته 1.3W وجهده 15V وظيفته تأمين جهد عكسي قيمته 0.6V وجهد أمامي لمجموعة الليدات قيمته 15V .

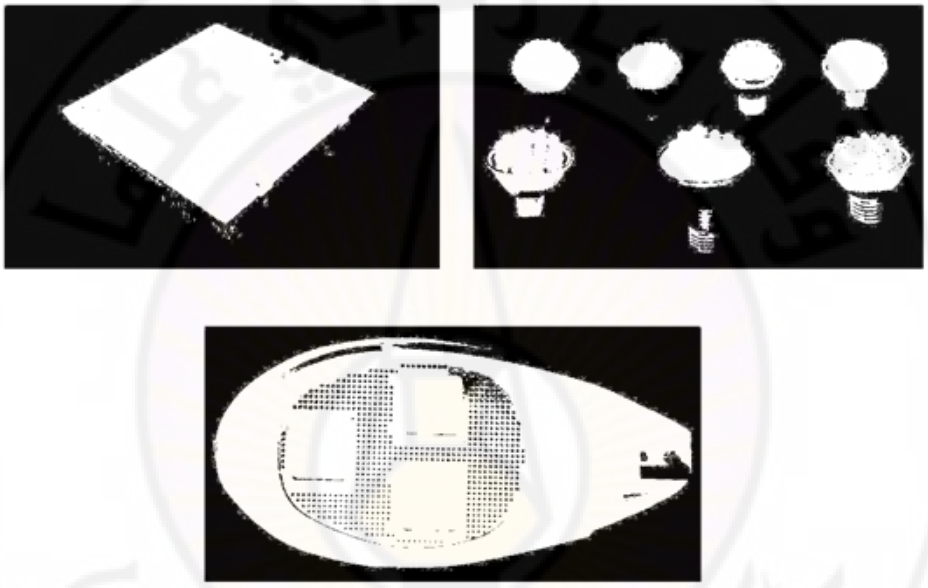
تتميز مصابيح الليدات بانخفاض استطاعتها ا بمقارنتها مع المصابيح الأخرى إذ أن :

- مصباح ديود ضوئي باستطاعة 50w يكافئ مصباحا" متوهجا" باستطاعة 450w .
- مصباح ديود ضوئي باستطاعة 100w يكافئ مصباحا" متوهجا" باستطاعة 900w.

المردود الضوئي لهذه المصابيح عالٍ، حيث أن الفيض الضوئي لليد الواحد يقع ضمن المجال 30-170Lm. العمر الافتراضي لمصباح الديودات الضوئية نحو 50000 ساعة عمل مقابل 15000 ساعة عمل للمصباح العادي. تعمل هذه المصابيح على التيار

المستمر، ولكن بإضافة متممات إلى الدارة يمكن أن تعمل على التيار المتناوب 220 v كما في الشكل (2-24). أما حرارة لون المصباح فتقع ضمن المجال (2700-6000 k).

تشكل مصابيح الليدات عن طريق تركيب دارة الليدات ضمن أجهزة مصنعة خصيصا" لذلك، إن شكل هذه الأجهزة متنوع جدا" حسب الأهداف التي سيتخدم مصباح الليد من أجلها (إنارة داخلية – إنارة خارجية)، الشكل (2-24) يبين بعض نماذج لهذه الأجهزة .



الشكل (2-24)بعض نماذج أجهزة لمصابيح الليدات

2-3 الترميز ودرجة الحماية لأجهزة الإنارة الكهربائيةProtective classes:

عمليا توضع المصابيح الكهربائية ضمن أجهزة خاصة. من الشكل (2-24) نلاحظ أن الأجهزة التي تحوي الليدات مصنعة بأشكال مختلفة ودرجات حماية مختلفة(Ingress Protection) واختصارا (IP) ضد الغبار والرطوبة وغيرها. تحدد درجة الحماية للتجهيزات بصورة عامة برقمين يليان الحرفين **IP. الرقم الأول يبين إلى أي مدى تتم حماية هذه التجهيزات من الجسيمات، أو حماية الأشخاص من الأخطار المختلفة. أما الرقم الثاني يشير إلى مدى الحماية ضد الماء. الجدول(2-10) يبين دلالة رقمي الحماية .

عموما" تصنف أجهزة الإنارة إلى ثلاث فئات حسب درجة الحماية ضد توتر التماس هي (class I, class II, class III) . في الفئة الأولى يجهز الجهاز بمربط أرضي، في الفئة

الثانية يكون للجهاز عازل ضد التوتر ، أما في الفئة الثالثة يكون الجهاز مصمماً للعمل على توتر منخفض. تصنف الأجهزة أيضاً حسب كتامتها إلى عدة فئات تبين كل فئة درجة الحماية ضد الغبار والرطوبة فمثلاً الجهاز الذي درجة حمايته معرفة بـ IP54 بموجب (DIN 40050) (النظم الألمانية) محمي ضد الغبار ورذاذ الماء. في أجهزة الإنارة تبدأ درجة الحماية من IP20 وتصل حتى IP66، إذ تستخدم الأجهزة ذات الحماية العالية فوق IP50 في الأماكن التي تحتاج لحماية عالية ضد الغبار والرطوبة ويطلق عليها اسم الأجهزة الكتيمة، إضافة إلى ذلك توجد أجهزة لها درجات حماية خاصة مثل الحماية ضد الانفجار ويرمز لها بالرمز (EX). تجدر الإشارة إلى أن الشركات العالمية اعتمدت نظام ترميز للدلالة على نوع المصباح أو نوع الغاز المستخدم وغيرها من الدلالات .هذا النظام يلصق على علب تغليف المصابيح لسهولة معرفة مواصفات المنتج الجدول (2-11) يبين نظام الترميز المعتمد.

جدول(2-10) دلالة رقمي الحماية

First Digit	Protection against Human Contact	Protection against Foreign Bodies
0	No special protection	No special protection
1	With back of hand	Large foreign bodies, diam. >50mm
2	With a finger	Medium-sized foreign bodies, diam. >12.5mm
3	With tools and wires etc with a thickness >2.5mm	Small foreign bodies, diam. >2.5mm
4	With tools and wires etc with a thickness >1mm	Granular foreign bodies, diam. >1mm
5	Complete protection	Dust protected; dust deposits are permitted, but their volume must not affect the function of the unit.
6	Complete protection	Dust-proof
Second Digit	**Protection against Water Ingress**	
0	No special protection	
1	Water dripping vertically	
2	Water dripping at an angle (up to 15 degrees from the vertical)	
3	Spray water (any direction up to 60 degrees from the vertical)	
4	Spray water from all directions	
5	Water jets from a nozzle in all directions	
6	High pressure jets	
7	Temporary immersion	
8	Permanent immersion	

جدول(2-11) نظام ترميز المصابيح الكهربائية

The first letter indicates the light production	I	Incandescent lamp
	H	High pressure discharge lamp
	L	Low pressure discharge lamp
The second letter indicates the material of the outer envelope for incandescent lamps, or the gas contained in discharge lamps	G	Glass
	Q	Quartz glass
	M	Mercury
	I	Metal halide
	S	Sodium vapour
The third letter or combination of letters indicates the form of the outer envelope	A	General
	E	Ellipsoidal
	PAR	Parabolic reflector
	R	Reflector
	T	Tubular
	TC	Compact tubes

Damascus University

الفصل الثالث

الأسس التصميمية للإنارة الداخلية

Interior Lighting Design basics

3-1 مقدمة Introduction :

تستخدم في تصاميم الإنارة الداخلية مصابيح الإنارة المتوهجة والفلوريسنت وكذلك تستخدم إلى مصابيح بخار الزئبق والميتال هاليد وأحياناً بخار الصوديوم، كما وقد شاع مؤخرا استخدام مصابيح الليد استخداما واسعا". إن تحديد نوع المصباح ووظيفته و مكان تركيبه يتم وفقا لطبيعة المكان المنار ووظيفته ، فقد يكون دور المصباح وظيفيا (إنارة غرفة ، ممر ، مكتب ،مخبر..) وقد يكون تزيينيا (إنارة قطعة أثرية في متحف ، لوحة فنية) أو كليهما معا. وبصورة عامة فإنّ لكل تصميم من تصاميم الإنارة الداخلية خصوصيته، إلا أنه عموما يوجد قواسم مشتركة بين مختلف التصاميم سنعمد إلى توضيحها في سياق هذا الفصل.[1],[10],[41],[71],[76],[81],[92],[103]

3-2 التوزيع الضوئي لأجهزة الإنارة: The Distribution light of projectors

لقد أوضحنا سابقا أن المصابيح غالبا ما تركب ضمن أجهزة خاصة أطلقنا عليها اسم أجهزة الإنارة(projectors). هذه الأجهزة تصمم بأشكال مختلفة من أجل تحقيق توزيع مناسب للفيض الضوئي في المكان المنار، لذلك فإن معرفة توزيع وانتشار الفيض الضوئي لأجهزة الإنارة الداخلية أمر مهم عند دراسة تصميم مشروع إنارة داخلية . عمليا" يمكن التمييز بين الحالات التالية لتوزيع الفيض الضوئي الصادر عن أجهزة الإنارة:

- توزيع مباشر (direct).
- توزيع نصف مباشر (semi direct).
- توزيع بجميع الاتجاهات (General Diffusing).

- توزيع مباشر غير مباشر (Direct-Indirect).
- توزيع نصف غير مباشر (Semi Indirect) .
- توزيع غير مباشر (Indirect) .

الشكل (3-1) يبين التوزيع الضوئي لأجهزة الإنارة بموجب التصنيف المشار إليه.



الشكل (3-1)التوزيع الضوئي لأجهزة الإنارة الداخلية

3-3 العلاقة بين وضوح جهاز الإنارة والوهج Luminance and glare :

يعد وضوح الجهاز في مجال زاوي معين واقع تحت المستوي الأفقي ذا أثر كبير في تحديد درجة الوهج وبالتالي راحة العين في تأمين رؤية جيدة. يعرف المجال الزاوي المحصور بين (42-90) في الأماكن ذات السقف المتوسط الارتفاع بمنطقة الوهج المباشر (direct glare zone) ، بينما في الأماكن ذات السقف العالي يكون محصوراً بين

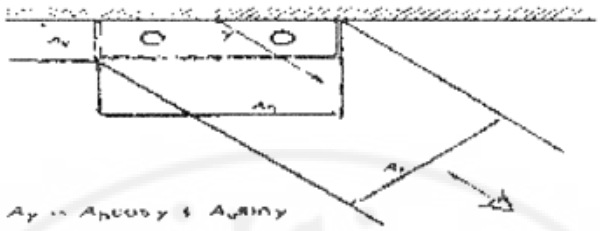
(0-30°). يعرف الوهج المنعكس (Reflected Zone) بأنه المجال الزاوي المحصور بين (0-45°) أو (0-30°). الشكل (3-2-أ-ب) يبين حدود كل مجال من هذه المجالات.

الشكل (3-2) زاوية الوهج المباشر والمنعكس

ولتأمين رؤية جيدة ومريحة يجب أن لا يزيد وضوح الأجهزة في مجال الوهج المباشر عن حد معين، وذلك للمحافظة على درجة معينة من الوهج. إن درجة الوهج تتوقف على عدة عوامل من أهمها:

- وضوح الجهاز مع الوضوح العام للحيز المحيط.
- زاوية الوضوح ε_1 $(\varepsilon_1 = \varepsilon - 45)$ حيث ε هي زاوية النظر $(\tan \varepsilon = l/h)$.
- عدد الأجهزة ومساحتها الظاهرة.
- موقع المنابع الضوئية التي يجب مراقبة وضوحها هي المنابع الواقعة بالنسبة للمشاهد بين خط النظر 45 وخط النظر ε.

يعطى وضوح الأجهزة من الجهات الصانعة منسوبا إلى فيض ضوئي قدره (1000 lm) في المجال الزاوي (0-85°)، ويمكن تحديد الوضوح في اتجاه معين γ من العلاقة بين الشدة الضوئية I_γ في هذا الاتجاه والمساحة الظاهرة من الجهاز في الاتجاه A_γ نفسه شكل (3-3). أما الوهج المنعكس والناتج عن وضوح الأجهزة في المجال الزاوي(0-45°) يعتبر أحد العوامل المهمة التي أخذت بعين الاعتبار في مرحلة التصميم إذ يسبب أحياناً عدم راحة الرؤية إذا كانت قيمته كبيرة .



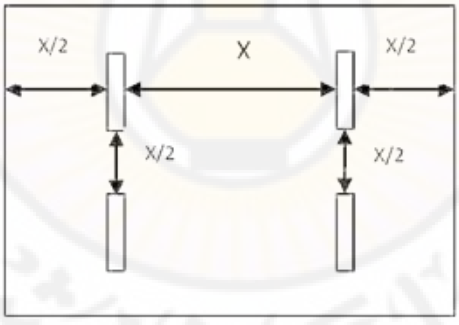
الشكل (3-3) وضوح الجهاز في الاتجاه γ

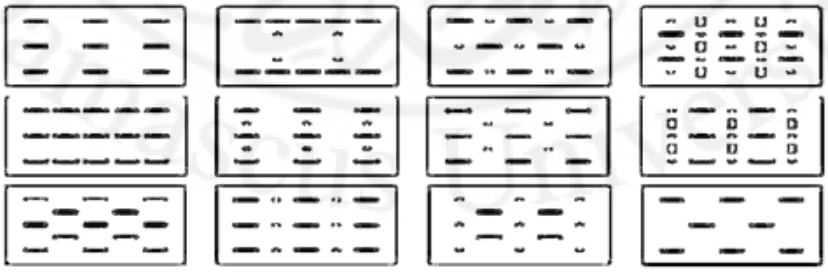
3-4 الأسس المتبعة في توزيع أجهزة الإنارة: Projectors distribution

توزع أجهزة الإنارة في الحيز المنار حيث تحقق سوية الإنارة المناسبة والمنتظمة وإبقاء درجة الوهج ضمن الحدود المسموح بها، ومن أهم قواعد توزيع أجهزة الإنارة ما يلي:

آ-أن تكون المسافة بين محوري جهازين متتاليين ضعف المسافة بين الجهاز والجدار.

الشكل(3-4) يبين قواعد و حالات مختلفة لتوزيع أجهزة إنارة خطية ونقطية.

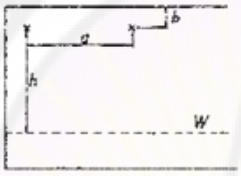




الشكل (3-4) قواعد وحالات مختلفة لتوزيع أجهزة الإنارة

في معظم حالات التوزيع المبينة في الشكل (3-4) يحدث تدني لسويات الإنارة على المستوي الأفقي عند الزوايا بسبب انعكاس الأشعة الضوئية عن الجدران لذلك يجب زيادة عدد الأجهزة أو اختيار أجهزة ذات فيض ضوئي أعلى عند الجوانب .

ب-لضمان انتظام جيد للإنارة على سطح العمل يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار العلاقة بين ارتفاع الجهاز وبعد الأجهزة عن بعضها، إذ تختلف هذه العلاقة حسب نوع الجهاز وخواصه الضوئية . الشكل (3-5) يعطي بعض القيم التوجيهية المعتمدة.



..em	Ratio $\frac{a}{h}$
Direct	1·0 to 1·2
Semi-direct	1·0 to 1·5
Diffusers	1·5 to 2·0
System	Ratio $\frac{a}{l}$
Semi-indirect	2·0 to 3·0
Indirect	3·0 to 5·0

الشكل (3-5) العلاقة بين ارتفاع تركيب الجهاز والتباعد بين الأجهزة

ج-قد يلجأ المصمم في بعض الحالات إلى توزيع غير منتظم لأجهزة الإنارة وذلك لرفع سويات الإنارة في حيز محدد من الغرفة جانب المجاور للنوافذ، إذ إن العمل يتركز في هذا المكان بينما تستخدم الفراغات الأخرى عند الجدار المقابل في وضع الخزائن وغيرها، وهذا يتوافق مع توزيع الإنارة الناتج عن الضوء الطبيعي الوارد من النوافذ.

3-5 اختيار نظام الإنارة المناسب:Illumination systems

بناء" على طبيعة العمل الذي سوف يتم إنجازه في المكان المنار يجب اختيار نظام الإنارة المناسب. في تصاميم الإنارة الداخلية نميز بين الأنظمة التالية للإنارة:

أ- نظام الإنارة العامة General Lighting:

في هذا النظام يتم توزيع أجهزة الإنارة بشكل منتظم على سقف الغرفة حيث لا يوجد مكان محدد لموقع العمل في الغرفة. يستخدم هذا النظام في الأماكن ذات الاستخدامات العامة والمتعددة مثل قاعات درس- مكاتب- مجمعات استهلاكية.

ب- نظام الإنارة الموجهة Directed Lighting:

توزع الأجهزة وفق هذا النظام على سقف الغرفة، حيث تكون مزودة بموجهات نور خاصة (projectors) توجه النور في اتجاه مواقع العمل . يستخدم هذا النظام لتحقيق سوية إنارة مركزة في مكان عمل محدد مثل المسارح ، إنارة البضائع في المعارض.

جـ- نظام الإنارة المركزة Localized Lighting :

في هذا النظام يتم توجيه أجهزة الإنارة على أماكن العمل فقط لرفع سوية الإنارة فوق سطح العمل. يستخدم هذا النظام كثيراً في المصانع والمخابر وغيرها.

د- نظام الإنارة الموضعية Local Lighting:

وهو نظام مختلط بين نظام الإنارة العامة والمركزة، فمع الإنارة العامة تركز الإنارة موضعياً في مواقع معينة كإنارة موضعية لآلة مخرطة، لطاولة رسم، لطاولة عمل دقيق، إنارة السبورة في قاعة دراسية. الشكل (3-6) يبين أنواع أنظمة الإنارة .



الشكل (3-6) أنظمة الإنارة الشائعة

3-6 سويات الإنارة المعتمدة: depended Iluminance

تعطي النظم العالمية سويات الإنارة الواجب اعتمادها في تصميمات الإنارة الداخلية لكل فئة من فئات المباني، تحدد قيمة سوية الإنارة حسب وظيفة المكان .الجدول (A-1) و الجدول(A-2)من الملحق A يبينان سويات الإنارة المعتمدة في بعض الأمكنة بموجب النظم الألمانية .

3-7 طرق حساب سوية الإنارة الداخلية: Interior Iluminance calculations

تستخدم في حساب سوية الإنارة الداخلية طريقتين أساسيتين هما طريقة اللومن وطريقة الإنارة النقطية أو الإنارة المباشرة . الطريقة الأولى تفيد في حساب سوية الإنارة الوسطية فقط ، بينما الطريقة الثانية تفيد في حساب سوية الإنارة المباشرة في نقطة محددة من الحيز المنار، وفيما يلي شرح كل من هاتين الطريقتين :

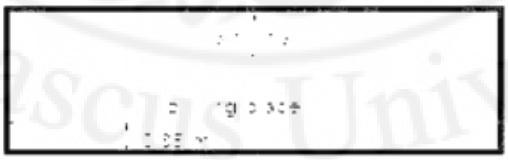
أ- حساب سوية الإنارة باستخدام طريقة اللومن: Lumen method

تعد هذه الطريقة من أكثر الطرائق استخداما"، إذ إنها تأخذ بعين الاعتبار الانعكاسات الضوئية عن الجدران والسقف والأرض وتتميز من الطرائق الأخرى بأنها تعطي مباشرة قيمة سوية الإنارة الوسطية. إن تسلسل الإجراءات الحسابية وفق هذه الطريقة هو التالي :

1"- اختيار سوية الإنارة الوسطية حسب أحد النظم العالمية أو الوطنية المعروفة وذلك وفقاً لفئة المكان ووظيفته.

2"-تحديد قيمة عامل الاستخدام Utilization Factor (η):

يعرف عامل الاستخدام بأنه النسبة بين الفيض الضوئي المستفاد منه فعلاً إلى الفيض الضوئي الكلي للمصابيح المستخدمة . يجب ملاحظة أن الفيض الضوئي الكلي للمصابيح يمتص جزء منه من الجهاز نفسه، والجزء الآخر يشع أو يتناثر باتجاهات مختلفة بعضها في الاتجاه العلوي (فوق المستوى الأفقي لموقع الجهاز) وبعضها في الاتجاه السفلي حيث تصطدم الأشعة إما بسطح العمل أو بالجدران أو السقف حسب اتجاهها. الشكل (3-7) يوضح ذلك.



الشكل (3-7) توزيع الفيض الضوئي لجهاز إنارة

إن قيمة عامل الاستخدام تعتمد على عدة عوامل أهمها:

- التوزيع الضوئي للجهاز.
- نسبة الخرج الضوئي للجهاز Light output ratio .
- الخواص الانعكاسية للسقف والجدران وسطوح العمل، فمثلا تؤخذ القيم الوسطية لعوامل الانعكاس لغرفة ذات ألوان فاتحة (0.7) للسقف، (0.5) للجدران، (0.3) للأرض.
- أبعاد الغرفة وارتفاع الجهاز عن سطح العمل وهي التي يتم بموجبها تحديد ما يسمى عامل قرينة الغرفة K (Room Index) الذي يعطى بالعلاقة:

$$K = \frac{a.b}{(a+b)h} \qquad (3-1)$$

a :عرض الغرفة m.

b :طول الغرفة m .

h :ارتفاع الجهاز عن سطح العمل m. في الإنارة غير المباشرة تكون h هي الارتفاع بين سطح العمل وسطح الغرفة.

تحدد قيمة عامل الاستخدام حسب قيمة عامل قرينة الغرفة، إذ إن قيمة عامل قرينة الغرفة تحدد حسب قيمة عوامل الانعكاس لكل من الأسقف والجدران وسطوح العمل ونوع جهاز الإنارة المستخدم. تعطى قيم عوامل الانعكاس في جداول خاصة لكل جهاز. الجدول (A-3) يبين أحد أنواع الجداول .

3"- تحديد قيمة عامل الصيانة والتقادم MF (Maintenance factor):

يعبر عامل الصيانة والتقادم عن مدى تنفيذ الصيانة الدورية لجهاز الإنارة . إن الفترة الزمنية التي تفصل عملية الصيانة الدورية عن العملية التي تليها تتعلق بما يلي :

- كتامة الجهاز ضد الغبار.
- نظافة المكان.

- مدى التلوث في أجواء المكان المنار .

تتراوح قيمة عامل الصيانة بين (0.5-0.8).

4"- حساب الفيض الضوئي الكلي اللازم للمكان المنار :

يحسب الفيض الضوئي الكلي اللازم لإنارة حيز ما من العلاقة:

$$\varphi_t = \frac{EA}{\eta.\mu F}(lumens) \qquad (3-2)$$

5"- عدد الأجهزة فيحسب من العلاقة:

$$N = \frac{\varphi_t}{n.\varphi_L} \qquad (3-3)$$

حيث:

E : سوية الإنارة الوسطية الأفقية (Lux).

A :مساحة الغرفة (m^2).

η :عامل الاستخدام.

μ :عامل الصيانة والتقادم.

φ_t :السيالة الضوئية الكلية.

φ_L :الفيض الضوئي الاسمي للمصباح ويحدد من الشركة الصانعة .

n :عدد المصابيح في الجهاز الواحد ، و يمكن للجهاز أن يحوي مصباح أو أكثر .

تطبيق : صالة عمل أبعادها $(12\times 6m)$، ارتفاعها (3.5m) يراد إنارتها بأجهزة فلورسنتية صناعية استطاعتها $(2\times 40w)$، وذلك لتأمين سوية إنارة أفقية بحدود 250 LUX.

الحل:

$$H = 3.5 - 0.75 = 2.75 \Rightarrow K = \frac{6 \times 12}{(6+12) \times 2.75} = 1.45$$

من الجدول (A-3) يحدد عامل الاستخدام من الجدول العائد للجهاز بعد افتراض أن الجهاز مركب مباشرة على السقف أي النسبة H_s / H_m حيث H_s مسافة التعليق و H_m ارتفاع عن سطح العمل ويأخذ عامل انعكاس للسقف (70%) وللجدران (50%)، هذا يقابل عامل استخدام قيمته (0.65)، ويأخذ عامل صيانة (0.70) ليصبح:

$$\varphi_t = \frac{EA}{\eta . \mu d F} = \frac{250 \times 6 \times 12}{0.65 \times 0.7} = 39560[lm]$$

على فرض أن الجهاز يحتوي مصباحين كل منهما 40w والفيض الضوئي للمصباح الواحد (2400 Lm) يصبح عدد الأجهزة اللازمة:

$$N = \frac{\varphi_t}{n . \varphi_L} = \frac{39560}{2 \times 2400} = 8.2 \rightarrow 8$$

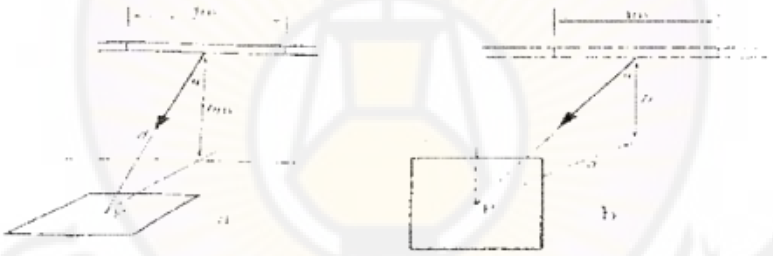
ب-حساب سوية الإنارة باستخدام طريقة الإنارة المباشرة:direct method

تستخدم الطريقة المباشرة أو النقطية في حساب سويات الإنارة في نقطة محددة من الحيز المضاء سواء أكانت على المستوي الأفقي أم الشاقولي بناء" على الإشعاعات المباشرة الواردة من الجهاز. إن حساب سوية الإنارة النقطية وفق هذه الطريقة يتم بالاعتماد على قانوني التربيع العكسي والتجيب وأيضا" على الجداول و مخططات الإيزولكس العائدة للجهاز التي تحدد سويات الإنارة في نقطة محددة . من المفيد الإشارة إلى أن قانون التربيع العكسي وقانون التجيب في حساب سوية الإنارة النقطية استنتجت بناء" على فرضية أن المنابع الضوئية لها خاصية الناثر المنتظم وعند وجود اختلاف عن تلك الصفات يجب الرجوع إلى تعليمات وجداول الجهات الصانعة للحصول على ما يلزم من معلومات. الشكلان (3-8) و(3-9) يوضحان العلاقات العملية المستخدمة في المنابع

النقطية والخطية الطويلة (طول المنبع أكبر بأضعاف من ارتفاعه عن سطح العمل) مع الانتباه إلى أن الشدة الضوئية I_α في المنابع الخطية هي لوحدة الطول، وتؤخذ من مخططات الشدة الضوئية للجهاز.



الشكل (3-8) منبع نقطي



الشكل (3-9) منبع خطي

من الناحية العملية في المنابع الخطية التي تستخدم أجهزة فلورسنتية غير محجوبة يمكن حساب I_α من الفيض الضوئي φ للمتر الطولي مباشرة باستخدام العلاقة:

$$I_\alpha = \frac{\varphi}{\pi^2} = \frac{\varphi}{9.25} \qquad (3-4)$$

للمنابع النقطية يكون:

$$E_P = \frac{I_\alpha}{h^2{}_m}\cos^3\alpha \ , \ E_P = \frac{I_\alpha}{h^2}\cos^2\alpha \sin\alpha \qquad (3-5)$$

أما بخصوص المنابع الخطية لدينا:

$$E_P = \frac{\pi I_\alpha}{2d}\cos\alpha \quad or \quad E_P = \frac{\pi I_\alpha}{2h}\sin\alpha\cos\alpha \qquad (3-6)$$

أو بصورة أخرى:

$$E_P = \frac{\pi I_\alpha}{2h_m}\cos\alpha \quad or \quad E_P = \frac{\pi I_\alpha}{2a}\sin\alpha\cos\alpha \qquad (3-7)$$

3-8 حساب سوية الإنارة و الفيض الضوئي لمنابع ذات أشكال هندسية :

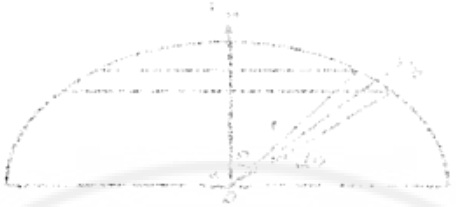
General Huminance Calculations

في تصميمات الإنارة الداخلية نلجأ أحيانا إلى تشكيل منابع ضوئية ذات مساحات كبيرة نسبيا لإنارة صالات أو أماكن ذات مساحات كبيرة. هذه المنابع تصنع من حاوية أو صندوق معدني ذي شكل هندسي مستطيل ، مربع ، دائري أو أسطواني ...الخ . ضمن هذا الصندوق يتم تركيب مصابيح يختارها المصمم لتحقيق سوية الإنارة المطلوبة في الحيز المنار، ثم تغطى المصابيح بغطاء من الزجاج أو البلاستيك الشفاف. بهذه الطريقة نحصل على منابع ضوئية ذات أشكال هندسية مختلفة. في هذه الفقرة سنناقش حساب سوية الإنارة الناتجة عن مثل هذه المنابع باستخدام الطريقة النقطية. سنفرض في التحليل الرياضي لهذه الطرق أن جميع سطوح المنابع الضوئية تمتلك خاصية الناثر المنتظم ووضوح ثابت في جميع الاتجاهات .

3-8-1 حساب الفيض الضوئي لبعض السطوح المضيئة: Flux Calculations

آ-سطح مستو مضيء من جانب واحد:

الشكل (3-10) يبين سطحا" مضيئا" من جانب واحد، مساحته (a)، تم وضعه في مركز نصف كرة. لنفرض أن I_N الشدة الناظمية وأن السطح له خاصية الناثر المنتظم، ومنه يمكن حساب الفيض الضوئي لهذا المنبع كما يلي:



(الشكل 3-10) سطح مضيء من جانب واحد

$$I_\theta = I_N . \cos\theta \qquad (3-8)$$

مساحة سطح الشريحة:

$$A = (r\,d\theta)2\pi r \sin\theta \qquad (3-9)$$

الزاوية المجسمة ω التي ترى فيها هذه الشريحة من مركز الكرة:

$$\omega = \frac{A}{r^2} = \frac{2\pi r^2 \sin\theta\, d\theta}{r^2} \qquad (3-10)$$

لنفرض أن L هو الوضوح للسطح المضيء ومنه:

$$L = \frac{I_\theta}{A\cos\theta} = \frac{I_N \cos\theta}{A\cos\theta} = \frac{I_N}{A} \qquad (3-11)$$

$$I_\theta = L.A.\cos\theta \qquad (3-12)$$

$$d\Phi = \omega . I_\theta \qquad (3-13)$$

$$d\Phi = 2\pi \sin\theta\, LA\cos\theta\, d\theta \qquad (3-14)$$

$$\varphi = \int_\theta^{\frac{\pi}{2}} d\Phi \qquad (3-15)$$

$$\varphi = \int_\theta^{\frac{\pi}{2}} 2\pi\, AL\, \cos\theta\, sia\theta\, d\theta \qquad (3-16)$$

$$= \frac{1}{2} 2\pi LA \int_{\theta}^{\frac{\pi}{2}} \sin 2\theta \, d\theta \qquad (3-17)$$

$$\varphi = \pi AL \qquad (3-18)$$

ب-سطح مضيء من جهتين:

في حال أن السطح مضيئ من جهتين يكون الفيض الضوئي الذي يشعه هذا السطح هو ضعف الفيض الضوئي الذي يشعه السطح المضيء من جهة واحدة أي:

$$\varphi = 2\pi AL \qquad (3-19)$$

ج- سطح مضيئ أسطواني:

لدينا فرض وجود سطح مضيئ على شكل أسطوانة قطرها $(2r)$ وارتفاعها (h) ، وبناءً عليه فإن المساحة المسقطة لهذه الأسطوانة هي $(2rh)$ كما في الشكل (3-11) :



الشكل (3-11) المساحة المسقطة للأسطوانة

إن الفيض الضوئي الذي تعطيه المساحة المسقطة هو ذاته الذي يعطيه سطح مستو من جهة واحدة:

$$\varphi = \pi.A.L \qquad (3-20)$$

$$\Rightarrow \varphi = 2\pi.r.h.L \qquad (3-21)$$

(L) : وضوح السطح الأسطواني.

$2\pi rh$:مساحة سطح الأسطوانة .

ومنه فإن مساحة سطح الأسطوانة أكبر من مساحته المسقطة بـ π مرة وبالتالي فإن الفيض الضوئي أكبر بمقدار π مرة من قيمة الفيض الضوئي للمساحة المسقطة.

$$\Rightarrow \quad \varphi_L = 2\pi^2 .r.h.L \qquad (3-22)$$

3-8-2 حساب سويات الإنارة الناتجة عن بعض المنابع الضوئية :

3-8-2-1 حساب سوية الإنارة الناتجة عن المنابع الخطية:

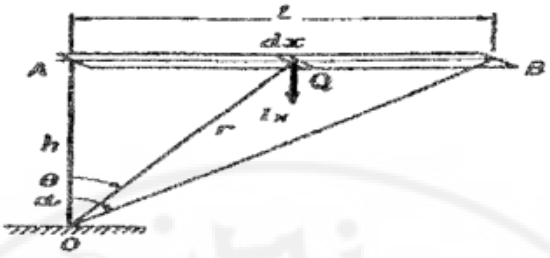
من الناحية العملية يمكن التمييز بين نوعين من هذه المنابع، منابع خطية مستوية ومنابع خطية أسطوانية.

ا-حساب سوية الإنارة الناتجة عن المنابع الخطية المستوية:

المنبع الخطي المستوي هو منبع طوله كبير جداً بالمقارنة مع عرضه وهو شائع الاستخدام على نطاق واسع في أعمال الإنارة الداخلية و الخارجية وخاصة في إنارة الأرصفة المخصصة للانتظار في محطات الموانئ- محطات المترو. حسب موقع النقطة المدروسة نميز بين ثلاث حالات لحساب سوية الإنارة، الأولى عندما تقع النقطة على مستوٍ أفقي موازٍ للمنبع وتحت أحد أطرافه مباشرة، الثانية النقطة المدروسة تقع في المستوي العمودي على المنبع وتحت أحد أطرافه مباشرة، أما في الثالثة فالنقطة تقع في المستوي الموازي للمنبع ولكن تبعد عن مسقطه بمقدار d.

أ- حساب السوية في نقطة واقعة على مستوٍ موازٍ للمنبع وتحت أحد أطرافه مباشرةً:

كما هو مبين في الشكل (3-12) نأخذ شريحة عرضها (dx) وتبعد عن أول المنبع مسافة (x) ونفرض أن (I_γ) هي الشدة الضوئية الناظمية لوحدة الطول.



الشكل (3-12) النقطة 0 تقع على مستوٍ موازٍ وتحت أحد أطراف المنبع مباشرةً

بتطبيق قانون الإنارة النقطية يمكن حساب سوية الإنارة في النقطة والناتجة عن الشريحة ذات العرض (dx) أي:

$$dE_o = \frac{I_\theta}{r^2}.\cos\theta.dx \qquad (3-23)$$

ومن المثلث OAQ نجد أن:

$$\tan\theta = \frac{x}{h} \Rightarrow x = h.\tan\theta \qquad (3-24)$$

$$dx = h.\sec^2\theta.d\theta \qquad (3-25)$$

$$I_\theta = I_X.\cos\theta \qquad (3-26)$$

$$\Rightarrow dE_o = \frac{I_X.\cos\theta.\cos\theta.h}{r^2}.\sec^2\theta.d\theta \qquad (3-27)$$

$$\sec^2\theta = \frac{1}{\cos^2\theta} \qquad (3-28)$$

$$r = \frac{h}{\cos\theta} \qquad (3-29)$$

$$\Rightarrow dE_o = \frac{I_X}{h}.\cos^2\theta.d\theta \qquad (3-30)$$

$$\Rightarrow E_o = \frac{I_N}{h}\int_o^{\alpha} \cos^2\theta.d\theta \qquad (3-31)$$

$$E_o = \frac{I_N}{2h}\left[\alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2}\right] \qquad (3-32)$$

كما يمكن كتابة هذه العلاقة بدلالة l، طول المنبع الضوئي و h ارتفاع المنبع عن السطح المضاء حيث نعلم أن:

$$\sin 2\alpha = 2\sin\alpha.\cos\alpha \qquad (3-33)$$

$$\sin\alpha = \frac{l}{\sqrt{l^2+h^2}}, \cos\alpha = \frac{h}{\sqrt{l^2+h^2}} \qquad (3-34)$$

$$\Rightarrow E_o = \frac{I_N}{2h}\left[\tan^{-1}\frac{l}{h} + \frac{lh}{l^2+h^2}\right] \qquad (3-35)$$

حيث $\tan^{-1}\frac{l}{h}$ تقاس بالراديان.

وإذا فرضنا أن عرض المنبع الضوئي هو (W) فإنه يمكن كتابة العلاقة الأخيرة بدلالة الوضوح (L) كما يلي:

$$I_N = LW \qquad (3-36)$$

في الحالة العامة يمكن أن تكون النقطة التي نريد حساب سوية الإنارة فيها غير واقعة تحت طرف المنبع الضوئي مباشرة وإنما تكون واقعة على أي نقطة من مسقطه على السطح المضاء، كما في الشكل (3-13).



الشكل (3-13) النقطة 0 غير واقعة تحت طرف المنبع مباشرة

في هذه الحالة يتم حساب سوية الإنارة في نقطة ما مثل (0) بمعرفة ما يصلها من إنارة المنبع الضوئي ذي الطول (L_1) والمنبع الضوئي ذي الطول (L_2). وبتطبيق العلاقة (3-35) لحساب $E_o(1), E_o(2)$ تكون سوية الإنارة الكلية في النقطة 0 مساوية:

$$E_o = E_o(l_1) + E_o(l_2) \qquad (3-37)$$

ب- حساب السوية على المستوي العمودي على المنبع وتحت أحد أطرافه مباشرة:

نلاحظ من الشكل (3-14) أن زاوية السقوط هي (90).



الشكل (3-14) النقطة 0 واقعة على المستوي العمودي وتحت أحد أطرافه مباشرة

$$dE_o = \frac{I_\theta}{r^2}.\cos(90-\theta).dx \qquad (3-38)$$

$$dE_o = \frac{I_N \cos\theta.\sin\theta}{r^2}.dx \qquad (3-39)$$

$$r = \frac{h}{\cos\theta}, x = h.\tan\theta \qquad (3-40)$$

$$\Rightarrow dx = h\sec^2\theta.d\theta \qquad (3-41)$$

$$\Rightarrow dE_o = \frac{I_N}{h}.\cos\theta.\sin\theta.d\theta \qquad (3-42)$$

$$\Rightarrow E_o = \frac{I_N}{h}\int_o^\alpha \cos\theta.\sin\theta.d\theta = \frac{I_N}{h}.\frac{\sin^2\alpha}{2} \qquad (3-43)$$

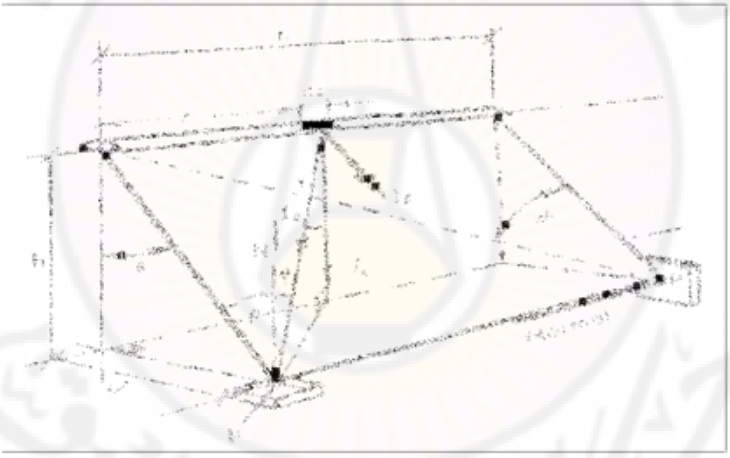
وحيث $I_o = I_y$ نجد أن:

$$E_o = \frac{I_o}{2h}\left[\frac{l^2}{l^2+h^2}\right] \qquad (3-44)$$

جـ- حساب السوية في أي نقطة من الحيز المضاء على المستوي الأفقي للمنبع أو العمودي عليه:

جـ-1- حساب سوية الإنارة على المستوي الأفقي:

من الشكل (3-15) نلاحظ أنه:



الشكل (3-15) حسب سوية الإنارة من منبع خطي في نقطة ما

في النقطة (P) يكون:

$$I_\theta = I_o.\cos\theta \qquad (3-45)$$

$$dE_p = \frac{I_o}{r^2}.\cos\theta.\cos\theta.dz \qquad (3-46)$$

$$r^2 = d^2 + z^2 + h^2 \qquad (3-47)$$

$$\cos\theta = \frac{h}{r} = \frac{h}{\sqrt{d^2 + h^2 + z^2}} \qquad (3-48)$$

$$I_\theta = I_o.\cos\theta \qquad (3-49)$$

$$\Rightarrow dE_p = I_o.\frac{h^2}{d^2 + z^2 + h^2}.\frac{1}{d^2 + z^2 + h^2}.dz \qquad (3-50)$$

$$E_p = I_o \int_o^l \frac{h^2}{(d^2 + z^2 + h^2)^2}.dz \qquad (3-51)$$

$$\Rightarrow E_p = I_o \frac{h^2}{2(d^2 + h^2)}\left[\frac{1}{\sqrt{h^2 + d^2}}.\tan^{-1}\left(\frac{l}{\sqrt{h^2 + d^2}}\right) + \frac{l}{h^2 + d^2 + l^2}\right] \qquad (3-52)$$

من ناحية أخرى يمكن استنتاج العلاقة السابقة بطريقة أسهل من العلاقة التي تمكننا من حساب سوية الإنارة في نقطة واقعة على مستوٍ يوازي المنبع المضيء وتحت طرفه مباشرة، أي من العلاقة (3-53) وهي:

$$E_p = \frac{I_o}{2h}\left[\tan^{-1}\frac{l}{h} + \frac{l.h}{l^2 + h^2}\right] \qquad (3-53)$$

وذلك باتباع الخطوات التالية:

1- تستبدل I_o بـ I_β حيث I_β تساوي:

$$I\beta = I_O.\cos\beta$$

2- تستبدل h بـ $\left(\sqrt{h^2 + d^2}\right)$

3- تضرب العلاقة (2.6) بالحد $(\cos\beta)$

علماً أن $\cos\beta = \frac{h}{\sqrt{h^2 + d^2}}$ كما في الشكل (3-17).

يمكن كتابة العلاقة بدلالة الزاوية (α) بدلاً من h,L حيث نجد من الشكل(3-17) أن:

$$\tan\alpha = \frac{l}{\sqrt{h^2+d^2}}\ ,\ \cos\alpha = \frac{\sqrt{h^2+d^2}}{\sqrt{h^2+d^2+l^2}} \qquad (3-54)$$

$$\sin\alpha = \frac{l}{\sqrt{h^2+d^2+l^2}} \qquad (3-55)$$

$$\Rightarrow E_p = \frac{I_o h^2}{\left(d^2+h^2\right)^{3/2}}\left[\frac{2\alpha+\sin 2\alpha}{4}\right] \qquad (3-56)$$ بالتعويض

جـ-2- حساب سوية الإنارة على المستوى العمودي:

في هذه الحالة يمكن استنتاج سوية الإنارة من العلاقة:

$$E'_p = \frac{I_o}{2h}\left[\frac{l}{l^2+h^2}\right] \qquad (3-57)$$

وذلك بإتباع الخطوات التالية:

1- تستبدل بـ $\sqrt{h^2+d^2}\ h$

2- تستبدل بـ $(I\beta = I_o\cos\beta)I_O$

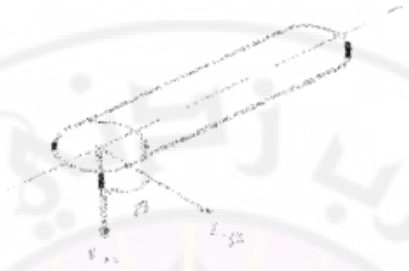
3- لم تتغير زاوية السقوط ولذلك لا داعي لضرب العلاقة بـ $(\cos\beta)$ فتصبح العلاقة:

$$E'_p = \frac{I_o l^2 h}{2\left(h^2+d^2\right)\left(h^2+d^2+l^2\right)} \qquad (3-58)$$

II-حساب سوية الإنارة الناتجة عن المنابع الخطية الأسطوانية:

الاختلاف بين المنابع الخطية والمنابع الأسطوانية أنه بالنسبة للمنابع الخطية الأسطوانية تكون الشدة الضوئية (I) في المستوي العمودي على محور المنبع مساوية إلى الشدة

الضوئية الناظمية وذلك بسبب تناظر الأسطوانة بالنسبة لمحورها. الشكل (3-16) يبين ذلك.



الشكل (3-16) سوية الإنارة للمنابع الأسطوانية الخطية

أما في المستوي الشاقولي المار من محور المنبع فإننا نستبدل I_θ بـ I_N هي:

$$I_\theta = I_N . \cos\theta \qquad (3-59)$$

وبناءً على ذلك تكون علاقة حساب سوية الإنارة في نقطة واقعة تحت أحد طرفي المنبع مباشرة وعلى مستوٍ يوازيه هي نفسها العلاقة التي تم استنتاجها بالنسبة لمنبع خطي مستوٍ أي:

$$E_p = \frac{I_N}{2h}\left[\tan^{-1}\frac{l}{h} + \frac{l.h}{l^2+h^2}\right] \qquad (3-60)$$

ويمكن تقسيم هذه العلاقة بحيث إنه في حال انزياح النقطة (P) لمسافة قدرها (d) عن أحد أطراف المنبع فيتم إجراء الاستبدال التالي في العلاقة (3-58):

- نستبدل بـ h بـ $\sqrt{h^2+d^2}$
- نضرب العلاقة السابقة بـ $(\cos\beta)$ إذ لابد من أخذ زاوية السقوط بالحسبان.
- نبقي I_N بدون استبدال.

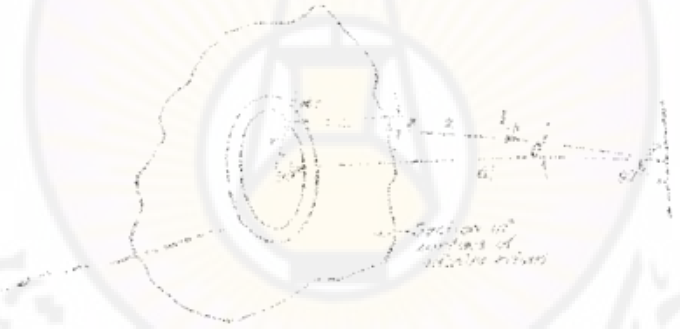
أما لحساب سوية الإنارة التي تعطيها المنابع الأسطوانية على المستوي الشاقولي فإنه يتم تطبيق القوانين نفسها تماماً التي تم استنتاجها بالنسبة للمنبع الخطي المستوي.

3-8-2-2 حساب سوية الإنارة الناتجة عن المنابع السطحية:

المنبع السطحي هو المنبع الذي لا يمكن إهمال عرضه بالمقارنة مع طوله، وهنا يمكن أن نميز عدة حالات:

آ-حساب سوية الإنارة الناتجة عن سطح مستوٍ ذي أبعاد لامتناهية:

الشكل (3-17) يبين مقطع من سطح مضيئ لامتناهي الأبعاد والمطلوب حساب سوية الإنارة في نقطة مثل (P) تبعد مسافة (d) عن هذا السطح .



الشكل (3-17) حالة المستوي ذي أبعاد لامتناهية

$$I_\theta = I_O.\cos\theta \qquad (3-61)$$

من الشكل (3-18) نجد أن:

$$x^2 = d^2 + r^2 \qquad (3-62)$$

ومساحة الشريحة المضيئة:

$$dA = 2\pi.r.dr \qquad (3-63)$$

$$dE_P = \frac{I_\theta}{x^2}\cos\theta\, d\theta \qquad (3-64)$$

$$I_0 = L.dA \qquad (3-65)$$

$$\Rightarrow dE_P = \frac{L.2\pi\, r.dr.\cos\theta.\cos\theta}{x^2}\, d\theta \qquad (3-66)$$

$$\cos\theta = \frac{d}{x} \Rightarrow E_P = \int_o^{\infty} \pi.L.d^2.\left(r^2+d^2\right)^{-2}.2r.dr \qquad (3-67)$$

$$E_P = \pi.L.d^2.\left[\left(r^2+d^2\right)^{-1}\right]_o^{\infty} \qquad (3-68)$$

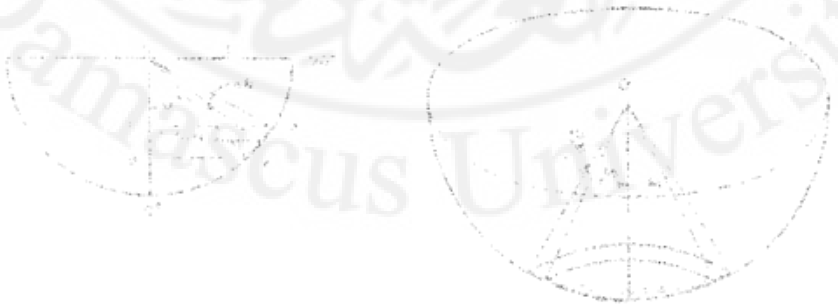
$$\Rightarrow E_P = \pi.L \qquad (3-69)$$

ومن العلاقة (3-69) نستنتج أن سوية الإنارة في النقطة الواقعة على السطح المضاء ليس لها علاقة ببعد هذا السطح عن هذه النقطة.

ب-حساب سوية الإنارة في مركز منبع نصف كروي له خاصية الناثر المنتظم:

من الشكل (3-18) نلاحظ أن مساحة الشريحة تساوي:

$$dA = 2\pi r.\sin\theta.r.d\theta \qquad (3-70)$$



الشكل (3-18) حالة منبع نصف كروي

وبما أن :

$$I_\theta = I_0 \qquad (3-71)$$

$$I_0 = L.dA \qquad (3-72)$$

حسب قانون الإنارة النقطية:

$$dE_P = \frac{I_\theta}{r^2}\cos\theta \qquad (3-73)$$

حيث (θ) هي الزاوية بين الشعاع الساقط من السطح وبين الناظم على هذا السطح وفي الحالة هذه تكون (θ) هي المتغير بينما r يكون ثابتاً، وبالتعويض نجد:

$$dE_P = \frac{2\pi r.r.\sin\theta.d\theta.L.\cos\theta}{r^2} \qquad (3-74)$$

$$\Rightarrow E_P = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{2\pi r.r\sin\theta.d\theta.L.\cos\theta}{r^2} \qquad (3-75)$$

$$\Rightarrow E_P = \pi.L \qquad (3-76)$$

وفي حال وجود سطح مضيء كروي كامل يتم ضرب القيمة السابقة بـ (2).

$$E_P = 2\pi.L \qquad (3-77)$$

ج- حساب سوية الإنارة في مركز قاعدة سطح أسطواني:

يمكن حساب سوية الإنارة في مركز قاعدة سطح اسطواني بإحدى الطريقتين التاليتين:

- طريقة الشريحة الطولانية (وعادة تفضل هذه الطريقة).
- طريقة الشريحة الدائرية.

وسندرس الطريقتين:

1"- طريقة الشريحة الطولانية:

نعتبر شريحة طولانية من سطح الأسطوانة بعرض (W) وضمن زاوية مركزية في القاعدة هي $(d\theta)$ كما في الشكل(3-19).



الشكل (3-19) طريقة الشريحة الطولانية

فإذا كانت الشدة الضوئية لواحدة الطول هي:

$$I_0 = L.dA = LW.I \qquad (3-78)$$

$$dA = r.d\theta.1 = r.d\theta \qquad (3-79)$$

فسوية الإنارة الناتجة عن الشريحة وفي النقطة المدروسة هي:

$$dE_P = \frac{I_N}{2R}\left[\frac{h^2}{R^2+h^2}\right] \qquad (3-80)$$

$$I_0 = L.dA. = R.d\theta.L \qquad (3-81)$$

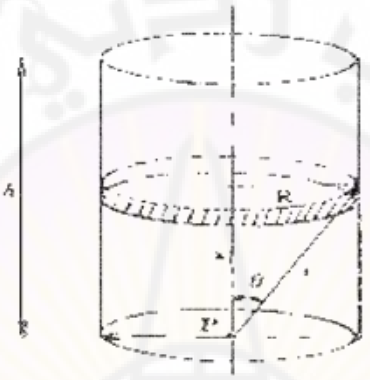
$$dE_P = \frac{R.L.d\theta}{2R}.\frac{h^2}{R^2+h^2} \qquad (3-82)$$

$$E_P = \int_0^{2\pi}\frac{L}{2}.\left(\frac{h^2}{h^2+R^2}\right).d\theta \qquad (3-83)$$

$$\Rightarrow E_p = \pi.L.\left(\frac{h^2}{h^2+R^2}\right) \qquad (3-84)$$

2- طريقة الشريحة الدائرية:

نعتبر شريحة على شكل قرص دائري كما هو مبين في الشكل (3-20).



الشكل (3-20) طريقة الشريحة الدائرية

$$dE_p = \frac{I_\theta}{r^2}.\cos\beta \qquad (3-85)$$

$$I_\theta = I_0.\cos\beta = I_0.\sin\theta \qquad (3-86)$$

$$I_0 = L.dA,\ dA = 2\pi.R.dX\ ,\ r^2 = X^2+R^2 \qquad (3-87)$$

ومن الشكل نجد أن:

$$\cos\theta = \frac{X}{\sqrt{x^2+r^2}}\ ,\ \sin\theta = \frac{R}{\sqrt{x^2+r^2}} \qquad (3-88)$$

$$\cos\beta = \sin\theta \quad , \quad \tan\theta = \frac{R}{x} \qquad (3-89)$$

$$\Rightarrow dX = \frac{R}{\sin^2\theta}.d\theta \qquad (3-90)$$

$$dE_P = \frac{2\pi R.dX}{x^2 + r^2} \cdot \frac{x}{\sqrt{r^2 + x^2}} \cdot \frac{R}{\sqrt{r^2 + x^2}} \qquad (3-91)$$

$$E_P = 2\pi r^2 \int_o^h \frac{x}{\left(x^2 + r^2\right)^2} dx \qquad (3-92)$$

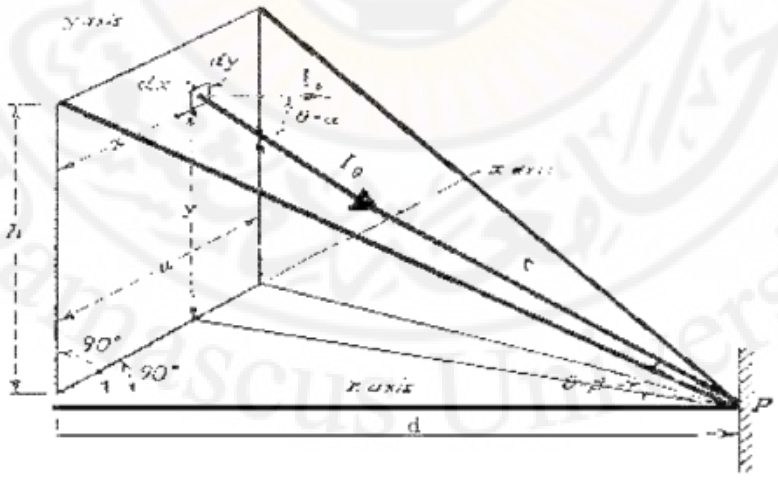
$$\Rightarrow E_P = \pi . L . \frac{h^2}{r^2 + h^2} \qquad (3-93)$$

د- حساب سوية الإنارة الناتجة عن منابع ذات شكل مستطيل:

هنا يمكن أن نميز بين حالتين الأولى النقطة المدروسة تقع على مستوٍ أفقي موازٍ للمنبع وتحت أحد أطرافه مباشرة والثانية النقطة المدروسة تقع على مستوٍ عمودي على المنبع وتحت أحد أطرافه مباشرة .

1- حساب سوية الإنارة في نقطة تقع على مستوٍ أفقي موازٍ للمنبع الضوئي وتحت أحد أطرافه:

ليكن لدينا سطح مضيئ مستطيل الشكل له خاصية الناثر المنتظم الشكل (3-21):



الشكل (3-21) منبع مستطيل الشكل والنقطة المدروسة تقع على مسقط أحد أطرافه

بما أن السطح يملك خاصية الناثر المنتظم لذلك يكون:

$$dE_P = \frac{I_\theta}{r^2}.\cos\theta \qquad (3-94)$$

من الشكل (3-23) لدينا:

$$I_o = L.dA = L.dx.dy$$
$$I_\theta = I_o.\cos\theta$$
$$\Rightarrow I_\theta = L.dx.dy.\cos\theta$$
$$r^2 = d^2 + x^2 + y^2$$
$$\Rightarrow \cos\theta = \frac{d}{\sqrt{d^2 + x^2 + y^2}} \qquad (3-95)$$

وبالتعويض في العلاقة (3-89) نجد:

$$dE_P = \frac{L.dx.dy}{d^2 + x^2 + y^2}.\frac{d^2}{d^2 + x^2 + y^2} \qquad (3-96)$$

$$E_P = L\int_o^h \int_o^w \frac{d^2}{(d^2 + x^2 + y^2)^2}\,dx.dy \qquad (3-97)$$

$$E_P = \frac{L}{2}\left[\frac{h}{\sqrt{h^2 + d^2}}\sin^{-1}\frac{w}{\sqrt{w^2 + h^2 + d^2}} + \frac{w}{\sqrt{w^2 + d^2}}\sin^{-1}\frac{h}{\sqrt{w^2 + h^2 + d^2}}\right] \qquad (3-98)$$

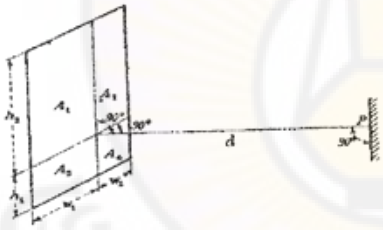
حالة خاصة 1-:عندما يكون المنبع مربعاً فإن h = w ونفترض h = w = m.

$$E_P = \frac{L}{2}\left[\frac{m}{\sqrt{m^2 + d^2}}.\sin^{-1}\frac{m}{\sqrt{2m^2 + d^2}} + \frac{m}{\sqrt{m^2 + d^2}}\sin^{-1}\frac{m}{\sqrt{2m^2 + d^2}}\right] \qquad (3-99)$$

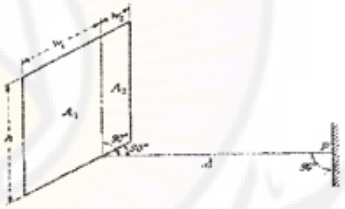
$$\Rightarrow E_P = L\left[\frac{m}{\sqrt{m^2 + d^2}}.\sin^{-1}\frac{m}{\sqrt{2m^2 + d^2}}\right] \qquad (3-100)$$

حالة خاصة 2- عند وقوع النقطة في مكان آخر غير منطبق على مسقط أحد أطراف المنبع الضوئي نقسم المنبع داخلياً أو خارجياً إلى أربعة منابع ونطبق مبدأ التراكم في حساب سوية الإنارة في النقطة المطلوبة. هذه الحالات مبينة في الأشكال (3-24 أ -ب -جـ)، إذ في الشكل (3-22-أ) نلاحظ أن مرتسم أو مسقط النقطة (P) واقع داخل السطح المستطيل المضيء . من الأشكال نلاحظ أنه تم تقسيم المستوي إلى أربعة مستويات (A1),(A2),(A3),(A4) حيث تكون (P) واقعة على مرتسم أو مسقط أطراف هذه المستويات. بالطريقة نفسها تتم تجزئة السطح في الشكل (3-22-ب). أما في الشكل (3-22-جـ) فمسقط النقطة (P) واقع خارج السطح المضيء حيث تطبق العلاقة التالية:

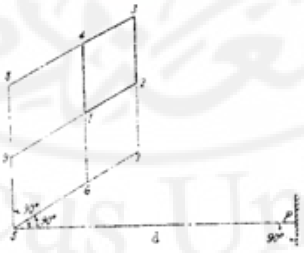
$$E_{1234} = E_{5738} - E_{5648} - (E_{5729} - E_{5619}) = E_{5738} - E_{5648} - E_{5729} + E_{5619} \qquad (3-101)$$



الشكل (3-22-ب)



الشكل (3-22-أ)

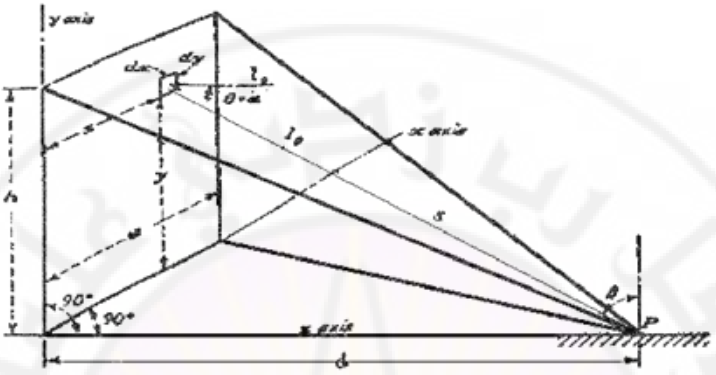


الشكل (3-22-جـ)

الشكل(3-22) حالات خاصة لموقع النقطة المضيئة

2- حساب السوية في نقطة تقع على مستوٍ عمودي على المنبع وتحت أحد أطرافه :

يبين الشكل (3-23) هذه الحالة حيث β زاوية السقوط.



الشكل (3-23) النقطة تقع على مستوٍ عمودي على المنبع وتحت أحد أطرافه مباشرة

من الشكل(3-23) نجد:

$$r^2 = x^2 + y^2 + d^2 \qquad (3-102)$$

$$\cos\theta = \frac{d}{\sqrt{x^2 + y^2 + d^2}} \ , \ \cos\beta = \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2 + d^2}} \qquad (3-103)$$

$$I_O = L.dA = L.dy.dx \qquad (3-104)$$

$$I_\theta = I_O.\cos\theta \qquad (3-105)$$

$$dE_P = \frac{I_\theta}{r^2}\cos\beta \qquad (3-106)$$

$$\Rightarrow dE_P = L.dx.dy.\frac{d}{\sqrt{x^2 + y^2 + d^2}}.\frac{1}{x^2 + y^2 + d^2}.\frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2 + d^2}}$$

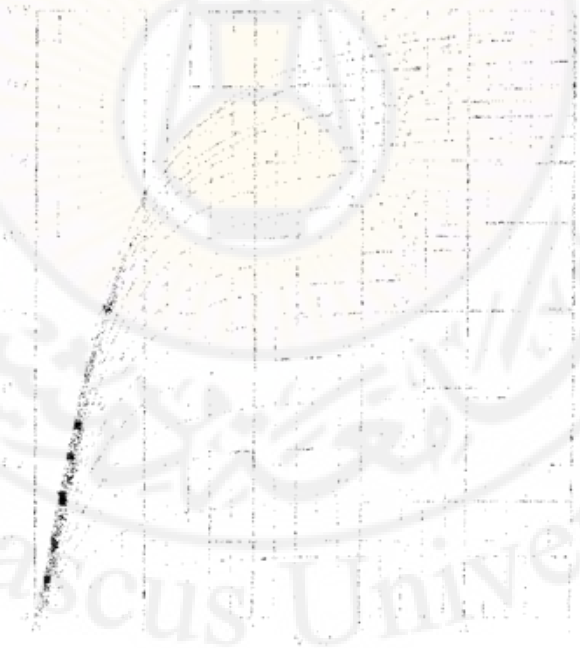
$$E_P = L.d\int_o^b \int_o^y \frac{y.dx.dy}{(x^2 + y^2 + d^2)} \qquad (3-107)$$

$$E_p = \frac{L}{2}\left[\tan^{-1}\frac{w}{d} - \frac{d}{\sqrt{h^2+d^2}}.\sin^{-1}\frac{w}{w^2+h^2+d^2}\right] \quad (3-108)$$

الشكل (3-24) يبين تمثيلاً بيانياً لحلول المعادلة (3-103) لأجل عدة قيم للنسبة $\frac{w}{d}$:

$$\frac{E_p}{L} = \left(\frac{h}{d}\right) \quad (3-109)$$

فمثلاً لأجل الحالات التي تكون فيها النسبة $\frac{h}{d}$ مساوية $\left(\frac{h}{d}=2\right)$ وحسب قيمة النسبة $\frac{w}{d}$ نحصل من المنحنيات على قيمة النسبة $\frac{E_p}{L}$ ويبين المنحني أنه لأجل النسب $\frac{w}{d} > 5$ فيتم افتراض هذه القيمة لانهائية أي $\frac{w}{d}=\infty$ وهذه الحالة مبينة على الشكل.



الشكل (3-24) منحنيات العلاقة $\frac{E_p}{L} = f\left(\frac{h}{d}\right)$ لأجل عدة قيم للنسبة $\frac{w}{d}$

هـ- حساب سوية الإنارة الناتجة عن منابع ضوئية ذات شكل دائري:

هنا أيضا نميز حالتين عمليتين في الأولى النقطة المدروسة تقع ضمن حدود مسقط المنبع والثانية تقع خارج حدود مسقط المنبع .

-حساب سوية الإنارة في نقطة واقعة على مسقط مركز المنبع وعلى مستوٍ يوازيه:

الشكل (3-25) يبين مسقط النقطة (P) على مرتسم مركز المنبع وعلى مستوٍ يوازيه.



الشكل (3-25) النقطة (P) في مرتسم مركز المنبع وواقعة على مستوٍ يوازيه

$$I_O = L.dA \qquad (3-110)$$

حيث:

dA :هي مساحة الشريحة العنصرية المأخوذة من السطح الدائري وقيمتها:

$$dA = 2\pi.x.dx \qquad (3-111)$$

$$x = q.\tan\theta \ , \ dx = q.\sec^2\theta.d\theta \qquad (3-112)$$

$$dA = 2\pi.q^2.\tan\theta.\sec^2\theta.d\theta \qquad (3-113)$$

$$dE_P = \frac{2\pi.L.q^2.\tan\theta.\sec^2\theta.d\theta}{r^2}.\cos\theta\cos\theta \qquad (3-114)$$

$$dE_P = \frac{I_\theta}{r^2}\cos\theta \qquad (3-115)$$

$$I_\theta = I_O .\cos\theta = L.dA.\cos\theta \qquad (3-116)$$

ومن الشكل نجد:

$$r^2 = \frac{q^2}{\cos^2\theta} \qquad (3-117)$$

$$\Rightarrow dEp = 2\pi L.\sin\theta.\cos\theta.d\theta \qquad (3-118)$$

وبإجراء التكامل من O إلى α نجد:

$$E_P = 2\pi L\int_o^\alpha \sin\theta.\cos\theta.d\theta \qquad (3-119)$$

$$E_P = \pi.L.\sin^2\alpha \qquad (3-120)$$

$$\sin\alpha = \frac{a}{\sqrt{a^2+q^2}} \qquad (3-121)$$

وبالتعويض في المعادلة (3-114) نجد أن:

$$E_P = \pi.L.\frac{a^2}{a^2+q^2} \qquad (3-122)$$

-حساب سوية الإنارة في نقطة واقعة على مستوٍ يوازي المنبع وتبعد مسافة S عن مسقط مركزه:

النقطة المدروسة في هذه الحالة تقع على مستوي يوازي المنبع ولكن تبعد مسافة (S) عن مسقط مركز المنبع كما في الشكل (3-26) .

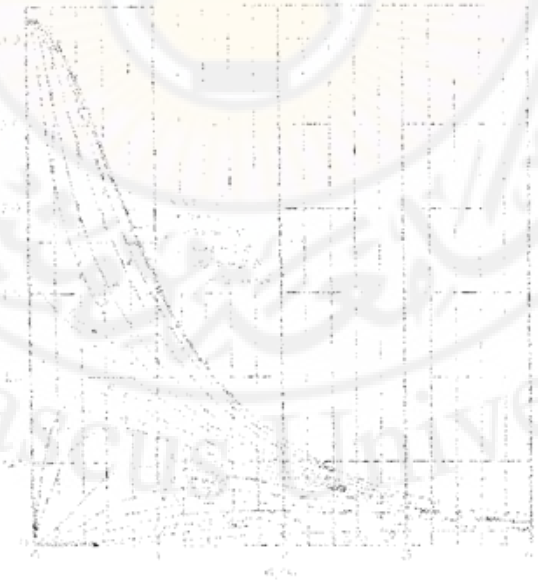


الشكل (3-26) النقطة غير واقعة على مسقط مركز المنبع

وفي هذه الحالة فإن سوية الإنارة تحسب بالعلاقة:

$$E_P = \frac{\pi . L}{2}\left[1 + \frac{a^2 - q^2 - s^2}{\sqrt{\left(q^2 + s^2 + a^2\right)^2 - 4a^2 s^2}}\right] \qquad (3-123)$$

الشكل (3-27) يبين حلول المعادلة (3-123) لأجل قيم مختلفة للنسب $\frac{q}{a}, \frac{E_P}{L}$ وباستخدام عدة منحنيات وكل منحنٍ لأجل قيمة معينة للنسبة $\left(\frac{s}{a}\right)$.



الشكل (3-27) منحنيات حلول المعادلة (3-123)

و- حساب سوية الإنارة التي يعطيها منبع ذو سطح كروي :

الشكل (3-28) يبين سطحاً كروياً له خاصية الناثر المنتظم ووضوحه (L) والمطلوب حساب سوية الإنارة في النقطة (P) الواقعة خارج الكرة. يمكن القول إن الإنارة التي تعطيها الكرة لها خاصية الناثر المنتظم هي الإنارة نفسها التي يعطيها قرص دائري يمثل المساحة الظاهرة للكرة كما ترى من النقطة المراد حساب الإنارة فيها وعلى افتراض أن:

$$\frac{R}{d} = \frac{r}{\sqrt{r^2 + D^2}} \qquad (3-124)$$

$$\Rightarrow E_P = \pi L R^2 / d^2 \qquad (3-125)$$

وهذا يعني أنه يمكن افتراض السطح الكروي المضيء كمنبع نقطي مركز في مركز الكرة وشدته الضوئية تعادل $\pi R^2 L$.



الشكل (3-28) الإنارة التي يعطيها منبع كروي

في الحساب السابق للإنارة التي يعطيها سطح كروي تم الاعتماد على المبدأ التالي : إن كل سطح مضيء له خاصية الناثر المنتظم ومهما كان شكله يمكن معالجته مكافئاً إلى سطح مستوٍ أطرافه تنطبق على أطراف السطح الحقيقي كما يرى من المنطقة المراد حساب سوية الإنارة عليها. للبرهان على هذا المبدأ لنأخذ سطحين مضيئين صغيرين S_2, S_1 كما هو مبين في الشكل (3-29) ولهما الوضوح نفسه.



الشكل (3-29) مكافأة السطوح المضيئة الناثرة المنتظمة

ولنبرهن أنهما يحققان سوية الإنارة نفسها في النقطة (P). إن السطح S_1 يعطي سوية إنارة قدرها $(a_1.L/d_1^2)\cos\theta_1\cos\theta$ بينما يعطي السطح S_2 يعطي سوية إنارة قدرها $(a_2.L/d_2^2)\cos\theta_2\cos\theta$ وبما أن أطراف السطح منطبقة على بعضها كما نراها من النقطة (P) إذاً:

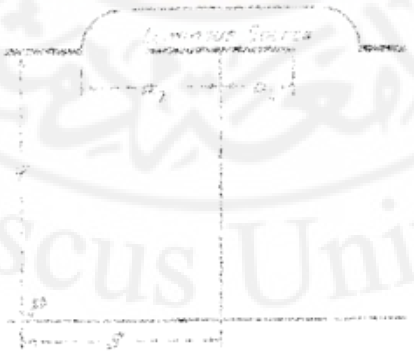
$$a_1\cos\theta_1/d_1^2=(a_2\cos\theta_2)/d_2^2 \qquad (3-126)$$

وهذا يعني أن سوية الإنارة في النقطة (P) هي واحدة بالنسبة للسطحين.

3-9 تطبيقات :

تطبيق 1:

منبع ضوئي حلقي الشكل (3-30) ، مزود بغطاء ناشر للضوء إذ أن نصف القطر الخارجي للمنبع هو $(a_1=1.37\,m)$ بينما نصف قطره الداخلي هو $(a_2=0.76\,m)$، ارتفاع المنبع عن سطح الأرض هو $(q=2.74\,m)$. والمطلوب حساب سوية لإنارة في نقطة واقعة على بعد $(S=1.98\,m)$ من مركز المنبع وذلك أولاً باستخدام المنحنيات البيانية ثم ثانيا باستخدام الطريقة التحليلية. افرض أن وضوح المنبع هو $(L=2325\,cd/m^2)$.



الشكل (3-30) مسقط جبهي للمنبع الضوئي

-الحل البياني:

يتم الحل باستخدام المنحنيات البيانية المبينة في الشكل (3-28) :

إن استخدام المنحنيات البيانية للحل يتطلب حساب النسب التالية:

إذا كان نصف قطر المنبع هو (a_1) ومنه يمكن حساب النسب $\frac{s}{a_1}, \frac{q}{a_1}$.

$$\frac{q}{a_1} = \frac{2.74}{1.37} = 2 \qquad \frac{q}{a_2} = \frac{2.74}{0.76} = 3.60$$

$$\frac{s}{a_1} = \frac{1.98}{1.37} = 1.44 \qquad \frac{s}{a_2} = \frac{1.98}{0.76} = 0.60 \quad \Rightarrow \frac{E_P}{L} = 0.34$$

أما إذا كان نصف قطر المنبع الضوئي هو (a_2) وحسب قيم النسبة $\frac{s}{a_2}, \frac{q}{a_2}$ نحصل من المنحنيات السابقة على القيمة: $\frac{E_P}{L} = 0.1$

إن حاصل طرح القيمتين السابقتين للنسبة $\frac{E_P}{L}$ يعطي قيمة النسبة $\frac{E_P}{L}$ الناتجة فعلاً عن المنبع الحلقي، أي:

$$\left(\frac{E_P}{L}\right)_{tot} = 0.34 - 0.1 = 0.24$$

$$\Rightarrow E_P = L \times 0.24 = 2325 \times 0.24 = 558 lumen/m^2$$

-الحساب التحليلي:

يتم أولاً حساب سوية الإنارة في النقطة (P) والناتجة عن المنبع بافتراض نصف قطره هو (a_1) وباستخدام العلاقة:

$$E_{P1} = \frac{\pi . L}{2}\left[1 + \frac{a^2 - q^2 - s^2}{\sqrt{(q^2 - s^2 - al^2)^2 - 4a^2 s^2}}\right]$$

$$\Rightarrow E_{P1} = \frac{\pi.2325}{2}\left[1+\frac{(1.37)^2-(2.74)^2-(1.98)^2}{\sqrt{\left[(2.74)^2+(1.98)^2+(1.37)^2\right]^2-4(1.37)^2(1.98)^2}}\right]$$

$$\Rightarrow E_{P1} = 780.85 lumen/m^2$$

ثم نحسب سوية الإنارة في (P) والناتجة عن المنبع بافتراض نصف قطره (a_2)، باستخدام العلاقة نجد أن:

$$E_{P2} = \frac{\pi.2325}{2}\left[1+\frac{(0.76)^2-(2.74)^2-(1.98)^2}{\sqrt{\left[(2.74)^2+(1.98)^2+(0.76)^2\right]^2-4(0.76)^2(1.98)^2}}\right]$$

$$\Rightarrow E_P = E_{P1} - E_{P2} = 780.85 - 242.54 \qquad \Rightarrow E_P = 538.31 lumen/m^2$$

ومن الملاحظ أن الجواب الذي حصلنا عليه بالطريقة التحليلية قريب من الجواب الذي حصلنا عليه بطريقة المنحنيات.

تطبيق 2:

صالة مستطيلة أبعادها (25×15) متراً وارتفاعها (5m) تمت إنارتها بواسطة ثلاثة أنواع من المنابع الضوئية أبعادها مبينة على الشكل (3-31) وهي:

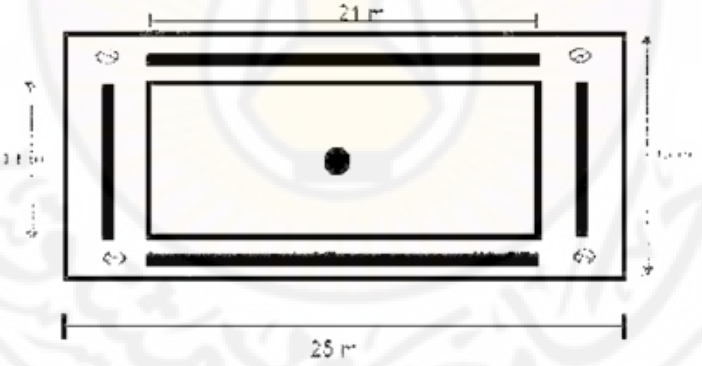
- منبع سطحي بقياس (11×21) متر وهو يمثل منبعاً ضوئياً له خاصية الناثر المنتظم تم تشكيله باستخدام مصابيح إنارة فلوريسنت موزعة كالتالي:

- عشرة صفوف بين كل صف وآخر يوجد مسافة (1m) ومركبة بالاتجاه الطولاني للسطح. كل صف يحتوي (16) أنبوباً فلوريسنتياً استطاعة كل أنبوب (40w) والفيض الضوئي الذي يعطيه هو (2000Lm) وتمت تغطية هذه الأنابيب من الأسفل بموزع نور من مادة (البلكسي غلاس) مردوده الضوئي (50%).

- أربعة منابع خطية أسطوانية الشكل أطوالها (11m)في الاتجاه العرضاني و (21m) في الاتجاه الطولاني مركبة في منتصف المسافة الفاصلة بين جدار الغرفة والمنبع السطحي المضيء. الشدة الضوئية لوحدة الطول لهذه المنابع (200Cd) مع العلم أن هذا المنبع له خاصية الناثر المنتظم.

- أربعة منابع نقطية مركبة في الزوايا وعند نقطة تقاطع المنابع الخطية .مواصفات هذه المنابع هي: مصابيح تنغستن – هالوجين استطاعة كل منها (1000w) وات ،الفيض الضوئي لها ولكل وات هو (17Lm)،منحني الإنارة القطبية لها ولكن (1000Lm) هو دائرة تحت المحور قطرها (500 Cd). **والمطلوب:**

1- حساب سوية الإنارة في مركز الغرفة وعلى الأرض مباشرة.
2- حساب سوية الإنارة في أحد أطراف الغرفة وعلى الأرض مباشرة علماً أن أجهزة الإنارة مثبتة مباشرة على سقف الغرفة.



الشكل (3-31)

حل الطلب الأول:

ب- حساب سوية الإنارة الناتجة عن المنابع النقطية :

$$E_p = \frac{I_\theta}{r^2}\cos\theta$$

ومن الشكل (3-32) نجد أن:

$$r = \sqrt{(13.2)^2 + (5)^2} = 14.1m$$



الشكل (3-32)

$$\cos\theta = \frac{5}{14.11} = 69.24$$

الفيض الضوئي هو:

$$\Phi = 17 \times 1000 = 17000 lumen$$

الشدة الضوئية الناظمية:

$$I_o = \frac{500 \times 17000}{1000} = 8500\ cd$$

$$\Rightarrow I_\theta = I_O.\cos(69^\circ) = 8500.\cos(69^\circ) = 3046$$

$$\Rightarrow E_P = 4 \times \frac{3046}{(14.11)^2} \times \cos(69^\circ) = 21.93(lux)$$

-حساب سوية الإنارة الناتجة عن المنبع السطحي:

$$\Phi = \pi.L.A \qquad , \qquad L = \frac{\Phi}{\pi.A}.\eta$$

$$L = \frac{\varphi n}{\pi . A}.\eta = \frac{16 \times 10 \times 2000}{3.14 \times 21 \times 11} \times \frac{50}{100} \quad \Rightarrow L = 220.5\ cd/m^2$$

$$d = 5m,\ w = 5.5m,\ h = \frac{21}{2} = 10.5m$$

$$\Rightarrow E_S = 4 \times \frac{220.5}{2}\left[\frac{10.5}{\sqrt{10.5^2 + 5^2}}\sin^{-1}\frac{5.4}{\sqrt{10.5^2 + 5.5^2 + 5^2}} + \frac{5.5}{\sqrt{5.5^2 + 5^2}}\sin^{-1}\frac{10.5}{\sqrt{10.5^2 + 5.5^2 + 5^2}}\right] = 486Lux$$

-حساب سوية الإنارة الناتجة عن المنابع الخطية الأسطوانية:

المنابع العرضانية:

يتم حساب سوية الإنارة الناتجة عن المنابع الخطية الأسطوانية المركبة بالاتجاه العرضاني للغرفة حيث يتم إجراء الاستبدال التالي في المعادلة:

1) $I_\theta \rightarrow I_0$

2) $h \rightarrow \sqrt{h^2 + d^2}$

3) ضرب العلاقة بـ $\cos\beta$

$$E_{P1} = \frac{I_o}{2.\sqrt{h^2 + d^2}}\left[\tan^{-1}\frac{l/2}{2.\sqrt{h^2 + d^2}} + \frac{l/2\sqrt{h^2 + d^2}}{(l/2)^2 + h^2 + d^2}\right].\cos\beta$$

$$r^2 = h^2 + d^2,\ r = \sqrt{5^2 + 10.5^2} = 11.63m^2$$

$$\cos\beta = \frac{h}{r} = \frac{5}{\sqrt{d^2 + h^2}} = \frac{5}{11.63} = 0.43$$

$$h = 5m,\ d = 10.5m.\ l/2 = 5.5m$$

$$\Rightarrow \quad E_{P1} = 4 \times \frac{200}{2.\sqrt{10.5^2 + 5^2}} \left[\tan^{-1} \frac{5.5}{2\sqrt{5^2 + 10.5^2}} + \frac{5.5\sqrt{5^2 + 10.5^2}}{5.5^2 + 5^2 + 10.5^2} \right] \times 0.43$$

$$E_{P1} = 12.3 lux$$

الحالة الثانية:

يتم حساب سوية الإنارة الناتجة عن المنابع الأسطوانية المركبة بالاتجاه الطولاني للغرفة حيث لدينا الأطوال:

$$h = 5m, d = 5.5m, l/2 = 10.5m$$

$$\Rightarrow E_{P2} = 4 \times \frac{200}{2.\sqrt{5^2 + (5.5)^2}} \left[\tan^{-1} \frac{5.5}{\sqrt{5^2 + (5.5)^2}} + \frac{10.5\sqrt{5^2 + 5.5^2}}{(10.5)^2 + 5^2 + (5.5)^2} \right] \cos\beta$$

$$\cos\beta = \frac{h}{r} = \frac{5}{7.433} = 0.673 \qquad \Rightarrow E_{P2} = 51.7 lux$$

$$E_{PL} = E_{P1} + E_{P2} = 12.3 + 51.7 = 64 lux$$

$$\Rightarrow (E_P)_{tot} = 21.93 + 486 + 64 = 572 lux$$

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل الرابع

الأسس التصميمية للإنارة الخارجية

Outdoor lighting design basics

4-1 مقدمة:Introduction

في الفصل الثالث من هذا الباب تناولنا الأسس التصميمية للإنارة الداخلية ، أما في هذا الفصل فسوف نتناول الأسس التصميمية للإنارة الخارجية. المقصود بالإنارة الخارجية هي دراسة حساب سويات الإنارة في الأماكن التي تقع خارج المباني، حيث يطلق عليها أيضا" الإنارة الموجهة أو الفائضة. من أهم الأماكن التي تتطلب إنارة خارجية موجهة واجهات المباني، الطرق والشوارع، الساحات العامة بالإضافة إلى الملاعب الرياضية. [10],[11],[27],[42],[54],[70],[71],[81],[92],[103]

4-2 إنارة الشوارع والطرق Street and Road Lighting:

تعتبر دراسة إنارة الشوارع والطرقات من أهم مواضيع الإنارة الخارجية . إذ أن الدراسة الجيدة لها تحقق وضوح رؤية لكل من السائقين والمشاة وبالتالي توفر سوية عالية للسلامة المرورية . وتهدف إنارة الشوارع عموما" إلى تأمين ما يلي:

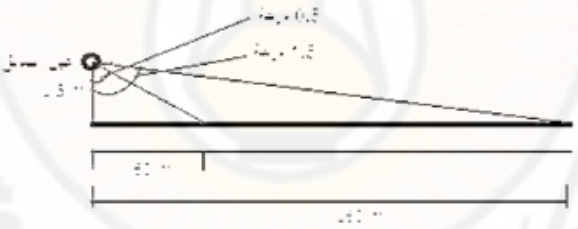
- سهولة حركة السيارات والمشاة.
- التخفيف من نسبة الحوادث التي تسبب خسائر بشرية ومادية.
- تشجيع وتسهيل العمل التجاري والصناعي والسياحي أثناء الليل.
- خلق أجواء جذابة في المناطق السكنية.

4-2-1 وضوح الرؤية Visibility:

من العوامل التي يجب دراستها بعناية ودقة عند تصميم إنارة شارع ما يلي:

- الوضوح ، الانتظامية، درجة الانبهار.

فإذا ما تم وضع قيم مناسبة لهذه العوامل سوف يسمح ذلك للسائق بالتعرف السريع على المعالم المحيطة والقيادة بشكل آمن . إن وضوح معظم السطوح يكون عالياً عندما تكون زاوية سقوط الأشعة الضوئية كبيرة ، أيضاً عندما تكون زاوية الرؤية كبيرة وهذا هو الوضع القائم في إنارة الشوارع . إن انتباه السائق ينصب عادة على مسافة من الشارع تتراوح ما بين 60 m و 160m إلى الأمام. ضمن هذه المسافة تكون زاوية سقوط الأشعة الضوئية مائلة بشكل كبير وتصنع مع سطح الشارع زاوية تتراوح بين 0.5 و 1.5درجة علما أن ارتفاع عين السائق عن الأرض 1.5m كما هو مبين على الشكل (4-1-آ). إن هذه الحقيقة وبهدف تحقيق وضوح عالٍ تلزمنا تركيب أجهزة الإنارة على ارتفاع منخفض وأن تكون من الأنواع التي تركز إشعاعها الضوئي بالقرب من الخط الأفقي. لكن ذلك قد يؤدي إلى زيادة درجة الانبهار، وهذه حالة يجب تجنبها إذ إنه لتأمين رؤية جيدة يجب تبني حل يؤمن درجة انبهار منخفضة ووضوح عالٍ.



الشكل(4-1-آ)

4-2-2 المعلومات المطلوب توفرها عند إجراء دراسة إنارة شارع أو طريق:

قبل البدء بدراسة تصميم مشروع إنارة شارع أو طريق لابد من تأمين المعلومات التالية:

- معرفة تصنيف الشارع من حيث الوظيفة حسب النظم العالمية.
- معرفة حركة السير من حيث السرعة، الكثافة بالإضافة إلى حجم حركة المشاة .
- تحديد سوية الإنارة والوضوح ودرجة الانتظام حسب النظم العالمية.

- معرفة أبعاد الشارع، أي عرض كل من الطريق والأرصفة، المنحنيات، مقاطع طولية وعرضية للشارع.
- معرفة نوع طبقة الإكساء السطحية والخواص الانعكاسية لها.
- معرفة نوع الأبنية على جانبي الطريق ومظهرها وإكساءاتها وخصوصاً في المدن.
- معرفة مواقع مواقف السيارات على جانبي الشارع وعدد السيارات وطريقة الوقوف.
- معرفة المعالم المحيطة بالطريق كالأشجار ومعرفة ارتفاعها وامتدادها على الشارع.
- معرفة احتمال وجود ممرات مشاة .

4-2-3 المصابيح المستخدمة في إنارة الشوارع والطرق:

Used Lamps in Street Lighting

تستخدم في إنارة الشوارع عدة أنواع من المصابيح منها المتوهجة، الفلوريسنت، بخار الزئبق والصوديوم، كما تستخدم مصابيح الميتيل هاليد و الهالوجين في إنارة عقد السير ومواقف السيارات. إن اختيار المصباح الأفضل أو الملائم يتوقف على خواص كل نوع من هذه المصابيح. من أهم العوامل التي تؤدي دوراً رئيساً في اختيار المصباح ما يلي:

- **عامل الخرج الضوئي:** عند دراسة مشروع تصميم إنارة شارع لابد من تأمين فيض ضوئي كافٍ لتغطية المسافة بين عمودين متتابعين. هذا العامل ينعكس على اختيار استطاعة المصباح و مردوده الضوئي.
- **العامل الاقتصادي:** في ظل توفر مصابيح متنوعة ، يجب اختيار مصباح ذي فيض ضوئي عالٍ ورخيص الثمن الأمر الذي يخفض من تكاليف المشروع.
- **عامل زمن وصول الفيض الضوئي للمصباح إلى قيمته الاسمية:** إن كلاً من مصابيح بخار الصوديوم وبخار الزئبق تحتاج إلى زمن15-10 دقيقة بعد وصل التيار الكهربائي إليه حتى يصل الفيض الضوئي إلى قيمته الاسمية النهائية بينما المصابيح المتوهجة والليد لا تحتاج إلى ذلك.
- **عامل الرؤية:** يحكم على الرؤية بصورة أساسية من درجة التباين في الوضوح بين الجسم وخلفيته. إن رؤية المعالم المحيطة رؤية جيدة تكون أكبر عند استخدام أجهزة

مثل بخار الصوديوم ذات الطيف اللوني الوحيد ، ولكن ذلك يكون على حساب رؤية المعالم الدقيقة للجسم التي تصبح أقل في هذا النوع من المصابيح.

- **عامل الجودة الطيفية:** إن أهمية هذا العنصر تختلف حسب نوع الطريق، فمثلاً عند مرور الطريق في منطقة مأهولة من المهم عدم ظهور تشويه للألوان الحقيقية للمعالم المحيطة به. بينما في الطرقات الرئيسة حيث السلامة تؤدي الدور الأكبر لا يهمنا التشويه الذي يحدث في الألوان نتيجة استخدام مصابيح إنفراغية. الشكل(4-1-ب) يبين تصنيف المصابيح المستخدمة في إنارة الشوارع .

الشكل(4-1-ب) تصنيف المصابيح المستخدمة في إنارة الشوارع .

الجدول (4-A) يبين مواصفات المصابيح المستخدمة في إنارة الشوارع .

4-2-4 أجهزة إنارة الشوارع: Projectors

المقصود بجهاز الإنارة هو الحاوية المعدنية التي يثبت بداخلها المصباح . من الجانب العملي يوجد أنواع كثيرة من هذه الأجهزة لكل منها خواصه الانعكاسية وأيضا درجة الحماية. تتألف أجهزة إنارة الشوارع عادة من :

- غطاء مصنع من المعدن أو من مواد بلاستيكية .
- عاكس ضوء (موزع نور) من الأسفل موجود داخل الغطاء .
- المصباح .

- المتممات وتشمل المقلع .

ومن أهم الخواص التي يجب أن تتوفر في أجهزة إنارة الشوارع ما يلي:

- أن تكون قادرة على توجيه الفيض الضوئي في اتجاهات مختلفة من أجل الحصول على توزيع ملائم للضوء على سطح الطريق.
- أن تكون ذات مردود ضوئي عالٍ.
- أن تؤمن حماية المصباح من العوامل الجوية .
- أن تكون ذات صناعة جيدة تؤمن توضعاً ميكانيكياً مستقراً للمصباح داخلها وأن تؤمن حماية ودرجة عزل كافية لمكونات الجهاز كافة.
- أن تكون سهلة التركيب والصيانة والتنظيف.
- أن تكون ذات شكل خارجي جميل.

من الناحية العملية نميز بين نوعين من الأجهزة، بعضها يستخدم للإنارة الوظيفية كإنارة الشوارع والطرق العامة والآخر للإنارة التزيينية كإنارة الحدائق والممرات فيها، إن هذا النوع الأخير يجب أن يكون ذا منظر خارجي جميل يتناسب مع الخواص الجمالية للحيز الذي وضع فيه الجهاز . عموماً تصنف أجهزة الإنارة حسب المعايير التالية :

- حسب نوع المصباح الضوئي المستخدم (صوديوم، زئبق، متوهج. .).
- حسب وظيفة الجهاز (إنارة شوارع، إنارة أنفاق. . .).
- حسب الخواص الضوئية للجهاز (توزيع الشدة الضوئية في المستوى العمودي والمستوي الأفقي). ونميز من حيث التصنيف الذي يعتمد على الخواص الضوئية للجهاز ثلاثة أنواع من الأجهزة هي:

آ- المحجوب (Cut-off) ويرمز له بالرمز (Co).

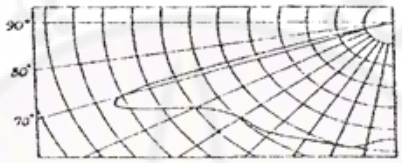
ب-نصف المحجوب (Semi cut off) ويرمز له بالرمز (Sco).

ج-غير المحجوب (Non cut off) ويرمز له بالرمز (Nco).

ولقد تم تحديد مواصفات هذه الأجهزة حسب (CIE) على النحو التالي:

آ- النوع المحجوب: (cut-off or full cut-of)

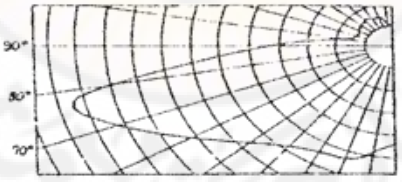
في هذا النوع تقع الشدة العظمى للفيض الضوئي بين الزاويتين (0) و (65) درجة . وفضلاً عن ذلك يجب أن تكون الشدة الضوئية عند الزاوية (80) أقل من (30Cd) لكل 1000Lm ، وكذلك عند الزاوية (90) يجب أن تكون الشدة أقل من (100Cd) لكل 1000Lm. الشكل(4-2) يبين منحني الشدة الضوئية لهذا النوع من الأجهزة.



الشكل (4-2) منحنيات الشدة الضونية في المستوي الشاقولي لجهاز إنارة شوارع محجوب.

ب-النوع نصف المحجوب: (Semi cut-off)

في هذا النوع يجب أن تكون الشدة الضوئية العظمى واقعة بين الزاويتين(0) و (75) درجة مع قيمة أقل من (100 cd/1000 Lm) عند زاوية (80) درجة وأقل من (50 cd/1000 Lm) عند الزاوية (90) درجة. الشكل(4-3) يبين منحني الشدة الضوئية لهذا النوع من الأجهزة.



الشكل (4-3) منحنيات الشدة الضوئية في المستوي الشاقولي لجهاز إنارة شوارع نصف محجوب.

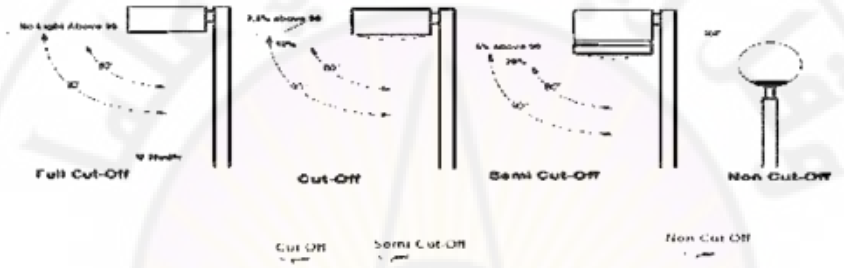
ج-النوع غير المحجوب: (Non Cut-off)

في هذا النوع يمكن أن تكون الشدة الضوئية العظمى في أي زاوية بين (0) و (90) درجة ولكن يجب ألا يتجاوز (100Cd) بغض النظر عن الفيض الضوئي للمصباح عند الزاوية (90) درجة. الشكل(4-4) يبين منحني الشدة الضوئية لهذه الأجهزة.



الشكل (4-4) منحنيات الشدة الضوئية في المستوي الشاقولي لجهاز إنارة شوارع غير محجوب.

الشكل(4-5) يبين هذه الأنواع لجهاز مركب على عمود.



الشكل(4-5)أنواع أجهزة الإنارة مركبة على عمود إنارة

الجدول (A-5) يبين المواصفات المعتمدة في نظام CIE والنظام البريطاني BSIلأجهزة الإنارة. إن لكل نوع من أجهزة الإنارة خاصية توزيع ضوئي تحدد مجال استخدام خاص به، فمثلاً تسبب أجهزة الإنارة غير المحجوبة انبهاراً في العين نظراً لشدتها الضوئية الكبيرة في الاتجاهات القريبة من الخط الأفقي. يمكن التخفيف من أثر الانبهار في هذه الأجهزة بتركيبها على ارتفاعات عالية نسبياً، ومن جهة أخرى يعطي هذا النوع من الأجهزة وضوحاً عالياً ويسمح لنا باستخدام فتحات أكبر بين الأعمدة ، ولذلك يمكن استخدام هذه الأجهزة في إنارة الشوارع العريضة. أما في الأجهزة المحجوبة تكون ظاهرة الانبهار شبه معدومة، وهذا يجعل ظروف الرؤية مريحة جداً، ولكن بالمقابل فإن التباعد بين الأعمدة يكون صغيراً نظراً لأن الانتشار الضوئي للجهاز في الاتجاه الطولي للشارع يكون محدود، وهذا ما يبرر استخدام هذه الأجهزة في الشوارع الضيقة وعلى ارتفاعات

متوسطة. في النوع نصف المحجوب فخواصه واقعة بين النوعين السابقين ويستخدم في إنارة الشوارع عندما توضع الأعمدة على جانب الشارع أو في الجزيرة الوسطى. الشكل (4-6) يبين توزيع البقع الضوئية على سطح الشارع. للحصول على وضوح منتظم حيث تمت إنارة هذا الشارع باستخدام أجهزة إنارة غير محجوبة وموزعة توزيعاً" متناوباً" ولها الخواص المبينة على الشكل وواضح أن البقع الضوئية الطولانية ظهرت متصلة حيث تؤلف نموذجاً معيناً عالي الوضوح.



الشكل (4-6) شارع بوضوح منتظم باستخدام أجهزة غير محجوبة.

4-2-5 تصنيف الشوارع والطرق:Roads Classifications

تصنف الطرق إما حسب الوظيفة التي يؤديها الطريق، أو حسب كثافة السير الأعظمية خلال الساعة الواحدة. من أهم تصنيفات الطرق حسب النظم الدولية ما يلي:

آ-تصنيف الشوارع والطرق حسب توصيات الهيئة الدولية للإنارة CIE:

لقد قامت الهيئة الدولية للإنارة بتصنيف الطرق إلى خمس فئات A, B, C, D, E وحددت معالم ومواصفات كل فئة في الجدول (4-1).

جدول (4-1) تصنيف الطرق حسب CIE

أمثلة	نموذج الطريق	نوع السير وكثافته	صنف
- أوتوستراد - الطرق السريعة	طرق باتجاهين منفصلين بدن تقاطعات	سريع وكثيف	A
- الطرق المحلقة - الطرق الرئيسة	طريق مهم السير سريع وبطيء	سريع وكثيف	B
- الطرق القطرية	طرق في المدينة والأرياف	كثافة سرعة متوسطة	C
- طرق الوصل والشوارع المحلية	طرق الوصل بين المناطق السكنية والطرق الرئيسة	كثافة متوسطة سرعة محددة	E

كما حددت هذه النظم الوضوح الوسطي وعوامل الانتظام الطولي والإجمالي والانبهار.

$$\text{عامل الانتظام الطولي} = \frac{\text{الوضوح الأصغري}}{\text{الوضوح الأعظمي}}$$

$$\text{عامل الانتظام الإجمالي} = \frac{\text{الوضوح الأصغري}}{\text{الوضوح المتوسط}}$$

الجدول (4-2) يبين قيم هذه العوامل ذلك.

جدول (4-2) عوامل الانتظام والوضوح حسب التوصيات الدولية

نوع الطريق	المعالم المحيطة	الوضوح الوسطي	عوامل الانتظام		الانبهار	
			الإجمالي	الطولي	شديد	ضعيف
		Cd/m^2 (L_r)	L_{min}/L_r	L_{min}/L_{max}		
A	أية معالم	2	0.4	0.7	6	5
B	مضيئة	2	0.4	0.7	5	5
	مظلمة	1			6	-

C	مضيئة	2	0.4	0.7	5	20
	مظلمة	1			6	5
D	مضيئة	2	0.4	0.7	4	20
	مظلمة	1			4	-
E	مضيئة	1	0.4	0.7	4	20
	مظلمة	0.5			5	10

ويمكن تحقيق مستويات الوضوح المذكورة باعتماد سويات الإنارة في الجدول (4-3).

جدول (4-3) سوية الإنارة والوضوح للطرق العامة

فئة الطريق	الوضوح الوسطي	كثافة الفيض الضوئي		سوية الإنارة المطلوبة	
	Cd/m^2	سطح فاتح	سطح معتم	سطح فاتح	سطح
طريق كثيف السير	2	80	150	25	50
طريق تجاري	2	70	140	21	42
طريق سير متوسط	1	35	70	10	21
طريق سير قليل	0.5	15	30	4.5	9

ب-تصنيف الشوارع والطرق حسب النظم والتوصيات الأمريكية IEPS:

صنفت الشوارع حسب كثافة السير فيها (عدد السيارات العابرة في الساعة)، الجدولان يبينان(4-4) و (4-5) الجدول الأول للشوارع ضمن المدن بينما الثاني للطرق الرئيسة.

جدول (4-4) تصنيف الشوارع في المدن بموجب كثافة السير عليها حسب النظم الأمريكية

فئة حركة السير	عدد السيارات الأقصى في الساعة وفي الاتجاهين
سير خفيف جداً	تحت 150
سير خفيف	150 – 500
سير متوسط	500 – 1200
سير كثيف	1200 – 2400
سير كثيف جداً	2400 – 4000
سير كثيف جداً جداً	فوق 4000

جدول (4-5) تصنيف الطرق الرئيسة بموجب كثافة السير عليها حسب النظم الأمريكية

عدد الحارات	طريق غير مجزأ		طريق مجزأ (جزيرة)	
	معقول	مسموح	معقول	مسموح
2	500	1000		
3	1350	1500		
4	1350	2000	1350	2600
5	1600	2750		
6	1600	2900	1600	3200

جـ- تصنيف الشوارع والطرق حسب النظم الألمانية (DIN):

يبين الجدول (4-6) تصنيف الطرقات حسب النظم الألمانية (DIN5044) ، كما يوضح أيضاً عوامل الانتظام وسويات الإنارة الدنيا المطلوب تأمينها ، إذ يمثل عامل الانتظام g_1 النسبة بين سوية الإنارة الدنيا والمتوسطة وعامل الانتظام g_2 النسبة بين سوية الإنارة الدنيا والعظمى. وقد صنفت الشوارع إلى شوارع عاتمة السطح إذ إن عامل انعكاسها يتراوح بين 15%- 5% وشوارع فاتحة السطح وعامل انعكاسها 30%- 20%. إن سويات الوضوح المعتمدة هي نفسها المعتمدة في نظام CIE ولكن انتظام الوضوح الطولي والعرضاني يعرف بالنسبة Lmin/Lmax.

جدول (4-6) تصنيف الطرق حسب المواصفات الألمانية DIN 50400

فئة الشارع	الإنارة الوسطية الأفقية		عوامل الانتظام	
شارع رئيس يمر فيه 1000 سيارة	8	16	1 : 3	1 : 6
شارع يمر فيه 500 سيارة في	6	12	1 : 3	1 : 6
طرق الاتصال بين المدن	4	8	1 : 4	1 : 8
شوارع الأسواق التجارية (ضغط	3	6	1 : 4	1 : 8
شوارع بحركة سير متوسطة	2	4	1 : 4	1 : 8
الشوارع الفرعية بين الأبنية السكنية بحركة سير ضعيفة	0.5	1	-	-

د- تصنيف الشوارع والطرق حسب النظم البريطانية:

في النظم البريطانية تم تقسيم الطرق إلى ثلاث فئات هي طرق رئيسة من فئة A وطرق فرعية من فئة B، والأتوسترادات (Motor ways). في الطرق من فئة (A) تركب الأجهزة على ارتفاع 8m ويكون التباعد بين الأعمدة من 40–50m . طول امتداد ذراع جهاز الإنارة للطرقات التي عرضها أكثر 13mهو 2m وبخصوص الطرقات التي عرضها يقع بين 10-15m هو 1.2m. إن امتداد الذراع يساوي منتصف الفرق بين عرض الطريق والرقم 10 أما الطرقات التي عرضها لا يزيد على 10m فلا يكون لجهاز الإنارة ذراع. أما توزيع الأعمدة فيتم كالتالي:

- في الطرقات التي عرضها أقل من 13m يكون التوزيع متناوبا" من جهتين.
- في الطرقات التي عرضها أكثر من 13m يكون التوزيع متناوبا" من جهتين أو متقابل من جهتين مع إضافة عمود في وسط كل فتحة ثالثة.

الفيض الضوئي المطلوب يقدر بـ 3000-8000Lm لكل 30m طولي. أما بالنسبة للانبهار فيجب أن تكون نسبة الشدة الضوئية العظمى إلى الشدة الضوئية الوسطية لجميع الشدات الضوئية الواقعة بين الزاوية 30° و 40° بدءا من الخط الشاقولي لا تزيد على 6 (ويفضل 5).في الطرق فئة B يؤخذ ارتفاع جهاز الإنارة الشارع 4-5m والتباعد بين الأعمدة بحدود 30m. تركب الأعمدة تركيبا" متناوبا" على الجهتين وبدون ذراع .الفيض الضوئي للمصابيح تقدر بـ 600–2500Lm لكل 30mطولي .أما بخصوص الانبهار فيجب أن تكون الشدة الضوئية العظمى إلى الشدة الضوئية الوسطية للشدات الضوئية كافة الواقعة بين الزاوية 30 و 40° من الشاقول لا تزيد على 3.

هـ- تصنيف الشوارع والطرق والمناطق حسب الوظيفة:

-الطريق الحر **Free way**: وهو طريق رئيس يتم التحكم التام بجميع مداخله ويخلو تماما من التقاطعات مثال على ذلك الأتوسترادات الدولية.

-**الطريق السريع Express way**: وهو طريق رئيس من أجل السير العابر مع تحكم جزئي بمداخله ووجود عقد تحويل عليه مثال على ذلك الطرق المحلقة.

-**الطريق الرئيس (Major)**: وهو طريق رئيس يصل عادة بين الأتوسترادات خارج المدن مع المناطق التي يوجد فيها سير كثيف.

-**الطريق الجامع Collector**: ويسمى الموزع أيضاً وهو طريق يصل بين الطريق الرئيس والطرق الثانوية المحلية.

-**الطريق المحلي Local**: وهو طريق محلي يؤمن الوصول المباشر إلى المناطق التجارية والصناعية والسكنية.

-**الجادات Alleys**: وهي طرق مفتوحة للجمهور بين الأبنية وتستخدم لوصول الآليات إلى الأبواب الخلفية للمحلات.

-**الأرصفة Side walks**: وهي الأرصفة المخصصة للمشاة على جانبي الشارع.

-**ممرات المشاة Pedestrian way**: وهي طرق مخصصة لمرور المشاة فقط وتشمل أنفاق مرور المشاة.

-**طرق الدراجات العادية**: وهناك نوعان:

أ- (A) وهو طريق مخصص للدراجات جانب طريق سيارات.

ب- (B) وهو طريق مخصص للدراجات وبعيد عن طريق السيارات.

كما جرى تصنيف المناطق إلى:

- **مناطق تجارية Commercial**: وهي المناطق المكتظة ضمن المدينة بالمحلات التجارية والمخازن وعدد كبير من الناس خلال ساعات الليل والنهار.

- **المناطق المتوسطة Intermediate**: وهي مناطق من المدينة تتصف بكثافة متوسطة في حركة المشاة ليلاً (مناطق التسلية، مناطق سكنية بعمارات عالية).

- **المناطق السكنية Residential**: هي مناطق تحتوي أبنية سكنية أو مزيجاً من الأبنية السكنية والمؤسسات التجارية وتتميز بعدد محدود من المشاة أثناء الليل.
- **المناطق الريفية Rural**: هي مناطق ذات كثافة سكانية أو تجارية قليلة .

4-2-6 سويات الإنارة المعتمدة في إنارة الشوارع: Iluminance On Roads

إن سويات الإنارة الوسطية الدنيا الواجب تأمينها بموجب النظم الأمريكية للشوارع ضمن المدينة والأتوسترادات ضمن شروط نظامية جيدة للإنارة من حيث استخدام الأنواع المناسبة من أجهزة الإنارة واستطاعة المصابيح مبينة في الجدولين (4-7) و (4-8).

جدول (4-7) سوية الإنارة الوسطية باللوكس في شوارع المدينة بموجب النظم الأمريكية

حركة المشاة	كثافة الآليات			
	خفيف جداً	خفيفة	وسط	ثقيلة وثقيلة
	تحت (150)	150 - 500	600 - 1200	فوق 1200
كثيف	.	8	10	12
وسط	.	6	8	10
خفيفة	.	4	6	8

جدول (4-8) سوية الإنارة الأفقية الوسطية للاتوسترادات بموجب النظم الأمريكية حسب عامل الإنعكاس

المكان	عامل انعكاس للسطح		
	20%	10%	6%
التقاطعات والجزر	4	6	8
الطريق	3	4.5	6

وحددت هيئة الإنارة الأمريكية IES سوية الإنارة للطرق حسب وظيفتها بالجدول (4-9).

جدول (4-9) سوية الإنارة الوسطية الدنيا باللوكس حسب توصيات IES

صنف الطريق	نوع المنطقة		
	تجارية	متوسطة	سكنية
طريق حر	6	6	6
طريق سريع	15	13	11
طريق رئيس	22	15	11

طريق مجمع	13	10	6
طريق محلي	10	6	4
جادة	6	4	4

الجدول (4-10) يبين توصيات IES للحد الأدنى لسويات الإنارة في مناطق المشاة.

جدول (4-10)سويات الإنارة الوسطية الدنيا لممرات المشاة والدراجات حسب توصيات IES

صنف الطريق	سوية الإنارة الوسطية Lux
أرصفة الشوارع وطريق دراجات صنف A	5
- منطقة تجارية	10
- منطقة متوسطة	6
- منطقة سكنية	2
ممرات مشاة وطرق دراجات صنف B	5
- طريق دراجات	5
- ممر إلى موقف سيارة	5
- نفق مرور سيارة	4.3
- جسر مرور مشاة	3
- أدراج مشاة	6

4-2-7 أساليب معتمدة لتوزيع أعمدة الإنارة في الشوارع:Pols distribution

آ-أساليب توزيع أعمدة الإنارة في الشوارع المستقيمة:

هناك عدة طرق لتوزيع أعمدة الإنارة تختلف حسب عرض الشارع والتنظيم المعماري من حيث وجود جزيرة وسطى أو عدمه. الشكل (4-7) يبين نماذج من هذا التوزيع.



الشكل (4-7) الأساليب المعتمدة لتوزيع أعمدة الإنارة في الشوارع المستقيمة

على الشكل نميز :

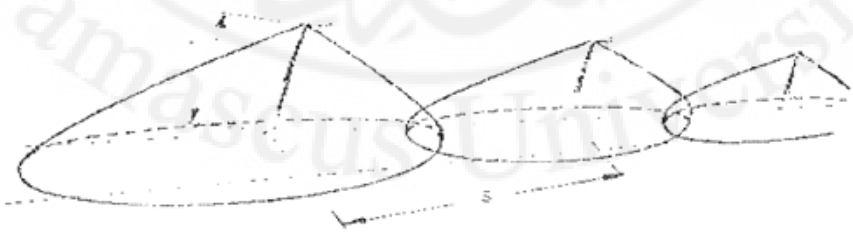
- التوزيع على جانب واحد من جانبي الطريق.
- التوزيع المتقابل على جانبي الطريق.
- التوزيع المتناوب على الجانبين.
- التوزيع المحوري.
- التوزيع المتقابل من طرفي الشارع والمتناوب محورياً ويستخدم في الأتوسترادات التي لها جزيرة في المنتصف والتي يكون فيها اتجاها سير .
- التوزيع المتقابل من الطرفين والمقابل محورياً.

الجدول (4-11) يبين الأنواع الأربعة لأساليب توزيع أعمدة الإنارة وعلاقة الارتفاع بعرض الشارع لأجل كل نوع ومجال استخدام كل نوع من الأنواع.

جدول (4-11)أساليب توزيع أعمدة الإنارة وعلاقة الارتفاع بعرض الشارع

مجال الاستخدام	علاقة (h) مع (s)	أسلوب التوزيع
شارع وحيد الحارة مع اتجاه سير واحد	$s\langle h$	من طرف واحد
شارع باتجاهي سير وذو حارتين	$s\rangle h$	متقابل من طرفين
شارع باتجاهي سير وذو حارتين وحيث لا يكون من المهم انتظام الإنارة	$s\rangle h$	متناوب من طرفين
الشوارع ذات جزيرة في الوسط	$s\langle h$	محوري

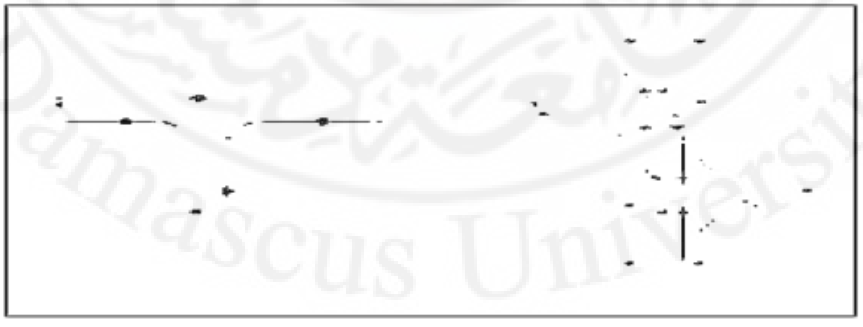
الشكل (4-8) يبين الأبعاد h,s. على الشكل يجب أن يكون $S \leq 4h$



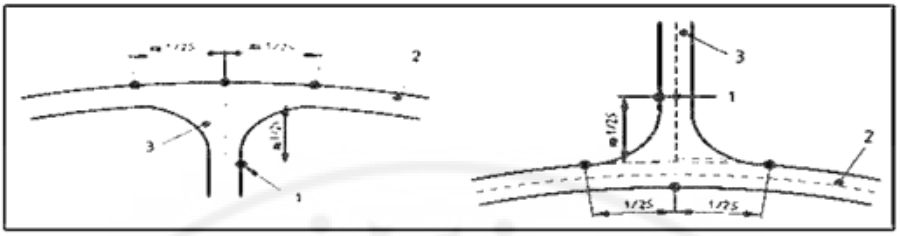
الشكل (4-8) العلاقة بين h,s.

ب-أساليب توزيع أعمدة الإنارة عند التقاطعات وعقد السير وعلى الطرق الضبابية:

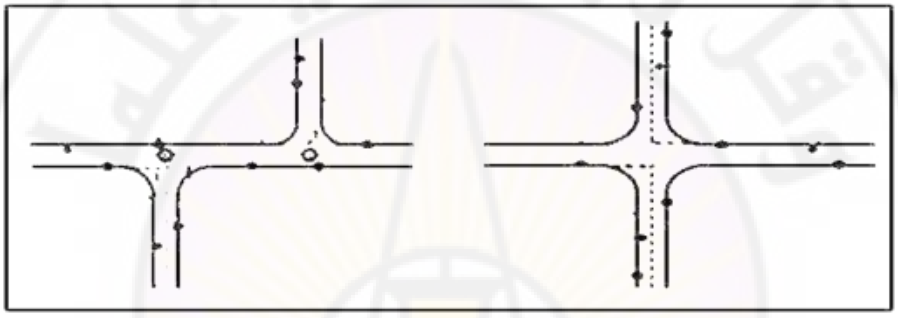
إن سوية الإنارة المطلوبة عند التقاطع يجب أن تكون مساوية إلى مجموع سويات الإنارة للطرق المتقاطعة. لتحقيق ذلك يجب أن تركب أجهزة الإنارة في التقاطعات حيث توجه الأشعة الضوئية على كل من مركبات السير، ممرات المشاة والمناطق المجاورة لها. الشكل (4-9-أ) يبين تقاطعاً للطرقات في المستوى نفسه ولأجل هذا النوع من التقاطعات تتبع تقنيات مشابهة لتلك التي تتبع لأجل التقاطعات الصغيرة، وإن زيادة حجم التقاطع يضطرنا إلى استخدام عدد أكبر من أجهزة الإنارة لتحقيق سوية الإنارة المطلوبة. الشكل (4-9-ب) يبين عقدة تقاطع على شكل حرف (T) وكيفية تركيب أعمدة الإنارة في هذا النوع. الشكل (4-9-جـ) كيفية توزيع أجهزة الإنارة في حالة الخروج من الشارع الرئيس ويلاحظ في هذه الحالة أنه يتم توسيع مسافة معينة من الشارع الرئيس قبل نقطة التقاء الشارع الرئيس بالجانبي كما يتم تركيب أجهزة الإنارة في الشارع الجانبي على يسار السائق حيث تتوضح معالم هذا الطريق الجانبي بالنسبة للسائق. بينما الشكل (4-9-د) يبين حالة الدخول إلى شارع رئيس حيث يلاحظ أن أجهزة الإنارة تم تركيبها على يمين السائق تركيباً يتيح للمركبات التي تسير في الشارع الرئيس أن ترى المركبة القادمة من الطريق الجانبية ويتيح من جهة ثانية للمركبة الداخلة إلى الشارع الرئيس أن تدخل إليه بسهولة.



(أ)



(ب)



(ج)



(ج)

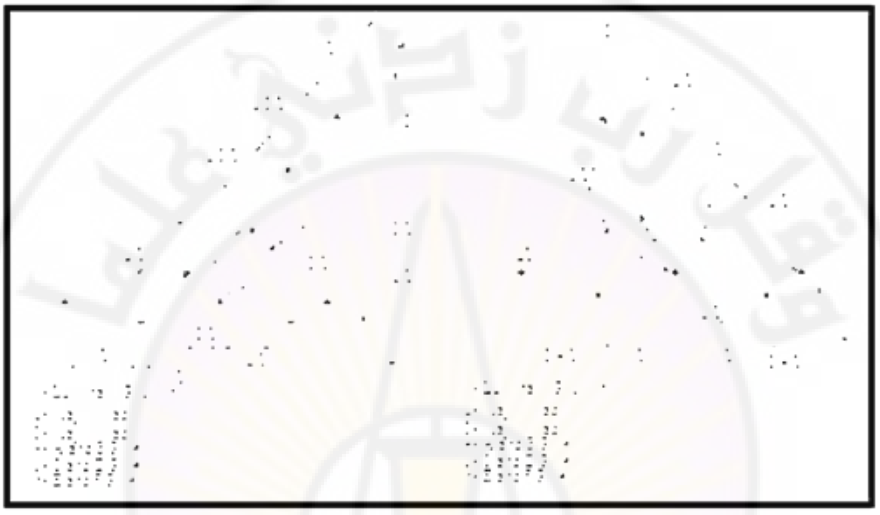


(د)

الشكل (4-9) توزيع أجهزة الإنارة عند التقاطعات

الشكل (4-10) يبين أسلوب توزيع أعمدة الإنارة في عقد السير المعقدة حيث يتم اعتماد أساليب التوزيع المبينة في الشكل (4-9) وذلك حسب الحالة الموافقة لكل منطقة من مناطق هذه العقدة. إن مشكلات الرؤية بالنسبة لسائقي مركبات السير تزداد عند المنعطفات واليهضاب، وفي الحالة العامة تتم إنارة المنعطفات ذات النصف القطر الكبير والطرقات خفيفة الحركة على أنها طرق مستقيمة ومستوية، بينما في المنعطفات الحادة والطرقات اليضابية وخاصة التي يكون لها قمة في ذروة اليضبة نضطر إلى استعمال تباعد أقل بين الأعمدة وذلك لإعطاء انتظام أكبر للوضوح ورفع سوية الإنارة من جانب الرصيف، الشكل (4-11-أ) يبين كيفية توزيع أعمدة الإنارة على المنعطفات في حالتين إحداهما المنعطف نحو اليمين والأخرى المنعطف نحو اليسار. من الشكل يلاحظ أن التباعد بين الأعمدة يصبح أقل عند المنعطف، كذلك يوضح الشكل (4-11-جـ) توزيع أعمدة الإنارة على المنعطفات الطويلة. إن موضوع هندسة المنعطفات الخطرة كتلك التي نجدها عند نقاط تبديل خط السير وفي العديد من الطرقات يحتاج إلى تحليل دقيق، إذ

أن المصباح الأمامي لمركبة السير لا يكون فعالاً في مثل هذه الحالات، في هذه الحالة يجب تركيب أجهزة الإنارة لتعطي شدة إضاءة عالية على مركبات السير والمجازات الضيقة ومحيطات عقدة التقاطع.



الشكل (4-10) توزيع أعمدة الإنارة في عقد السير



الشكل (4-11-آ) توزيع أعمدة الإنارة عند التقاطعات وفي الطرقات الهضابية



الشكل (4-11-ب) توزيع أعمدة الإنارة عند التقاطعات وفي الطرقات الهضابية



الشكل (4-11-ج) توزيع أعمدة الإنارة عند التقاطعات وفي الطرقات الهضابية

4-2-8 الحسابات العملية لإنارة الشوارع: Iluminance Calculations of roads

4-2-8-1 مفاهيم وتعاريف عامة: Definitions and general Concepts

قبل البدء في بحث طرق إنجاز الحسابات العملية لإنارة الشوارع لابد من استعراض عدد من المفاهيم الأساسية في هذا المجال:

- سويات الإنارة الوسطية والعظمى والدنيا:

عمليا تتم دراسة الإنارة في شريحة محددة من شارع ما ، حيث يؤخذ عدد من النقاط من سطح الشارع والواقعة ضمن تلك الشريحة وتحسب في كل نقطة من هذه النقاط سوية الإنارة باستخدام إحدى الطرائق المعروفة في حسابات الإنارة النقطية، وبعد إنجاز الحسابات، نطلق مصطلح سوية الإنارة العظمى على أعلى قيمة لسوية الإنارة ويرمز لها بـ (E_{max})، بينما نطلق مصطلح سوية الإنارة الدنيا على أدنى قيمة ويرمز لها (E_{min})، أما سوية الإنارة الوسطية فتعطى بالعلاقة:

$$E_{av} = \frac{\sum E_P}{n_P} \qquad (4-1)$$

E_P : هي سوية الإنارة في إحدى النقاط المدروسة.

n_P : عدد النقاط المدروسة.

4-2-8-2 طرق حساب سوية الإنارة : Iluminance calculation methods

أ- طريقة /21/ نقطة: 21 points method

تستخدم هذه الطريقة بشكل خاص في فرنسا خاصة وهي مبنية على توصيات هيئة الإنارة الفرنسية. الشكل (4-12) يبين أنه في هذه الطريقة تؤخذ شريحة من الشارع محصورة بين ثلاثة أعمدة إنارة ويتم تقسيم هذه الشريحة حيث نحصل على (21) نقطة.



الشكل (4-12) طريقة الإحدى والعشرين نقطة

يتم حساب سوية الإنارة في كل نقطة من النقاط باستخدام إحدى الطرائق النقطية ، حيث تعرف كل من $E_{\min}$ ، $E_{\max}$. أما سوية الإنارة الوسطية فتحسب باستخدام العلاقة:

$$E_{av} = \frac{p + a + b + c + d + ... + u}{21} \qquad (4-2)$$

عامل الانتظام العام:

$$(U_F)_G = \frac{E_{\min}}{E_{av}} \qquad (4-3)$$

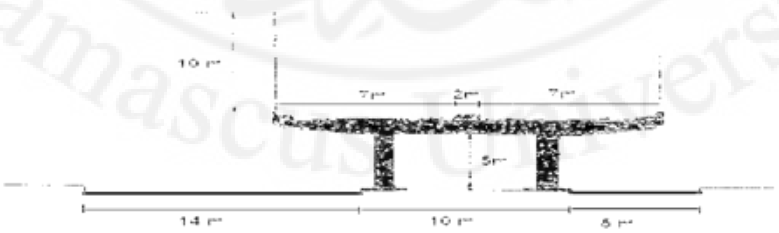
عامل الانتظام الطولي:

$$(U_F)_L = \frac{E_{\min}}{E_{\max}} \qquad (4-4)$$

كما يمكن حاب سوية الإنارة الوسطية E_{av} بطريقة ثانية حسب العلاقة:

$$E_{av} = \frac{p + a + b + c + d + ... + 0 + 0.5(p + qs + t + u)}{18} \qquad (4-5)$$

ثم يتم حساب عوامل الانتظام من العلاقتين (4-3) و(4-4). الشكلان (4-13-أ) و(4-13-ب) يبينان مثالاً علمياً على استخدام طريقة الـ (21) نقطة في حساب توزيع الإنارة على جسر ، ثم حساب سوية الإنارة الوسطية حسب العلاقة (4-5) وأيضاً حساب عامل الانتظام الإجمالي $(U_F)_G$.



(أ)



(ب)

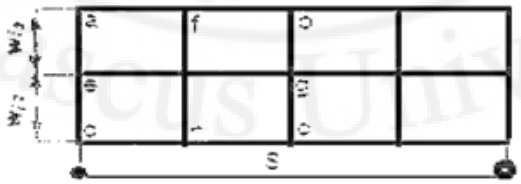
الشكل (4-13) تطبيق طريقة (21) نقطة في حساب إنارة جسر

ب- طريقة التسع نقاط: 9 points method

في هذه الطريقة تؤخذ شريحة من سطح الشارع مساوية إلى نصف الشريحة الواقعة بين عمودي إنارة متتاليين، حيث يتم تقسيم الشريحة المدروسة كما في الشكل (4-14). بعد تحديد النقاط التسعة تحسب سوية الإنارة في كل نقطة باستخدام إحدى الطرائق النقطية ثم يتم تحديد سوية الإنارة العظمى والدنيا، أما سوية الإنارة الوسطية تعطى بالعلاقة:

$$E_{av} = \frac{a+b+c+d+2+(e+f+g+h)+4i}{16} \qquad (4-6)$$

بعد ذلك تحسب عوامل انتظام الإنارة باستخدام العلاقتين (4-3) و(4-4).



الشكل (4-14) طريقة التسع نقاط

ج استخدام قانون التجيب والتربيع العكسي في حساب سوية الإنارة:

بعد تحديد الشدة الضوئية باتجاه النقطة المدروسة شكل (4-15) يمكن حساب سوية الإنارة في تلك النقطة من العلاقة العامة:

$$E = \frac{I(M).\cos^3\gamma}{h^2} \qquad (4-7)$$

ومن الشكل (4-15) نلاحظ أن:

β : الزاوية بين SM, SN

γ : الزاوية بين SM, SO

B: الزاوية بين SN, SO

$$\cos B = \frac{SO}{SN}, \cos\beta = \frac{SN}{SM}, \cos\gamma = \frac{SO}{SM} \qquad (4-8)$$



الشكل (4-15) حساب سوية الإنارة في النقطة (M)

$$\cos\gamma = \frac{SO}{SM} - \frac{SN.\cos B}{SN} = \cos\beta.\cos B \qquad (4-9)$$

$\cos\beta$

وبالتعويض في العلاقة (4-7) نجد أن سوية الإنارة الأفقية في النقطة M هي:

$$E_h = \frac{I(M).\cos^3 B.\cos\beta}{h^2} \qquad (4-10)$$

أما سوية الإنارة العمودية في النقطة (M) هي:

$$E_v = \frac{I(M).\cos^2 B.\cos\beta}{h^2} \times \sin\gamma \qquad (4-11)$$

$$\sin\gamma = \sin\left[\cos^{-1}(\cos\gamma)\right] \qquad (4-12)$$

$$\sin\gamma = \sin\left[\cos^{-1}(\cos B.\cos\beta)\right] \qquad (4-13)$$

الشكل (4-16) يبين كيفية استخدام طريقة قانون التربيع العكسي في الحسابات النقطية للإنارة. فلحساب سوية الإنارة في النقاط المطلوب حساب سوية الإنارة فيها يجري تحديد الأبعاد اللازمة لمعرفة الزوايا β, B لكي نتمكن من الحصول على $\cos^3 B.\cos^3\beta$ وبمعرفة الشدة الضوئية باتجاه النقطة المدروسة يطبق قانون التربيع العكسي لحساب سوية الإنارة في النقاط المطلوبة. ترتب النتائج كما في الجدول في الشكل (4-16).

الشكل(4-16) حساب سوية الإنارة باستخدام قانون التربيع العكسي

د- حساب سوية الإنارة باستخدام منحنيات سوية الإنارة الثابتة(ايزولوكس):

من مخطط الإنارة الثابتة تحسب سوية الإنارة النسبية E_r في النقطة المعنية (P) والتي تعطي كنسبة مئوية من الإنارة العظمى E_{max} حيث:

$$E_{max} = \frac{a.\Phi_L.n}{h^2} \qquad (4-14)$$

n: عدد المصابيح في جهاز الإنارة.

Φ_L: الفيض الضوئي للمصباح الواحد المستخدم في الجهاز.

h: ارتفاع جهاز الإنارة عن الأرض.

a: الثابت الموجود على المخطط نفسه.

ومنه فإن سوية الإنارة في النقطة (P) تحسب من العلاقة:

$$E_P = E_r.E_{max} \qquad (4-15)$$

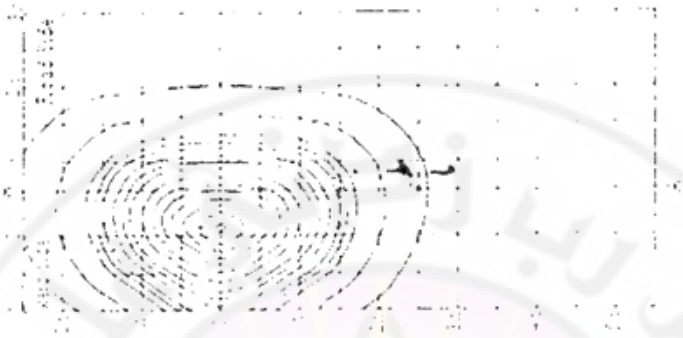
تطبيق:

لدينا كما في الشكل (4-17) شارع عرضه (10m) تمت إنارته باستخدام أجهزة إنارة موزعة على طرف واحد من أطراف الشارع وبتباعد متساو قدره (20m)، ولنفترض أن ارتفاع جهاز الإنارة عن سطح الشارع هو (10m) والفيض الضوئي (40000) لومن، المطلوب حساب سوية الإنارة في النقطة (P) المبينة على الشكل مع الأخذ بالحسبان تأثير الأجهزة L_3, L_2, L_1 فقط.



الشكل (4-17) مخطط الشارع

الشكل (4-18) يبين منحنيات سوية الإنارة الثابتة لجهاز الإنارة المستخدم.



الشكل(4-18)منحنيات الأيزولوكس

الحل:

يتم حساب سوية الإنارة وفق الخطوات التالية:

1- يتم إيجاد بعد النقطة P عن صف الأعمدة كنسبة من الارتفاع (h) ثم يرسم خط (A-A) على منحنيات الأيزولوكس موازٍ للمحور الطولي للأجهزة الشكل (4-18).

2- تعين المسافة الواقعة بين المحور العرضي لكل جهاز إنارة وبين النقطة (P) بدلالة البعد (h) وذلك من الشكل (4-17) حيث نجد:

$L_1top = 25\,m = 2.5\,h$, $L_2top = 5\,m = 0.5\,h$, $L_3top = 15\,m = 1.5\,h$

ويتم تحديد هذه النقاط على الخط (A-A) بفرض محور الصفر هو المحور العرضاني لأجهزة الإنارة أي بدءاً من المحور (O) الأفقي الموجود على منحنيات الأيزولوكس. فتحدد لدينا بذلك النقاط L_3, L_2, L_1 كما في الشكل (4-17).

3- تقرأ سوية الإنارة النسبية لكل نقطة من النقاط L_3, L_2, L_1 وتحسب سوية الإنارة الكلية في النقطة P كالتالي:

$$E_{L1} = 0.03\,E_{max}\ , E_{L2} = 0.53\,E_{max}\ , E_{L3} = 0.13\,E_{max}$$

$$\Rightarrow E_P = (0.03 + 0.53 + 0.13)E_{\max} \quad \Rightarrow E_P = 0.69\,E_{\max}$$

$$\Rightarrow \quad E_{\max} = 0.187 \times \frac{4000}{10^2} = 7.481(Lux)$$

$$E_P = 0.69 \times 74.81 = 5.16(Lux)$$

هـ- حساب سوية الإنارة باستخدام منحنيات الشدة الضوئية الثابتة (ايزوكانديلا):

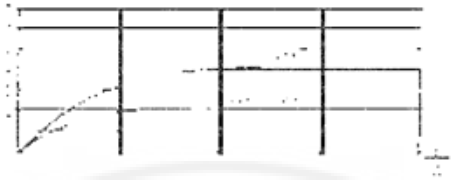
تستعمل هذه الطريقة عند توفر منحنيات الأيزوكانديلا لجهاز الإنارة وتعتمد على العلاقة:

$$E_P = \frac{I_{\max} .N.g(C,\gamma).\lambda}{h^2}.\cos^3\lambda \qquad (4-16)$$

$I_{\max}$:هي الشدة الضوئية العظمى لفيض 1000Lm ،N عدد آلاف اللومن للجهاز/ $g(C,\gamma)$ الشدة الضوئية النسبية في النقطة المعنية p وتقرأ من المخطط (γ, C) الإحداثيات الفراغية الزاوية للنقطة المعنية، h ارتفاع الجهاز، λ عامل التدني.

و- حساب سوية الإنارة الوسطية بطريقة عوامل الاستخدام:

تعتمد هذه الطريقة في حساب سوية الإنارة الوسطية على منحنيات خاصة بجهاز الإنارة تسمى منحنيات عوامل الاستخدام، وتعطى هذه المنحنيات مع كل جهاز من قبل الشركة الصانعة، وهذه المنحنيات تمثل علاقة الاستخدام (η) مع النسبة $\left(\frac{b}{h}\right)$ حيث (b) عرض الشارع و (h) ارتفاع جهاز الإنارة عن الحيز المضاء . على المنحنيات نميز منحنيين مرسومين على الشكل نفسه أحدهما يعطي عامل الاستخدام لجانب الشارع (road side) والآخر يعطي عامل الاستخدام على جانب الرصيف (kerb side) . الشكل (4-19) يبين منحنيات عوامل الاستخدام لأجل مصباح بخار زئبق استطاعته (125w). إن منحنيات عوامل الاستخدام تختلف باختلاف استطاعة المصباح ونوع المصباح المستعمل في جهاز الإنارة فلكل مصباح من نوع معين واستطاعة معينة منحني استخدام خاص به. الشكل (4-20) يوضح جانب الرصيف وجانب الشارع بالنسبة لجهاز الإنارة.



الشكل (4-19) منحني عوامل الاستخدام لمصباح بخار الزئبق (125 w)



الشكل (4-20) جانب الرصيف- جانب الشارع(kerb side) -(road side)

تحسب سوية الإنارة من العلاقة :

$$E_{av} = \frac{v.\Phi_L.\eta.n}{b.a} \qquad (4-17)$$

b: عرض الشارع.

a: التباعد بين أجهزة الإنارة (المسافة بين عمودي إنارة).

η : عامل الاستخدام وهو النسبة بين الفيض الضوئي الصادر عن الجهاز وبين مقدار الفيض الضوئي الواصل فعلاً إلى الشارع ويتم الحصول عليه بجمع أو طرح عامل الاستخدام من جهة الشارع مع عامل الاستخدام من جهة الرصيف أي:

$$\eta = \eta_1 \pm \eta_2 \qquad (4-18)$$

n: عدد المصابيح في كل جهاز إنارة.

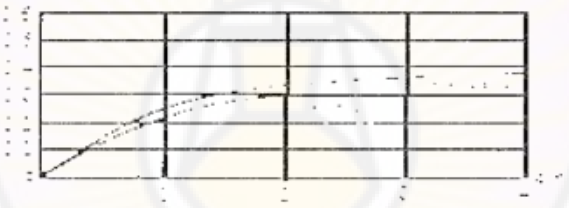
Φ_L : الفيض الضوئي الذي يعطيه مصباح واحد من مصابيح الجهاز.

v: عامل الصيانة وعادة يؤخذ بقيمة تقريبية نحو (0.7).

4-2-8-3:تطبيقات:

تطبيق 1:

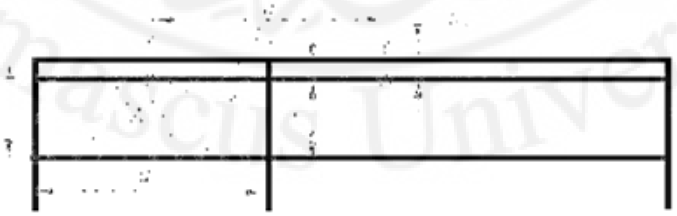
لدينا شارع عرضه 6m ، سوية الإنارة الوسطية المطلوبة 6Lux، أجهزة الإنارة المستخدمة هي من نوع بخار الزئبق ذي ضغط عالٍ $2\times80 watt$ ، تم تركيب هذه الأجهزة على أعمدة بارتفاع 7m. المطلوب حساب المسافة الفاصلة بين عمودين متتاليين، وذلك من أجل تحقيق سوية الإنارة المذكورة علماً أن الأعمدة مركبة من جانب واحد من جوانب الشارع، كما أن بعد العمود عن طرف الشارع هو 0.65 m، وبعد مسقط جهاز الإنارة عن قاعدة الجهاز هو 1.5m وقطر العمود هو 200mm .تعطي منحنيات عوامل الاستخدام للمصابيح بالشكل (4-21).



الشكل (4-21) منحنيات عوامل الاستخدام لمصباح 80 وات بخار زئبق

الحل:

إن الشكل (4-22) يبين رسماً توضيحياً للأبعاد على الشارع.



الشكل (4-22)

من الشكل نجد أن:

$$b_2 = b_3 - \left[\frac{d}{2} + 0.65m\right] \qquad b_3 = 1.5m$$

$$b_2 = 1.5m - \left(\frac{0.2m}{2} + 0.65m\right) = 0.75m$$

$$b_1 = b - b_2 = 6m - 0.75 = 5.25m$$

$$\frac{b_1}{h} = \frac{5.25m}{7.00m} = 0.75 \qquad \frac{b_2}{h} = \frac{5.75m}{7.00m} = 0.11$$

ومن منحنيات عوامل الاستخدام الشكل (4-21) نجد أن:

$$\eta_{B1} = 0.22 \quad \eta_{B2} = 0.03$$

$$\Rightarrow \eta_B = \eta_{B1} + \eta_{B2} \quad \Rightarrow \quad \eta_B = 0.22 + 0.03 = 0.25$$

ومن العلاقة (4-17) نستنتج أن:

$$a = \frac{\Phi_{Lu}\eta_B \upsilon}{E_m b}$$

$$a = \frac{2 \times 3000 \times 0.25 \times 0.7}{6 \times 6} = 29.2m$$

أي إنه يمكن القول بصورة تقريبية إن التباعد بين أجهزة الإنارة يجب أن يساوي أربعة أمثال ارتفاع العمود. هذا الحل حل أولي يعطي فكرة عن التوزيع المناسب، أما إذا كنا نرغب في حل دقيق فلابد من إجراء الحسابات النقطية لمعرفة سوية الإنارة الوسطية والعظمى والدنيا وعامل الانتظام والوضوح.

تطبيق 2:

لدينا شارع في ضاحية سكنية عرضه 6m ، سوية الإنارة المطلوب تحقيقها 4lux ، تمت إنارة هذا الشارع باستخدام أجهزة إنارة استطاعة $2\times125watt$ نوع بخار الزئبق بارتفاع 5.35m ، بعد عمود الإنارة عن طرف الشارع هو 0.65m ومسقطه واقع على أثر قاعدته (عمود بدون ذراع) .المطلوب حساب التباعد المسموح به بين أعمدة الإنارة وذلك لتحقيق الشروط المطلوبة. الشكل (4-23) يبين رسماً توضيحياً للمسألة.

الحل:



الشكل (4-23)

من الشكل:

$$b_2 = 0.65m + \frac{d}{2} = 0.65m + \frac{0.20m}{2} = 0.75m$$

$$b_1 = b + b_2$$
$$= 6m + 0.75m = 6.75m$$

$$\frac{b_1}{h} = \frac{6.75m}{5.35m} = 1.26$$

$$\frac{b_2}{h} = \frac{0.75m}{5.35m} = 0.14$$

ومن منحنيات عوامل الاستخدام الخاصة بالمصباح المستخدم نجد:

$$\eta_{B1} = 0.15 \qquad \eta_{B2} = 0.02 \quad \Rightarrow \eta_B = \eta_{B1} - \eta_{B2} = 0.15 - 0.02 = 0.13$$

$$a = \frac{2 \times 5250 \times 0.13 \times 0.7}{4 \times 6} = 39.8m$$

تطبيق 3 :

لدينا في الشكل (4-24-آ) شارع عرضه 12m ، تمت إنارته باستخدام مصابيح بخار زئبق استطاعة المصباح 250w ، الفيض الضوئي 13500Lux ، التباعد بين الأعمدة 30m ، ارتفاع جهاز الإنارة عن سطح الشارع 10m، بعد مسقط جهاز الإنارة عن طرف الرصيف 2m. تعطي منحنيات عوامل الاستخدام للمصباح في الشكل (4-24-ب) والمطلوب:

1- حساب سوية الإنارة في منطقة مرور مركبات السير في الشارع فقط.

2- حساب سوية الإنارة الوسطية في كامل الشارع بما في ذلك الأرصفة الجانبية.

مع افتراض أن قيمة عامل الصيانة هي (1).



الشكل (4-24-آ) **الشكل (4-24 -ب)**

حل الطلب الأول:

نبدأ بالحل أولاً بتحديد قيم النسب التالية:

$$R_1 = \frac{b_1}{h_1} = \frac{2}{10} = 0.2 \quad \text{(في جانب الرصيف)}$$

$$R_2 = \frac{b_2}{h_2} = \frac{10}{10} = 1 \quad \text{(في جانب الشارع)}$$

ومن منحنيات عوامل الاستخدام في الشكل (8-31-ب) نحدد قيم عوامل الاستخدام الموافقة لكل من R_2, R_1 .

$$\eta_1 = 0.06 \quad , \quad \eta_2 = 0.3 \qquad \Rightarrow \eta = 0.06 + 0.3 = 0.36$$

ومنه فإن سوية الإنارة الوسطية لأجل منطقة مرور مركبات السير في الشارع هي:

$$E_{av} = \frac{13500 \times 0.3 \times 1 \times 1}{12 \times 30} = 13.51 lux$$

الطلب الثاني:

لإجراء الحساب في هذه الحالة لدينا:

- من طرف الرصيف البعد:

$$b_3 = 2 + 3 = 5m$$

- ومن طرف الشارع:

$$b_4 = 10 + 3 = 13m$$

$$\Rightarrow R_3 = \frac{5}{10} = 0.5 \qquad R_4 = \frac{13}{10} = 1.3$$

ومن الشكل (4-24) نجد أن:

$$\eta_3 = 0.11 \quad \eta_4 = 0.33 \qquad \Rightarrow \eta = 0.11 + 0.33 = 0.44$$

$$\Rightarrow E_{av} = \frac{13500 \times 0.44 \times 1 \times 1}{30 \times 18} = 11 lux$$

إن سوية الإنارة (13.5lux) المحسوبة في الطلب الأول هي سوية ضعيفة حيث أن المواصفة تلزم بأن تكون سوية الإنارة بحدود (16lux). ولتحقيق سوية الإنارة 16Lux لابد من أن نعدل التباعد بين الأعمدة بحيث تصبح قيمة هذا التباعد:

$$a = \frac{(13500 \times 0.36)/16}{12} = 25.30\ m$$

تطبيق 4 :

لدينا شارع عرضه 9m، تمت إنارته بأجهزة بخار الزئبق ذي ضغط عالٍ استطاعة كل جهاز $2 \times 125w$. الشكل (4-25) يبين سطح الشارع. مع افتراض أنه تم تحقيق سوية إنارة وسطية 8lux باستخدام أعمدة إنارة بارتفاع 9m موزعة بالتناوب على جانبي الشارع وأن قطر العمود هو 25cm ، بعده عن طرف الشارع 0.65m وبعد مسقط الجهاز عن قاعدة العمود 2m . المطلوب حساب التباعد بين هذه الأعمدة.



الشكل (4-25) توزيع متناوب من الطرفين لأعمدة الإنارة

الحل:

$$b_2 = 2.0 - \left(\frac{0.25m}{2} + 0.65\,m \right) = 1.2\,m \qquad b_1 = 2.0\,m$$

$$b_1 = b - b_2 = 9m - 1.2m = 7.8m$$

ثم نحسب النسب وعوامل الاستخدام:

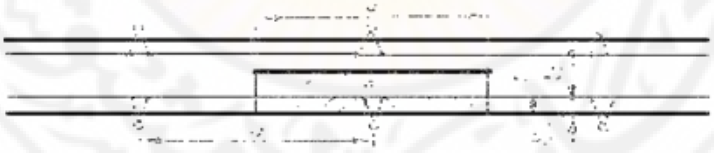
$$\frac{b_1}{h} = \frac{7.8m}{9.0m} = 0.87 \Rightarrow \eta_{B1} = 0.27; \qquad \frac{b_2}{h} = \frac{1.2m}{9.0m} \Rightarrow \eta_{B2} = 0.04$$

$$\eta_B = 0.27 + 0.04 = 0.31$$

$$\Rightarrow a = \frac{2 \times 5250 \times 0.31 \times 0.7}{8 \times 9} 31.6m$$

تطبيق 5:

لدينا شارع عرضه (22m) ويراد إنارته بوساطة أجهزة بخار الزئبق باستطاعة $(1 \times 400w)$ وذلك لتحقيق سوية إنارة وسطية مقدارها 24lux باستخدام أعمدة إنارة بارتفاع 14m موضوعة بالتقابل على جانبي الطريق كما في الشكل (4-26) . مع افتراض أن بعد مسقط الجهاز عن موقع العمود 2.3m، كما أن بعد العمود عن طرف الشارع 0.65m وقطر العمود هو 0.3m وكل عمود مركب عليه جهازان . المطلوب حساب المسافة الفاصلة بين هذه الأعمدة.



الشكل (4-26)

الحل:

من بالشكل (4-26) نحسب الأبعاد التالية:

$$b_2 = 2.3m - \left(\frac{0.3m}{2} + 0.65m \right) = 1.50m$$

$$b_1 = 20m - 1.50m = 18.50m$$

$$\frac{b_1}{h} = \frac{18.50\,m}{14.00\,m} = 1.32 \Rightarrow \eta_{B1} = 0.40 \quad , \quad \frac{b_2}{h} = \frac{1.50\,m}{14\,m} = 0.11 \Rightarrow \eta_{B2} = 0.03$$

$$\Rightarrow \eta B = 0.40 + 0.3 = 0.43$$

$$a = \frac{2\Phi_m \eta_B \vartheta}{E_m \vartheta}$$

$$\Rightarrow a = \frac{2 \times 2 \times 20500 \times 0.43 \times 0.7}{24 \times 22} = 46.8\,m$$

4-2-9 طرق وأساليب حسابات الوضوح:

Luminance calculation methods

قبل البدء بحسابات الوضوح لابد من إيراد التعاريف التالية:

- التجانس الكلي أو العام للوضوح :

هو نسبة قيمة الوضوح الأصغري في أي نقطة من نقاط الشارع إلى قيمة الوضوح الوسطية.

$$U_g = \frac{L_{min}}{L_{av}} \qquad (4-19)$$

- التجانس الطولي للوضوح:

هو نسبة قيمة الوضوح الأصغري في أي نقطة من النقاط إلى قيمة الوضوح العظمى .

$$U_L = \frac{L_{min}}{L_{max}} \qquad (4-20)$$

عند حساب الوضوح توصي الهيئة الدولية للإنارة بما يلي:

أ- يجب ألا تقل قيمة التجانس الكلي للوضوح (0.4) أي:

$$U_g = L_{\min} / L_{av} \geq 40\%$$

ب-يجب تأمين القيمة الموصى بها بالنسبة للتجانس الطولي للوضوح والمبينة في الجدول (4-12) .

جدول (4-12) تقييم قيم التجانس الطولي للوضوح

الرقم	التقييم	(U_L)
1	سيء	% 10
2	غير كاف	% 30
5	مقبول	% 45
7	جيد	%10 -%75
8	ممتاز	% 90

عند إجراء حسابات الوضوح لسطح طريق يجب معرفة الخواص الانعكاسية له ،إذ يعبر عن هذه الخواص باستخدام عامل الوضوح . يعرف عامل الوضوح بأنه النسبة بين الوضوح في نقطة ما وبين سوية الإنارة عند النقطة نفسها، أي:

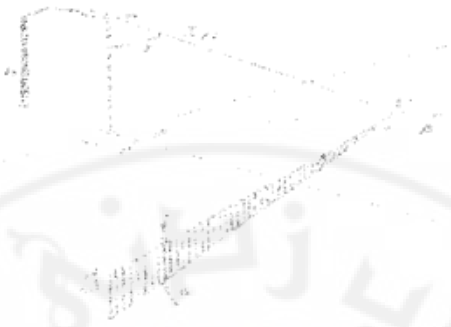
$$q = \frac{L}{E} \qquad (4-21)$$

يعتمد عامل الوضوح على مكان وقوف المراقب ومكان مصدر الإضاءة وعلى موقع النقطة على سطح الطريق المدروس. الشكل (4-27) الذي يبين الزوايا التي يعتمد عليها عامل الوضوح وهي:

α : زاوية المراقب مع الأفق.

β : الزاوية بين مستوى المراقبة ومستوى شعاع الضوء الوارد إلى النقطة.

γ : زاوية شعاع الضوء الوارد إلى النقطة مع الشاقول.



الشكل (4-27) الزوايا التي يعتمد عليها عامل الوضوح

إن المساحة المهمة من الطريق بالنسبة للسائق هي المنطقة التي تبعد عنه 60 إلى 160 متراً أفقياً باتجاه الأمام حيث تتغير الزاوية α من (0.5) درجة إلى (1.5) درجة ، ويمكن اعتماد قيمة ثابتة للزاوية α نحو (1) درجة وفقاً للتوصيات الدولية للإنارة (CIE) ، لذلك فإن عامل الوضوح يعتمد على الزاويتين (β,γ). من هنا يمكن حساب الوضوح الوسطي للطريق من العلاقة:

$$L_{av} = \frac{E_{av}}{R}\left(cd/m^2\right) \qquad (4-22)$$

حيث R هو عامل الوضوح المنخفض ويساوي:

$$R = q.\cos^3\gamma \qquad (4-23)$$

عند استخدام أجهزة إنارة من نوع نصف المحجوب (SCO) فيمكن اعتماد القيم التالية لـ R حسب نوع الإكساء للشارع كما في الجدول (4-13).

جدول (4-13) قيم R حسب نوع إكساء الشارع

نوع الإكساء	R
بيتون نظيف	8
بيتون متسخ	10

اسفلت فاتح اللون	10
اسفلت متوسط اللون	14
اسفلت غامق اللون	15
بلاط	13

إن حسابات الوضوح تصبح أسهل عند استخدام R بدلاً من q حيث يحسب الوضوح بالعلاقة:

$$L = q.E = q.\frac{I\gamma}{h^2}\cos^3\gamma = R.\frac{I\gamma}{h^2} \qquad (4-24)$$

R : عامل الوضوح المنخفض ويحدد بوساطة (γ,β) ويقدر بالواحدة $(cd/m/lux)^2$.

I_γ : الشدة الضوئية للمنبع باتجاه النقطة المدروسة.

h: ارتفاع المنبع الضوئي مقدراً بالمتر.

ويتم الحساب وفقاً لصنف الشارع إذ قامت اللجنة الدولية للإنارة بتصنيف الطرق إلى أربعة أنواع، وأعطت لكل صنف قيمة للعامل (q_o) الذي يسمى عامل الوضوح الوسطي كما في الجدول (4-14).

جدول (4-14) قيم عامل الوضوح الوسطي

صنف الطريق	R_1	R_2	R_3	R_4
(q_o)	$0.1 \pm 20\%$	$0.07 \pm 20\%$	$0.07 \pm 20\%$	$0.08 \pm 20\%$

4-2-10الوهج:Glare

4-2-10-1 تقييم الوهج:Glare Evaluation

لقد قام عدد من الخبراء بتقييم درجة الإزعاج الناتج عن الوهج بناء على علاقة تم إيجادها لتحديد معامل الوهج (G) وبالاعتماد على طريقة التسع النقاط، هذه العلاقة هي:

$$G = 13.84 - 3.31\log I_{80} + 1.3(\log)^{1.2} - 0.08\log\frac{I_{80}}{I_{88}} +$$

$$1.29\log F + 0.97\log L_v + 4.41\log h - 1.46\log p + f \qquad (4-25)$$

F: مساحة الجزء المضاء والمنظورة عند الزاوية $c = o$ و $\gamma = 76^{\circ}$ الشكل(4-27).

I_{88} : الشدة الضوئية عند زاوية 88.

I_{80} : الشدة الضوئية عند زاوية 80.

L_{av} : الوضوح الوسطي لسطح الشارع.

h : عدد الأجهزة الضوئية خلال كل كيلو متر من الشارع.

f: عامل تصحيح اللون حيث:

- لأجل مصابيح بخار الصوديوم ذات ضغطٍ منخفض $(f = +0.4)$.
- لأجل مصابيح بخار الصوديوم ذات ضغطٍ عالٍ $(f = +0.1)$.
- لأجل مصابيح بخار الزئبق ذات ضغطٍ عالٍ. $(f = +0.1)$.
- لأجل باقي المصابيح $(f = +0.00)$.

ولقد تم تصنيف نتائج التقييم في الجدول (4-15) .

جدول (4-15) تقييم الوهج

معامل الوهج (G)	توصيف الوهج	التقييم
1	غير معقول	سيء
3	مزعج	غير ملائم
5	مسموح نوعاً ما	مقبول
7	مقنع	جيد
9	مرضي	ممتاز

4-2-10-2 دور الوهج في اختيار نموذج المصباح:

يتميز النوع المحجوب (CO) بأنه أقل توهجاً من النوع نصف المحجوب (SCO)، ويتم اختيار هذا النوع عند الرغبة في الحصول على تحكم أفضل بالوهج كما هي الحال في الشوارع الملتوية وعند التقاطعات وفي الشوارع السريعة الحركة، كذلك في الشوارع ذات السطوح الخشنة لأن السطح الخشن للطريق يمنع فعالية الانتشار الطولي لتوزيع الضوء للنموذج (SCO).ويستخدم النوع نصف المحجوب (SCO) عند وجود أبنية على جوانب الطريق حيث تكون الخلفية أكثر إنارة وتساعد في رؤية الأجسام على الطريق. إن تخفيض التباين بين الجهاز وما حوله يخفض حساسية التوهج. إن استخدام أجهزة الـ (SCO) أكثر اقتصادية.

4-3 إنارة الأنفاق:Subway Lighting

4-3-1 مقدمة: Introduction

إن تزايد حركة السير في المدن أدى إلى الحاجة لاستخدام الأنفاق والطرقات ، وإذا لم يكن النفق مضاء بصورة جيد فلن يكون قادراً على أداء المهمة التي بني من أجلها وهي تتمثل في تأمين سرعة وسلامة حركة السير بشكل مشابه للطرقات. لذلك وضعت عدة معايير دولية لتحديد التقنيات اللازمة لإنارة الأنفاق. عند دراسة إنارة الأنفاق وبصورة مشابهه لما ورد في دراسة إنارة الشوارع لابد من القيام بالإجراءات التالية:

1- تحديد نوع المصابيح المستخدمة في إنارة النفق.
2- تحديد سويات الإنارة المطلوبة.
3- اختيار جهاز الإنارة الملائم من حيث سهولة الصيانة والنوعية الأفضل .

4-3-2 التوصيات الخاصة بإنارة الأنفاق:Recommendations for Subway

في دراسة إنارة الأنفاق يلاحظ أن المنطقة الأكثر حساسية هي منطقة مدخل ومخرج النفق، حيث يتطلب تحقيق سوية إنارة عالية جدا في هاتين المنطقتين لأنه يجب أن لا

يحدث تبدل كبير في حجم حدقة عين السائق عند دخوله النفق وخصوصا في النهار إذ تكون درجة إضاءة الشمس عالية بينما تكون سوية إنارة النفق أقل من ذلك . الظاهرة نفسها تحدث لعين السائق عند خروجه من النفق ولكن عكس سويات الإنارة . هذا التبدل السريع في سويات الإنارة بين داخل وخارج النفق يجعل حدقة عين السائق لا تستجيب بسرعة وبالتالي يمر السائق بلحظات عدم رؤية لعدة ثوان وتحدث ظواهر منها:

آ- أثر الفتحة السوداء black hole effect:

هذا الأثر يمنع السائق من رؤية داخل النفق عندما يكون على مسافة بعيدة من مدخل النفق والشكل (4-28) يوضح هذه الحالة.



الشكل (4-28) أثر الفتحة السوداء

ب- أثر التكيّف Adaption effect:

يحدث حتى عندما يكون داخل النفق مضاء بصورة جيدة لأن العين تحتاج إلى بعض الوقت لكي تتجاوب حساسيتها مع الظروف الجديدة للرؤية.

4-3-3 مستوى الإنارة داخل النفق Lighting level of the tunnel:

يجب تحديد مستوى الإضاءة داخل النفق تحديداً تتكيف معه عين السائق مع الظروف الجديدة للإضاءة خلال أقصر فترة زمنية ممكنة. ولقد حددت النظم الدولية طريقة الإنارة لكل نوع من الأنفاق حسب طوله، والجدول(4-16) يوضح ذلك.

جدول (4-16) توصيات لإنارة الأنفاق تبعاً للطول

طريقة الإنارة		
التي يوصى بها	بوجود منعطفات أو بوجود حركة سير غير عادية	بدون منعطفات أو بدون حركة سير غير عادية
بدون إنارة	$\langle 25\,m$	$\langle 50\,m$
باستعمال عصيات من المواد المشعة $(L_2 \geq L_1/10)$	$(25-40)m$	$(50-80)m$
باستعمال إنارة الأنفاق الطويلة	$\rangle 100\,m$	

4-3-4 مناطق النفق التي يجب تركيز دراسة الإنارة فيها:

توصف الأنفاق بأنها طويلة إذا تجاوز طولها 100m، أو إذا كان من غير الممكن رؤية مخرجها من نقطة قريبة واقعة بالقرب من مدخلها. يقسم النفق إلى ست مناطق وهي:

1- المنطقة القريبة Approach zone:

وهي الجزء المكشوف من مدخل النفق مع حوافه الوسطى بالإضافة إلى المنحدر الموجود قبل مدخل النفق.

2- نقطة التكيّف Adaption point:

وهي النقطة التي تبدأ عندها عملية تكييف عين السائق مع مدخل النفق الذي يكون معتماً بالنسبة للضوء الخارجي ، وهذه النقطة تقع داخل النفق على مسافة 50m إلى 150m من بداية النفق يعتمد البعد على الظروف الضوئية السائدة عند مدخل النفق.

3- منطقة التكيّف Adaption zone :

وهي المنطقة التي تقع قبل أن يصل السائق إلى نقطة التكيّف حيث تصادفه مشكلات في الرؤية. القيم الموصى بها هي 200 m لأجل سرعة أقل من 100 km/h.

4- منطقة الانتقال Transition zone:

وهي المنطقة التي يراها السائق من اللحظة التي تبدأ فيها عينه بعملية التكيّف ووضوح هذه المنطقة يجب أن يتغير كتابع لتكيّف العين.

5- المنطقة الداخلية Interior zone:

هي المنطقة التي يراها السائق من اللحظة التي تكون عينه قد أتمت عملية التكيّف.

6- منطقة الخروج Exit zone:

هي المنطقة التي تقع في آخر النفق .

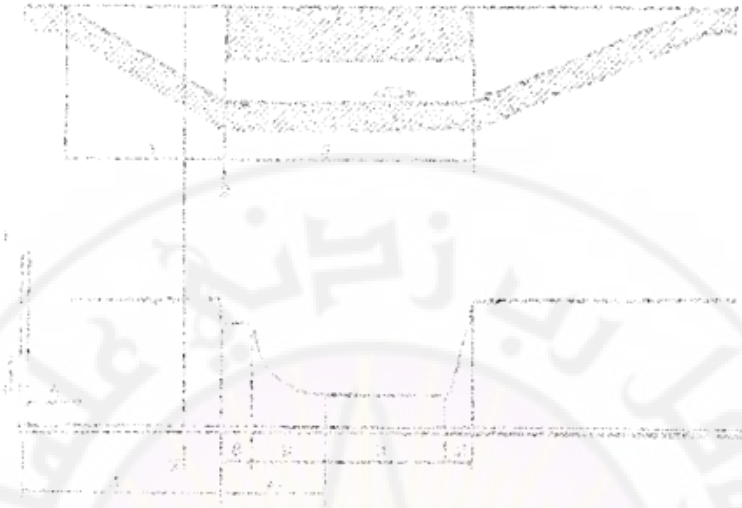
4-3-5 مستويات الوضوح في النفق: Glare levels in Subway

لتحديد مستوى الوضوح في النفق لابد من تحديد النقاط التالية:

1- المستوى الثابت للوضوح في منطقة التكيّف.
2- المستويات المختلفة لمنطقة الانتقال.
3- مستوى الوضوح في المنطقة الداخلية من النفق.

الشكل (4-29) يعطي فكرة عن كيفية انخفاض قيمة الوضوح عند الدخول إلى المناطق المختلفة من النفق ثم كيفية العودة إلى مستوى الوضوح السائد خارج النفق عند الخروج من النفق. إن القيم الموصى بها للوضوح في منطقة التكيّف يجب أن تكون بحدود $(0.1L_1)$ حيث (L_1) هي القيمة الوسطية للوضوح الكلي الذي يؤثر في عين السائق خلال الدقائق الأخيرة التي تسبق وصوله إلى النفق، ولأجل نفق في أرض منبسطة تكون القيم الموصى بها للوضوح (L_1) هي 8000cd/m2 في المناطق ذات المناخ المعتدل و 10500cd/m2 في المناطق الاستوائية، ولأجل الأنفاق الجبلية تحسب (L_1) من العلاقة:

$$L_1 = \frac{L_{d1} + 2L_{d2} + 3L_{d3}}{6} \qquad (4-25)$$

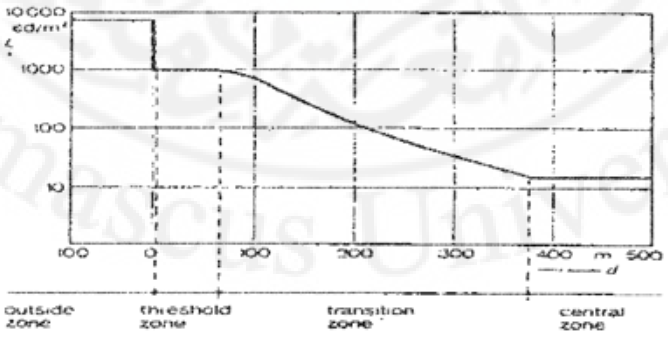


الشكل (4-29) تغير مستوى الوضوح في المناطق المختلفة من النفق

حيث: L_{d3}, L_{d2}, L_{d1} تعبر عن قياسات الوضوح داخل مجال الرؤية المحدد بالزاوية $(2\times10^{-})$ مع الأفق وباتجاه الحركة. في المناطق حيث السرعة 50 km/h تؤخذ القيم:

$$d_1 = 250\,m, d_2 = 150\,m, d_3 = 50\,m$$

عند تعيين قيمة الوضوح في منطقة التكيّف تؤخذ تلك القيمة ثابتة على كامل طول النفق. ولأجل سرعة 75km/h يكون تدرج قيم الوضوح مبينة في الشكل (4-30).



الشكل (4-30) القيم الموصى بها للوضوح في المناطق المختلفة من النفق

ويوصى عادة ألا يتجاوز التباين بين قيم الوضوح في المناطق المختلفة من النفق النسبة (3:1)، أما بخصوص سوية الوضوح في المنطقة الداخلية فهناك التوصيات التالية:

- للأنفاق الواقعة في المناطق العمرانية تكون 10-20 cd/m^2.
- للأنفاق في المناطق المنبسطة المحيطة بالمدن تكون 5-10 cd/m2.
- للأنفاق الطويلة ذات سرعة السير البطيئة أو في المناطق الجبلية تكون3-5 cd/m2.

في حالة استخدام صفوف إنارة غير متصلة في إنارة الأنفاق من الضروري التخلص من الأثر المهيج للعين والناتج عن ظاهرة الاشتعال المتقطع للضوء، وذلك بأن يكون تردد رفرفة الضوء ضمن المجال (2.5-15 cycles/sec) .

4-5 الإنارة الخارجية الفائضة: Flood Lighting

4-5-1 مقدمة:Introduction

يستخدم هذا النوع من الإنارة لأغراض كثيرة منها التزيينية للأبنية وإنارة مواقع العمل وإنارة الملاعب وأخيراً تم استخدامها في إنارة عقد السير ذات المساحة الواسعة والمتعددة الطبقات. تستخدم في هذا النوع من الإنارة مصابيح التنجستين – هالوجين ، المصابيح الزئبقية مصابيح بخار الصوديوم ومصابيح الميتال هاليد.

4-5-2 : استخدام الإنارة الخارجية لأهداف الإنارة التزينية :

عند تصميم مشروع إنارة موجهة يجب أخذ النقاط التالية بعين الاعتبار:

آ-اتجاه المشهد: إذ يجب التركيز على المشهد الرئيس الذي يشاهد منه البناء.

ب-المسافة: يجب معرفة المسافة العادية بين الناظر والبناء وخاصة في الاتجاه الرئيس للمشهد. إن بعد وقرب هذه المسافة يؤثر في وضوح رؤية الناظر لتفاصيل واجهة المبنى.

ج-المحيطات: يجب معرفة حالة خلفية البناء، فإذا كانت مظلمة فنحن بحاجة إلى شدة ضوء ضئيلة نسبياً لجعل واجهة البناء مضاءة أكثر من الخلفية والأشياء المحيطة به ،

أما إذا كانت الخلفية أكثر إضاءة كأن تبعث أبنية الجوار أشعة ضوئية ، في هذه الحالة نحتاج إلى شدة ضوئية أكبر لإنارة واجهة البناء كي نحصل على تباين في الرؤية بين البناء وخلفيته. من الناحية العملية يمكن تحقيق التباين المطلوب باستخدام لون إضاءة مختلف عن ألوان الأشياء المحيطة بالبناء عوضاً عن التباين في شدة الضوء.

د-العوائق: من أهم عوائق انتشار الضوء في الفراغ المحيط بالأبنية الأشجار والأسيجة، لكنها من ناحية أخرى تضفي منظرا جماليا وتزيينياً على المشهد العام، وبهدف الحفاظ على هذه الخاصية يمكن وضع أجهزة الإنارة خلفها إذ نحقق بذلك ميزتين، أولاهما أن منابع الضوء تكون مخفية بالنسبة للناظر، وثانيها أن الأشجار والأسيجة في حال إنارتها من الخلف تضفي ظلالا" على الأراضي المحيطة بالواجهة وبذلك تزداد جمالية المشهد. من العوائق كذلك وجود مياه قرب المشهد المراد إنارته كوجود بحيرة أو قناة قريبة من البناء حيث تشكل المياه سطحا" عاكسا" للأشعة الضوئية أو يعمل كمرآة سوداء، في هذه الحالة يمكن أخذ التوصيات التالية بعين الاعتبار :

1- يجب أن لا توجه الأشعة الضوئية إلى سطح المياه مباشرة ، إذ يجب أن يترك سطح الماء معتماً تماماً.
2- من الأفضل أن تركب المنابع الضوئية في مستوٍ أخفض من البناء ، عندها يجب أن توجه الأشعة على واجهة المبنى إما بشكل أفقي أو باتجاه الأعلى قليلا".
3- يجب أن يكون الماء نظيفاً، إذ أن الأعشاب الطافية على السطح تخفف الانعكاسات وتشوهها.

هذه التوصيات تقودنا إلى التفكير عند تصميم نظام إنارة موجهة وتدفعنا إلى تحري الأماكن المناسبة لتركيب المنابع الضوئية. من الناحية العملية يوجد عدة أماكن لتثبيت الأجهزة الضوئية لتركيبها :

- أعمدة إنارة مخصصة لذلك.

- سطوح الأبنية المجاورة ، أو على أقواس تركب أمام البناء.

هـ- **شكل البناء:** بعد أن يتم تحديد اتجاه النظر الرئيسي إلى البناء نحدد اتجاه الأشعة الضوئية من المنابع الضوئية إلى واجهة البناء معتمدين على الشكل الهندسي للبناء وليس على مواصفات الموقع الذي سيقام عليه هذا البناء. من الممكن تقريب الشكل الهندسي لواجهة البناء إلى شكل بسيط كمربع أو مستطيل أو دائري أو أي من الأشكال الهندسية المنتظمة. بخصوص البنية ذات السطح المربع، المستطيل، أو الدائرة فإن النتائج التي نحصل عليها تكون بصورة عامة مرضية، فمثلاً في حالة السطح المربع أو المستطيل إن أفضل موقع لتركيب أجهزة الإنارة هو عندما يكون اتجاه النظر منطبقاً على أحد الأقطار واتجاه الضوء منطبقاً على القطر الآخر للمربع أو المستطيل. وبشكل عام فإنه يجب أن يكون هناك زاوية بين اتجاه النظر للبناء واتجاه الضوء الموجه إليه. الشكل (4-31) يبين ذلك.



الشكل (4-31) تأثير الشكل الهندسي للمشهد في وضع أجهزة الإنارة (مربع أو مستطيل)

إن معالم واجهة المبنى يمكن أن تظهر ظهورا" جيدا" وواضحا" إذا كانت زاوية سقوط الضوء عليها اقل من 90 درجة . تتغير الزاوية في المستوي العمودي أو الأفقي بين 0 و 90 درجة مقاسة بدءا" من المحور العمودي على الواجهة. من أجل الواجهات ذات المنظر الجانبي العميق فإن الزاوية تتراوح بين 0 و 90 درجة ، أما بالنسبة للواجهات ذات المنظر الجانبي المستوي فإن الزاوية تتراوح بين 60 و 85 درجة، وفي حالة البنية الدائرية كبرج أو مدخنة من الممكن توجيه الإنارة عليها من نقطتين متقابلتين أو من ثلاثة اتجاهات شكل (4-32-آ-ب) إذ تتراوح زاوية سقوط الحزمة الضوئية من 0 و 90 درجة.



(ب) (أ)

الشكل (4-32) تأثير الشكل الهندسي للمشهد في وضع أجهزة الإنارة لبناء دائري

أما اختيار مواصفات جهاز الإنارة وخاصة عرض حزمته الضوئية فإنه يعتمد على ارتفاع البناء، فمثلاً تستخدم أجهزة الإنارة الموجهة ذات الحزمة العريضة لإنارة الأبنية المنخفضة، بينما تستخدم الأجهزة ذات الحزمة الضيقة والمتوسطة في إنارة الأبنية الطابقية العالية الشكل (4-33).



A: منبع ضوئي بحزمة عريضة. B: منبع ضوئي بحزمة ضيقة ومتوسطة

الشكل (4-33) تأثير ارتفاع البناء في نوع جهاز الإنارة

4-5-2-1 تحديد سوية الإنارة المطلوبة لإضاءة واجهة ما:

تتعلق قيمة سوية الإنارة بعوامل كثيرة، منها عامل الانعكاس لسطح البناء، موقع البناء وعلاقته بما يحيطه، الإنارة العامة للمحيط الذي يوجد فيه البناء، أبعاد البناء. الجدول (4-17) يبين سويات الإنارة المعتمدة عالمياً حسب CIE .

جدول (4-17) سويات الإنارة حسب حالة السطح ونوع مادته



4-5-2-2 طرق حساب الإنارة لأهداف تزينية:

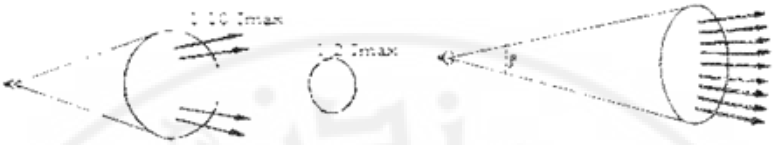
هنالك ثلاث طرائق يمكن اتباعها لحساب عدد الأجهزة لتحقيق سوية الإنارة هي:

1- طريقة اللومن (طريقة التدفق الضوئي).
2- طريقة شدة الإضاءة.
3- الطريقة المثلثية.

قبل البدء باستعراض طرق حسابات الإنارة لابد من الوقوف على التعاريف التالية:

أ- زاوية الحزمة β **Beam Angle**: وهي الزاوية الواقعة بين الشعاعين $1/10\,I_{max}$ (النظم الأميركية) أو $1/2\,I_{max}$ (النظم الأوروبية) المنطلقتين من المنبع الضوئي.

ب- **السيالة الحزمية (Beam Lumens)**: وهي كمية اللومن التي يشعها المنبع الضوئي ضمن زاوية الحزمة المجسمة كما في الشكل (4-34) والشكل (4-35).



الشكل (4-34) السيالة الحزمية

الشكل (4-35) الشدة الضوئية العظمى

ج- **الشدة الضوئية العظمى (Maximum Intensity)**: وهي أعظم شدة ضوئية للحزمة مقدرة بالكانديلا لكل (1000Lm) من الخرج الضوئي للمصباح، كما في الشكل (4-36).



الشكل (4-36) الشدة الضوئية العظمى

د- **عامل الحزمة (مردود الحزمة) (Beam factor)**: وهو النسبة بين السيالة الضوئية ضمن الحزمة إلى السيالة الضوئية الكلية للمصباح.

هـ- **عامل الضياع الضوئي**: من المعلوم أن كمية اللومن الموجودة ضمن الحزمة الضوئية لجهاز الإنارة لا تصل كلها إلى المشهد المضاء شكل (4-37) ، ويتوقف الضياع الضوئي على شكل الجسم المضاء ، فمثلاً الضياع الضوئي في حالة إنارة مدخنة مثلاً أكبر منه في حالة إنارة سطح مستطيل. يعرف عامل الضياع الضوئي بأنه النسبة المئوية من السيالة الضوئية الحزمية التي تصل الجسم المضاء وقيمته في الحالات الجيدة بحدود 0.9.



الشكل (4-37) الضوء الضائع

ا-طريقة اللومن (طريقة الفيض الضوئي):

يحسب عدد الأجهزة اللازمة من العلاقة:

$$N = \frac{A.E}{F_b.\eta.\mu.\alpha} \qquad (4-26)$$

N: عدد الأجهزة اللازمة.

A: مساحة الواجهة المضاءة.

E: سوية الإنارة المطلوبة.

F_b : السيالة الضوئية الحزمية للجهاز.

μ : عامل الصيانة ويتعلق بطبيعة المنطقة ونظافة الجهاز والصيانة الدورية له.

η : عامل الاستخدام.

α : عامل تقادم الجهاز.

ويمكن اختصار القانون السابق كالتالي:

$$N = \frac{A.E}{\varphi.\omega} \qquad (4-27)$$

ω : عامل الاستفادة الكلي من الفيض الضوئي) ويتراوح بين (0.3-0.25).

φ : السيالة الضوئية للمصباح.

هناك أيضاً علاقة أخرى يمكن استخدامها عند استعمال طريقة اللومن وهي تمكن من معرفة قدرة عدد الأجهزة المحدد من العلاقة السابقة على ضمان التغطية المناسبة للمساحة المضاءة وهي:

$$N = \frac{A.\eta}{A_f} \qquad (4-28)$$

A: مساحة السطح المضاء.

η : عامل التغطية وتتراوح قيمته بين 1 و 4 ويؤخذ عادة 2 في حالة واجهات الأبنية.

A_f : مساحة البقعة الضوئية للحزمة وهي عموماً قطع ناقص باستثناء الحالة التي تكون فيها الحزمة الضوئية موجهة بشكل عمودي على السطح عندها يكون شكلها دائرياً. تتعلق المساحة الضوئية للحزمة بالعناصر التالية:

- بعد الجهاز عن السطح المضاء.
- زاوية توجيه الجهاز وهي الزاوية الواقعة بين اتجاه محور الحزمة والاتجاه العمودي على السطح المضاء.
- زاوية الحزمة إن كانت عريضة أو متوسطة أو ضيقة.

هذا ويجب أن يكون عدد الأجهزة المحسوبة من العلاقة الأولى مساوياً أو قريباً من العدد المحسوب من العلاقة الثانية وعند وجود اختلاف كبير بين العددين يعاد النظر باختيار مصابيح باستطاعات أقل أو أكثر حتى يتم تقارب العددين، ويستحسن أن يكون العدد المحسوب من العلاقة الثانية أكبر من العدد المحسوب من العلاقة الأولى.

II- طريقة شدة الإضاءة (الطريقة النقطية):

في هذه الطريقة تستخدم في الحساب الشدة الضوئية التي يشعها المنبع الضوئي في اتجاه معين ، إذ يتم معرفة قيمة الشدة الضوئية من مخطط الشدة الضوئية للجهاز والذي يوجد عادة في النشرة الفنية العائدة له كما في الشكل (4-38). ويتم إجراء الحسابات باستخدام العلاقة:

$$E = \frac{1}{h^2} \sin^2 \alpha \cos \alpha \qquad (4-29)$$

$$\tan\alpha = \frac{h}{D} \qquad (4-30)$$

وذلك حسب ما هو موضح في الشكل (4-39). حيث:

E: سوية الإنارة على الواجهة.

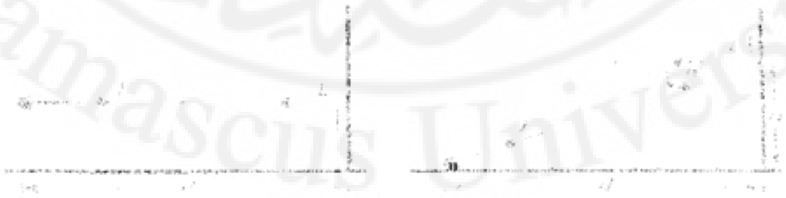
I: الشدة الضوئية في الاتجاه α.

D: ارتفاع المشهد عن مكان وضع الجهاز.

ϑ : الزاوية بين الشعاع الساقط الناظم على السطح المضاء (أو α).



الشكل (4-38)



الشكل (4-39)

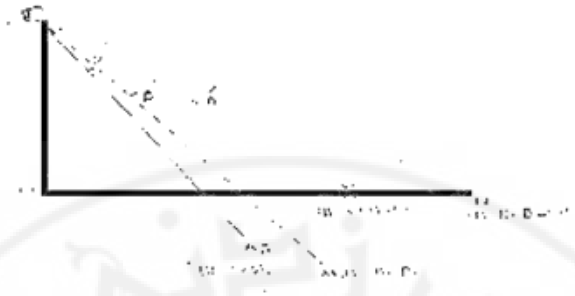
III- الطريقة المثلثية:

إن الشدات الضوئية التي ينتجها جهاز الإنارة الفائضة تعطى في مستويات متباينة. وبتتبع إحداثيات التوزيع الضوئي $B-\beta$ كما في الشكل (4-40)، نجد أنه إذا تم وضع جهاز الإنارة الفائضة باتجاه المستوي الأفقي، فإن مستويات قياس الشدة الضوئية التي تتبع يكون لكل منها زاوية (B) معينة تتقاطع مع المستوي الأفقي لتشكيل مستقيمات متوازية واقعة في المستوي الأفقي (P) وتكون النقطة (A) نقطة الهدف وهي واقعة على محور الجهاز وعلى المستقيم الناتج عن تقاطع المستوي$(B-O)$مع المستوي الأفقي P . إن الشدة الضوئية الموجهة إلى النقطة (A) تقرأ منحنيات الشدة الضوئية للجهاز وذلك لأجل الحالة الموافقة لكل من $(B=O)$ و $(\beta=O)$.



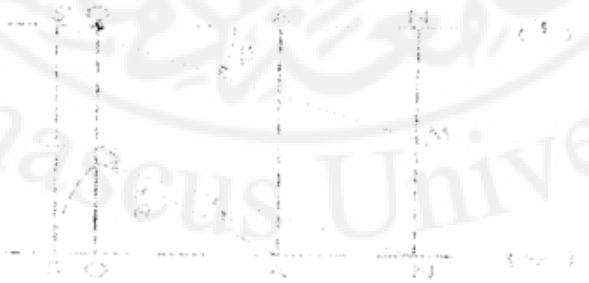
الشكل (4-40) إحداثيات التوزيع الضوئي (B,β)

إن الشدات الضوئية الموجهة نحو النقاط الواقعة على الخط المتعامد (OA) في الشكل (4-41) تقرأ من العمود الموافق للحالة $B=O$ و $(\beta=10,20,30\cdots etc)$. من الشكل (4-41-ب) نلاحظ أن النقاط (A_β) هي نقاط الخطوط المنطلقة من S وهي التي تصنع زوايا β مع SA مع المستوي الأفقي، وإذا رسمنا من S خطاً يصنع زاوية (B_1) مع محور الجهاز ويكون لأجل هذا الخط $(\beta=O)$ فسيتقاطع هذا الخط مع امتداد الخط (OA) في نقطة (N)، وإذا تم رسم من (N) مع (OA) فإن الشدات الضوئية الموجهة نحو نقاط هذا المستقيم يمكن قراءتها من المنحنيات وفقاً للحالة $(B=B_1)$ و $(\beta=0,10,20\cdots)$، أي أن النقاط (M) هي نقاط تقاطع المستقيمات التي تصنع زاوية (β) مع (SN)، مع المستوي الأفقي.



الشكل (4-41) الشدات الضوئية باتجاه النقاط $A\beta$

وبشكل آخر نلاحظ أنه في كل نقطة (M) من المستوي (P) الأفقي، وبأخذ الزاويتين β, B الموافقتين لهذه النقطة فإن الشدة الضوئية $I(B=\beta)$ التي يوجهها الجهاز (S) نحو النقطة (M) يمكن قراءتها من منحنيات الشدة الضوئية. إن قيم الزاويتين β, B يمكن حسابهما بواسطة الرسم التوضيحي لكل حالة. في الشكل (4-42-أ) يتم النظر إلى المستوي (P) من الأعلى حيث (O) هي مسقط الجهاز على المستوي الأفقي، بينما الشكل (4-42-ب) يعطي تصوراً جانبياً للحالة. في حالة حساب الزوايا (B,β) والموافقة للنقطة (M) نرسم من (M) عمودا" على الخط (OA) فيتقاطع هذا العمود مع (OA) في نقطة (N) ونجري بعد ذلك عملية تحويل للأبعاد بين الشكلين (آ) و (ب) وذلك يرسم قوس من دائرة مركزها N ونصف قطرها (SN) فيقطع امتداد NO في نقطة (S') وبتحويل 'S على الشكل (آ) فإن (S'M) هي الزاوية (β).



الشكل (4-42) الرسم التوضيحي للحالتين

ملاحظة:

إن الخط (OA) في الشكل (4-42-ب) تم اعتباره مبدأ لقياس الزاوية (B)، كما عدت B موجبة عندما تقع N خارج (OA) لذلك فإن (B) تعد سالبة عندما تقع (N) داخل (OA).

وبذلك فإن كل من (β, B) يمكن تحديدهما وبالتالي يمكن من منحنيات الشدة الضوئية الخاصة بالجهاز إيجاد الشدة الضوئية $I(B,\beta)$ وحساب سوية الإنارة الأفقية والعمودية في النقطة (M) حسب العلاقات (4-31) و (4-32) أي:

$$E_h = \frac{I(M).\cos^3 B.\cos^3 \beta}{h^2} \qquad (4-31)$$

$$E_v = \frac{I(M).\cos^3 B.\cos^3 \beta}{h^2}.\sin\gamma \qquad (4-32)$$

عندما يراد معرفة $(E_{v\delta})$ سوية الإنارة العمودية باتجاه معين بالزاوية (δ) بالنسبة للخط OA مثلاً يحسب ذلك مباشرة:

$$E_{v\delta} = E_v.\cos\delta \qquad (4-33)$$

في الحالة الخاصة عندما يكون وضع الجهاز بالنسبة للسطح المضاء حيث يكون المحور الرئيس للحزمة الضوئية عمودياً على هذا السطح فإن البقعة الضوئية المتشكلة تكون دائرية الشكل ويحسب قطرها من العلاقة التالية:

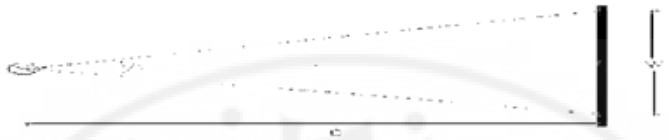
$$W = D \times 2\tan\left(\frac{1}{2}\beta\right) \qquad (4-34)$$

كما في الشكل (4-43) حيث:

W: قطر البقعة.

D: المسافة بين المنبع الضوئي والسطح المضاء.

$2\times\frac{\beta}{2}$: زاوية الحزمة الضوئية بالدرجات.



الشكل (4-43) عرض البقعة الضوئية

في الحالة العامة عندما تؤخذ البقعة الضوئية شكل قطع ناقص يمكن حساب مساحتها من جداول أو منحنيات خاصة. المنحني في الشكل (4-44) يساعد في حساب أبعاد القطع الناقص، ولمعرفة استخدام هذا المنحني نفرض أن لدينا موجه نور تم توجيهه إلى الأسفل وأن الحزمة الضوئية له متناظرة، إن البقعة الضوئية التي يشكلها الجهاز على السطح المضاء هي دائرة تتوقف مساحتها على زاوية الحزمة الضوئية، يتم حساب نصف قطر الدائرة من المنحني بضرب ارتفاع الجهاز عن السطح بنسبة المسافة.

الشكل (4-44) العلاقة بين الزاوية ونسبة المسافة

4-5-3 الإنارة الفائضة في الملاعب الرياضية: Flood Lighting of Stadiums

4-5-3-1 مقدمة: Introduction

من المعلوم أن الإنارة الخارجية الموجهة في الملاعب الرياضية علم قائم بذاته إذ لابد من القيام بدراسات دقيقة للحصول على توزيع جيد لأجهزة الإنارة وتأمين قيم لعوامل الانتظام ولسويات الإنارة حسب النظم العالمية. تستخدم في الملاعب الرياضية مصابيح الميتال هاليد والصوديوم ذات الضغط العالي، كما تستخدم مصابيح التنجستين هالوجين إذا كانت الاستطاعة اللازمة ليست كبيرة. يتم حسابات سوية الإنارة الوسطية وسويات الإنارة في نقاط معينة باستخدام قوانين الإنارة الموجهة. تختلف شروط الإنارة في الملاعب الرياضية حسب طبيعة استخدام هذه المنشآت فهناك المنشآت التي تستخدم للمباريات المحلية أو لأغراض التدريب، وهناك ملاعب أخرى تستخدم للألعاب الدولية. لقد قامت النظم الدولية بتحديد سويات الإنارة الأفقية والعمودية لمختلف أنواع الملاعب الرياضية، فمثلاً حددت هيئة التلفزيون الفرنسي متطلبات خاصة لسويات الإنارة التي يطلب تحقيقها للحصول على صور تلفزيونية ملونة ذات جودة عالية سوية الإنارة الأفقية بحدود (1000Lux) وسوية الإنارة العمودية بـ (1000Lux) أيضاً. بينما حددت المواصفات الألمانية (DIN 675-26) سوية الإنارة العمودية (1000 Lux) والأفقية بحدود (1500 Lux). عادة السوية العمودية هي الأهم بالنسبة للتصوير التلفزيوني.

4-5-3-2 سويات الإنارة في الملاعب الرياضية: Iluminance in Stadiums

إن سويات الإنارة المعتمدة في الملاعب المعدة لأغراض التدريب هي بحدود 200Lux، أما بخصوص للملاعب المخصصة للمباريات فتتراوح في المجال 600-1000Lux. تجري عادة إنارة المنشآت الصغيرة باستخدام أعمدة بارتفاعات 10-16m ، حيث تركب هذه الأعمدة على جانبي الملعب، كما تستخدم في إنارة الملاعب مصابيح الهالوجين باستطاعات 1000-2000w أو الميتال هاليد باستطاعة 400w. لقد حددت النظم الأميركية بالمشاركة مع الاتحاد الدولي لكرة القدم FIFA سويات الإنارة لمختلف أنواع

الملاعب في الصالات المغلقة والمفتوحة ، كما وحددت سويات الإنارة للملاعب المخصصة للنقل التلفزيوني الدولي والملاعب التدريبية. لقد ركزت هذه النظم على تحقيق سوية إنارة عمودية عالية لأن المهم هو جسم اللاعب. الجدول (4-18)، يبين تصنيف الألعاب، والجدول (4-19) يبين سويات الإنارة المعتمدة حيث يوجد نقل تلفزيوني، أما الشكلان (4-20)،(4-21) يظهران سويات الإنارة المعتمدة في مختلف الألعاب والملاعب المعدة للأغراض التدريبية حيث لا يوجد نقل تلفزيوني .

جدول (4-18) تصنيف مستويات الألعاب .

Class I: Top-level competitions, both national and international. There are usually large numbers of spectators and long viewing distances.

Class II: Mid-level competition, matches at regional or local club level with medium-sized groups of spectators and average viewing distances.

Class III: Low-level competition and recreational sport. This normally involves small numbers of spectators and short viewing distances.

أما الجدول(4-19) فيبين سويات الإنارة التي يجب تحقيقها حال وجود نقل تلفزيوني .

جدول(4-19) سويات الإنارة في مختلف الملاعب في حال النقل التلفزيوني.

Major events

Slow-motion Camera	1500-3000	0.8	0.6	1800	0.7	0.5	>80	<50
Mobile Camera	1500-3000	0.8	0.6	1200	0.5	0.3	>80	<50

Average horizontal and vertical illuminance ratios. It is recommended that the ratio for horizontal illuminance-field of Plan-s between 0.75 and 1.5 of the vertical illuminance for cameras. Where there is HDTV all horizontal values for other cameras are as for HDTV.

National events

جدول (4-20) سويات الإنارة للملاعب المفتوحة التدريبية (لا يوجد نقل تلفزيوني)

Non-televised outdoor lighting recommendations

Class	Horizontal illuminance	Uniformity min/ave	Colour rendering	Glare rating
Athletics, Football, Rugby, Cycle racing, Equestrian sports, Football, Hockey, Lacrosse, Rugby and Polo pitch				
I	500	0.7	>60	<50
I	200	0.6	>60	<50
II	75	0.5	>20	<55
Note for Class II athletics and equestrian sports the minimum illuminance is 100 lux as per EN12193 For athletics this can be reduced to 50 lux for running sports. For Cycling Class I 300 lux +0.7; Class II 100 lux				
Swimming (Aquatic sports)				
I	500	0.7	>60	<50
I	300	0.7	>60	<50
II	200	0.5	>20	<55
Note for diving vertical uniformity should also be considered Class I 0.8 Ehl5+ Class II 0.5 Ehl5+ Class III 0.5 Ehl5+				
Tennis				
I	500	0.7	>60	<50
I	300	0.7	>60	<50
II	200	0.6	>20	<55
Note Values refer to 'Total Playing Area' as defined by ITF				
Baseball, Bandy, Cricket, Hockey, Ice hockey, Ice skating, Motorcycling and Softball				
I	750	0.7	>60	<50
I	500	0.7	>60	<50
II	300	0.7	>20	<55
Outfield for Baseball, Cricket and Softball				
I	500	0.5	>60	<50
I	300	0.5	>60	<50
I	200	0.3	>20	<55
Bobsleigh and Luge				
I	300	0.7	>60	<50
I	200	0.5	>60	<50
II	50	0.4	>20	<50
Bowles sport (Lawn, Ball and Petanque)				
I	200	0.7	>60	<50
I	00	0.7	>20	<50
II	50	0.5	>20	<55
Archery				
I, II	200	0.5	>60	
Vertical illuminance	Target	Uniformity min/ave		
I, II	750	0.8		
Alpine & Freestyle skiing				
I	50	0.5	>60	<50
I	00	0.4	>20	<50
II	50	0.3	>20	<55
Ski Jump landing area				
I	300	0.7	>60	<50
I	200	0.6	>20	<50
II	200	0.6	>20	<55
Note: For Class I [illegible]				

[illegible] and vertical [illegible]

جدول (4-21) سويات الإنارة للملاعب المغلقة التدريبية (لا يوجد نقل تلفزيوني).

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الشكل(4-45) يبين صورتين إحداها اليسارية تبين عامل تجانس عام سيئ ، بينما الثانية على اليمين تبين عامل تجانس جيد.

الشكل(4-45) عامل التجانس في ملعب كرة قدم .

عموما يمكن حساب سوية الإنارة الوسطية على سطح ملعب وكذلك وعوامل الانتظام العام والطولي باستخدام طريقة الثلاث عشرة نقطة. فيما يلي سنشرح الأساليب المتبعة في حساب إنارة الملاعب الرياضية الصغيرة والمعدة لأغراض تدريبية.

1- ملاعب كرة المضرب (التنس):

الشكل (4-46) يبين طريقة إنارة ملعب كرة المضرب باستخدام ثمانية أجهزة إنارة فائضة مركبة على أربعة أعمدة ، حيث تم تركيب عمودين على كل جانب من جانبي الملعب كما تشير الأسهم إلى النقاط التي توجه نحوها محاور الأجهزة الضوئية نحو أرضية الملعب . ضمن هذا التوزيع وعند استخدام مصابيح بخار الصوديوم بضغط عالٍ باستطاعة 400W تكون سوية الإنارة الأفقية الوسطى التي نحصل عليها ضمن مضمار اللعب بحدود 350Lux، بينما تكون هذه السوية الوسطية لأجل كامل مساحة الملعب بحدود 245 Lux. الأبعاد المبينة على الشكل جميعها مقدرة بالمتر.



الشكل (4-46) ملعب كرة المضرب

الشكل (4-47) يبين طريقة توزيع أعمدة الإنارة في حالة ملعبين متجاورين لكرة المضرب ولقد بينت الحسابات أنه باستخدام مصباح واحد في كل جهاز من النوع صوديوم ذي ضغط عالٍ باستطاعة (1000W) تكون قيمة سوية الإنارة الأفقية الوسطى (445Lux) ضمن منطقة اللعب و (360 Lux) لأجل المساحة الكلية للمعلب.



الشكل (4-47) معلبين متجاورين لكرة المضرب

إن قيم سوية الإنارة الوسطية التي توصي بها المواصفات الألمانية لأجل ملاعب كرة المضرب هي (200Lux) للملاعب المخصصة للتدريب و (400Lux) للملاعب المخصصة للمباريات الدولية. الجدول (4-22) يبين القيم الأصغرية لارتفاعات الأعمدة مقدرة بالمتر، حيث تعطي قيم الارتفاعات كتابع لكمية الفيض الضوئي للمصباح.

جدول (4-22) ارتفاعات الأعمدة كتابع للفيض الضوئي للمصباح

أما الجدول (4-23) يوضح القيم الأصغرية الموصى بها لسويات الإنارة الصغرى وعوامل الانتظام الأصغرية التي يجب تحقيقها في ملاعب التنس، وذلك لأجل أسلوبي التوزيع للأعمدة (جانبي أو في الزوايا) وحسب نوع استخدام الملعب.

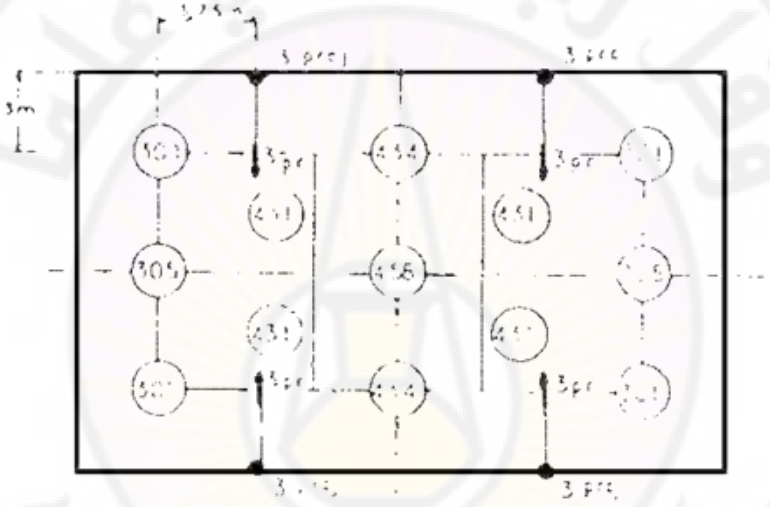
جدول (4-23) القيم الموصى بها للإنارة والانتظام في ملاعب التنس

ملاحظة:

إن قيم سويات الإنارة وعوامل الانتظام في الجدول السابق(4-23) محسوبة على مستوي أفقي موازٍ لسطح الملعب ويبعد عنه 1m.

2- ملاعب كرة الطائرة:

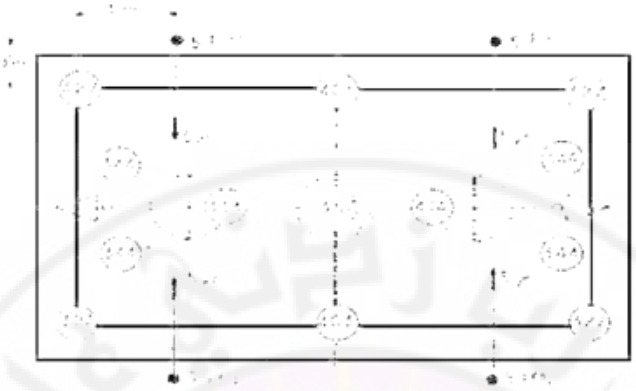
الشكل (4-48) يبين طريقة إنارة ملاعب كرة الطائرة، وذلك باستخدام أربعة أعمدة، ارتفاع كل منها 9m و12، موجه نور كل منها يحوي مصباح هالوجين استطاعته 1000W أو ميتال هاليد استطاعته 400W. كما يظهر على هذا الشكل استخدام طريقة الثلاث عشرة نقطة في حساب سوية الإنارة النقطية والوسطية. وعامل الانتظام.



الشكل (9-48) إنارة ملعب كرة طائرة والحساب بطريقة 13 نقطة

3- ملاعب كرة السلة:

الشكل (4-49) يبين طريقة إنارة ملعب كرة سلة باستخدام أربعة أعمدة، ارتفاع كل منها10m، وذلك باستخدام أربع منصات معدنية تركب عليها أجهزة الإنارة. يركب على كل منصة خمسة أجهزة كل منها يحوي مصباحا" واحدا" استطاعته 400W نوع ميتال هاليد أو 1000W هالوجين. كما يبين هذا الشكل النقاط الثلاث عشرة التي تم حساب سوية الإنارة فيها، حيث كانت سوية الإنارة الوسطية المحققة: $E_{av} = 363\ Lux$ وعامل الانتظام الإجمالي المحقق هو: $(U_f)_G = 0.9$

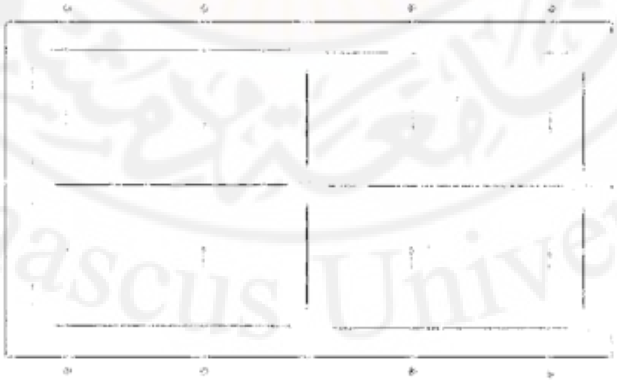


الشكل (4-49) إنارة ملعب كرة سلة والحساب بطريقة 13 نقطة

4- ملاعب كرة اليد:

الشكل (4-50) يبين ملعب كرة يد تمت إنارته باستخدام ثمانية أعمدة، ارتفاع كل منها10m، حيث تم تركيب أربعة أجهزة إنارة موجهة على كل عمود نوع 400W ميتال هاليد أو 1000 W هالوجين ويحوي كل جهاز مصباحاً واحداً. كما يبين الشكل دراسة هذا الملعب باستخدام طريقة الثلاث عشرة نقطة، وكانت سوية الإنارة هي:

$$E_{av} = 395\ Lux \qquad (U_1)_0 = \frac{E_{min}}{E_{av}} = 0.73$$



الشكل (4-50) إنارة ملعب كرة يد والحساب بطريقة 13 نقطة

5"- إنارة ملاعب كرة القدم:

عند تصميم إنارة ملعب أو منشأة رياضية يجب أن تتحقق النقاط الأساسية التالية :

- تحقيق شروط رؤية حسنة بالنسبة للاعبين والمتفرجين من حيث تأمين سوية الإنارة المناسبة، عوامل الانتظام المقبولة، درجات الوهج المقبولة .
- تأمين نظام إنارة ينسجم مع الخواص المعمارية أو التزينية للملعب.
- جعل نظام الإنارة يحقق متطلبات أجهزة التصوير التلفزيوني.

كما بينت الجداول (4-20)،(4-21)،(4-22)،(4-23) السابقة، ومما هو جدير بالذكر أن متطلبات الإنارة من وجهة نظر اللاعب تختلف عن متطلبات الإنارة من وجهة نظر المتفرج، وأيضاً تختلف عما يتطلبه التصوير التلفزيوني أو السينمائي، وخاصة الملون منه. إن سوية الإنارة التي يجب تحقيقها من وجهة نظر اللاعب هي عادةً سوية منخفضة بينما يتطلب المتفرج سوية إنارة عالية لها علاقة ببعد مكانه عن أرض الملعب. وقد أثبتت التجارب العملية أنه من أجل التصوير التلفزيوني الملون نحتاج إلى سويات إنارة عالية وخاصة الإنارة العمودية $E_{\perp}$ إذ تصل إلى قيم (1000–1500Lux). من ناحية أخرى فإن قيم الوهج الناتج تعتمد على الوضوح وحجم أجهزة الإنارة المستخدمة وعددها وشكلها وتوضعها ضمن مجال النظر وأيضاً على الوضوح الوسطي للمعالم المحيطة، ونحصل عادةً على إنارة أفضل ووهج أقل عند استخدام أبراج حاملة لأجهزة الإنارة بارتفاعات عالية مع استخدام عدد كبير من أجهزة الإنارة ذات الحزم الضيقة والموجهة توجيها" جيدا". من الأمور الأخرى التي يجب ملاحظتها أثناء التصميم هي الوهج الذي يسببه نظام إنارة الملاعب على المحيطات المجاورة مثل الأبنية وطرق السير، وعادةً ويجب التقليل قدر الإمكان من تأثير ذلك. في الحياة العملية نميز عدة أنواع من الملاعب، فمنها ما يستخدم لأغراض التدريب ومنها ما يخصص للمباريات الودية ومنها ما هو معدّ للمباريات مع وجود مدرجات لاستيعاب المتفرجين، وهناك الملاعب الدولية التي تكون إنارتها مدروسة لتحقق أغراض التصوير السينمائي والتلفزيوني الملون. وسنشرح فيما يلي سويات الإنارة التي يجب اعتمادها في ملاعب كرة القدم المختلفة:

-إنارة الملاعب المخصصة لأغراض المباريات الودية والتدريب:

في هذه الملاعب يعد ما يتطلبه اللاعب من سوية إنارة هو الذي يجب تأمينه. إن سوية الإنارة الملائمة لهذا النوع من الملاعب تصل إلى 200 Lux، علما أن الحد الأدنى المقبول (75Lux) ودرجة الانتظام المقبولة هي $E_{max} / E_{min} = 4:1$. تستخدم في إنارة الملاعب مصابيح من الميتال هاليد والصوديوم والهالوجين، ويفضل لأسباب اقتصادية استخدام مصابيح الميتال هاليد باستطاعة (2000W). كما تستخدم أجهزة الإنارة ذات الحزمة الضوئية الدائرية التي تعطي على أرض الملعب بقعة ضوئية على شكل قطع ناقص عند استخدام نظام الإنارة من أربعة زوايا (النظام القطري). أما في نظام الإنارة من الجانبين فتستخدم أجهزة الإنارة ذات الحزمة الضوئية المستطيلة. ينصح في الملاعب المخصصة للمباريات الودية استخدام نظام الإنارة ذي الأعمدة الستة (ثلاثة أعمدة من كل جانب) مثبتة على بعد نحو (4m) من خطوط التماس لسلامة اللاعبين، حيث يوضع من كل جانب عمود على امتداد خط المركز، وعمود على امتداد كل خط جزاء، أما ارتفاع الأعمدة فهو (12-15m) والتباعد بينها فيؤخذ معادلاً من مرتين إلى ثلاث مرات ارتفاع العمود. عموماً يتم اختيار ارتفاع العمود بحيث تصنع الحزمة الضوئية الساقطة زاوية لا تقل عن (20) مع خط الأرض، وعند وضع الأعمدة بعيدة عن خطوط التماس يجب أن يحقق ارتفاع العمود h بدلالة بعده a عن المحور الطولي للمعلب العلاقة: $h > \frac{15a}{36}$. في الملاعب التي تستخدم الأعمدة العالية يمكن أن يستخدم نظام أربعة أعمدة (عمودان من كل جانب) ، أو النظام القطري، وفيه توزع الأعمدة على الزوايا الأربع للمعلب، الشكل (4-51) يبين هذه الأنظمة المختلفة في ملاعب التدريب، حيث تم استخدام أعمدة بارتفاعات تتراوح ما بين (12-15m)، حيث يفضل الارتفاع (15m). تركب الأعمدة على بعد (22 m) من خط نهاية الملعب في ملعب قياس (100 – 70) m .



الشكل (4-51) توزيع الأعمدة في ملاعب كرة القدم للتدريب والمباريات الودية

كما ويمكن تصميم نظام إنارة لهذا النوع من الملاعب باستخدام عمود واحد كما يبينه الشكل (4-52).

الشكل(4-52) نظام إنارة بعمود واحد .

في هذا النوع من النظم يحسب طول العمود من العلاقة التالية :

$$h = d \times \tan\alpha \qquad (4-35)$$

-إنارة ملاعب كرة القدم الدولية (الاستادات):

في هذا النوع من الملاعب التي تخصص بصورة أساسية للمباريات الدولية يوجد جمهور كبير من المتفرجين، بالإضافة إلى وجود تصوير تلفزيوني ملون، وهذا يعني أن

تحقيق سويتي الإنارة الأفقية والعمودية يجب أن يوافق النظم الدولية تماما" . تعد سوية الإنارة الأفقية بالنسبة للجمهور هي الهامة، ولها علاقة بسعة استيعاب المدرجات، وبأقصى بعد للمتفرج عن مركز الملعب كما في (الشكل 4-53)، أما الجدول (4-24) يبين التوصيات المتبعة في هذا الخصوص.

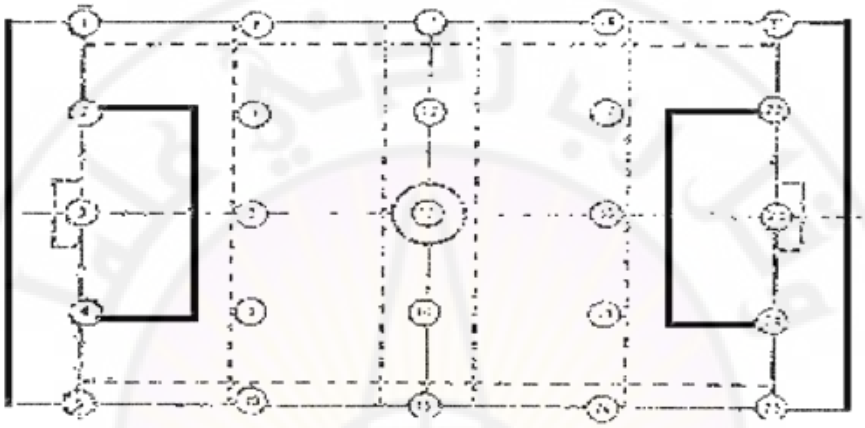
جدول (4-24) سويات الإنارة الأفقية في الاستادات

الشكل(4-53) نظام إنارة بعمود واحد

في هذا النظام يتم حساب ارتفاع العمود h من العلاقة (4-34).أما زاوية توجيه المنصة الحاملة للأجهزة الضوئية مبينة بالشكل(4-54).

الشكل(4-54) زاوية توجيه المنصة الحاملة للأجهزة الضوئية

تستخدم في حسابات سويات الإنارة في ملاعب كرة القدم طريقة (25) نقطة الفرنسية كما في الشكل (4-55)، أذ يتم حساب سوية الإنارة في النقاط المبينة على الشكل ثم تحسب سوية الإنارة الوسطية وعوامل الانتظام.



الشكل (4-55) طريقة 25 نقطة الفرنسية في حسب سويات الإنارة في ملعب كرة القدم

ويمكن استخدام الطريقة الألمانية ذات (48) نقطة والمبينة في الشكل (4-56) وذلك بموجب النظام DIN 6272 B1.2، إضافة إلى ذلك فقد أعطيت على الشكل أيضاً سويات الإنارة وعوامل الانتظام الواجب تأمينها لأغراض التصوير التلفزيوني الملون.



الشكل (4-56) طريقة 48 نقطة لحساب سوية الإنارة في ملعب كرة القدم(الطريقة الألمانية)

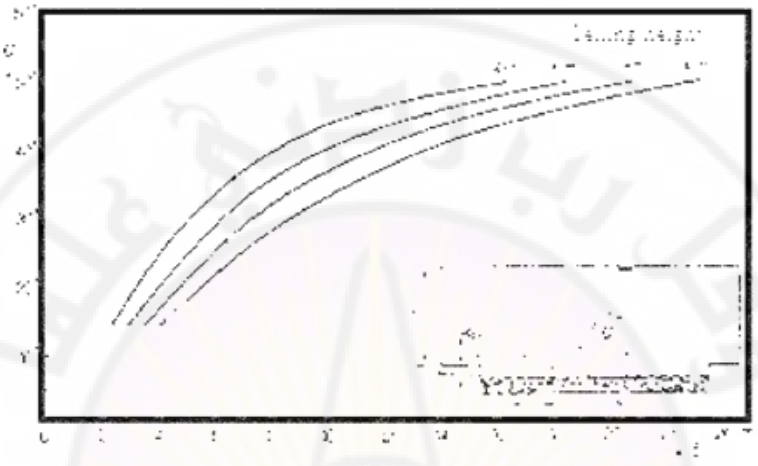
4-5-4 إنارة المسابح Lighting For Swimming:

من الناحية العملية يوجد نوعان من المسابح، المسابح الخارجية (المكشوفة) والمسابح الداخلية (المغلقة)، تختلف إنارة هذه المسابح حسب نوعها والغاية منها، فهناك المسابح المستخدمة لأغراض التدريب أو الاستجمام والتسلية، والمسابح المعدّة لإجراء المباريات. تزوّد مسابح المباريات بحوض غطس بالإضافة إلى حوض السباحة الرئيسي، مع مدرجات للمتفرجين، إذ يتم تصميم إنارتها لتتوافق مع متطلبات التصوير التلفزيوني. في جميع الأحوال يجب أن يكون نظام الإنارة المستخدم معداً لإعطاء شروط رؤية جيدة لكل من المتفرجين والسباحين ضمن الماء وخارجه مع تامين أجواء جذابة، كما ويجب أن يكون نظام الإنارة العامة متكاملا" مع نظام الإنارة تحت الماء ولا يتسبب في حدوث انعكاسات عن سطح الماء ويؤمن مشاهدة حركات السباحين ضمن الماء. توصي النظم العالمية بسويات إنارة دنيا بحدود 200 Lux للمسابح الخارجية والداخلية المعدّة للتدريب، أما المسابح المعدّة للمباريات فتصل إلى 500Lux للمسابح الداخلية و 300Lux للمسابح الخارجية مع تأمين انتظام $\frac{E_{min}}{E_{max}}$ لا يقل عن(1-1.5). ولندرس الحالات التالية:

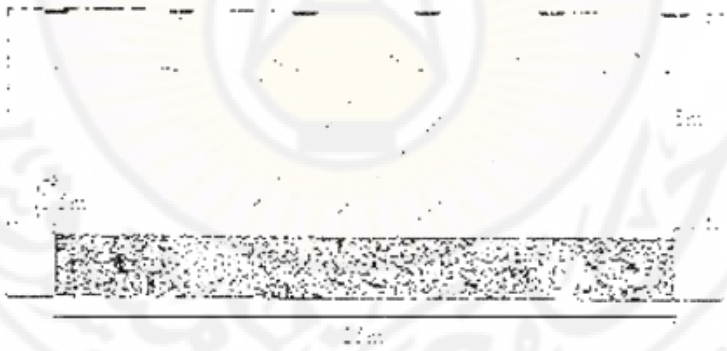
ا-المسابح الرياضية:

عند تصميم نظام إنارة في هذا النوع من المسابح يجب أن تراعى ناحية مهمة، هي أن الضوء الصادر عن جهاز الإنارة والمنعكس عن سطح الماء يجب أن لا يرتد إلى عين المشاهد الموجود على حافة المسبح. في حسابات سوية الإنارة نفرض أن عين المشاهد تبعد 1.6m عن الأرضية التي يقف عليها، وأن سطح الماء يبعد 0.4m عن أرضية المسبح. الشكل (4-57) يبين ذلك ويبين المنحنيات البيانية التي تعطي قيم الزاوية (α) التي يجب تحقيقها لتجنب الانعكاس إلى العين بدلالة البعد (d) وارتفاع السقف (h). الشكل (4-58) يبين إنارة مسبح مغلق بالأبعاد المبينة وقيم الزوايا (α)الموافقة لكل جهاز، إذ يجب ألا تصطدم الأشعة المنعكسة عن سطح الماء بعين المراقب الذي يقف عند حافة المسبح. تستخدم في الإنارة المباشرة لهذه المسابح مصابيح الفلوريسنت، ويعد

اللون 3000K هو اللون المفضل، كما تستخدم في الإنارة غير المباشرة مصابيح الميتال هاليد والصوديوم ذات الضغط العالي والهالوجين.



الشكل (4-57) منحنيات (α) بدلالة (d) وارتفاع السقف



الشكل (4-58) الزوايا المناسبة لتوجيه الأجهزة

من الناحية العملية يوجد عدة طرق لإنارة هذه المسابح من أهمها:

1-استخدام سقف مضيء على كامل المسبح ينار بوساطة مصابيح فلوريسنتية أنبوبية توضع على السقف مباشرة، هذا الحل جذاب ولكنه مرتفع الكلفة .

2-استخدام عدة أجهزة إنارة خطية مركبة على السقف في الاتجاه الطولي للمسبح مشكلة من أجهزة فلوريسنت محجوبة استطاعة الجهاز الواحد ($2\times65w$) أو ($4\times65w$). الشكل (4-59) يبين إنارة مسبح مزود بحوض غطس وسقفه على منسوبين. الجدول (4-25) يبين العلاقة بين ارتفاع السقف (h) عن سطح الأرض والتباعد (a) بين خطوط الأجهزة وذلك حسب نوع الجهاز المستخدم.



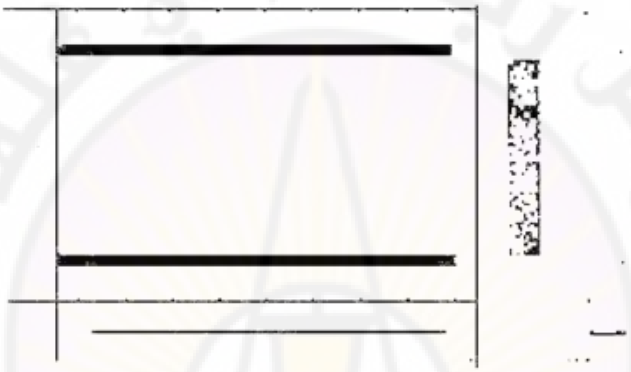
الشكل (4-59) إنارة مباشرة لمسبح داخلي استخدم فيه لتحقيق سوية الإنارة (250Lux)76 جهاز إنارة فلوريسنت ($4\times65w$)

جدول (4-25) علاقة التباعد بين خطوط الإنارة بالارتفاع

3-نظام إنارة غير مباشر باستخدام أجهزة إنارة موجهة مثبتة على الجدار. تستخدم في هذه الطريقة مصابيح الهالوجين باستطاعة 1000w أو أعلى، أو مصابيح الميتال هاليد

أو الصوديوم ذات الضغط العالي باستطاعة 400w أو أعلى. من ميزات هذا النوع سهولة الصيانة وعدم ظهور خيالات للأجهزة داخل الماء ولكنه يتطلب قاعة سباحة بقياسات مناسبة و إكساءات سقف معينة.

4- نظام إنارة مختلط (مباشر وغير مباشر) تستخدم فيه الإنارة المباشرة من الفلورسنت وغير المباشرة باستخدام projectors. الشكل (4-60) يبين هذا الأسلوب .



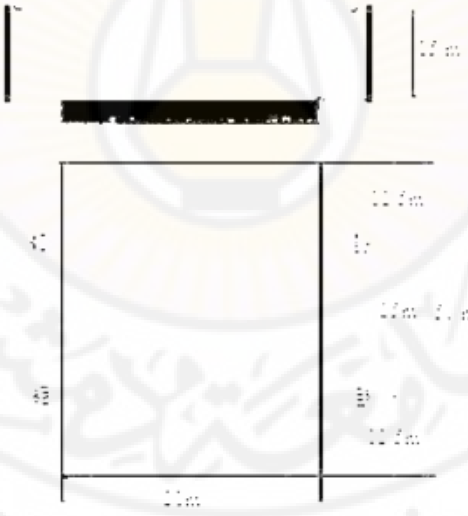
الشكل (4-60) إنارة مختلطة لمسبح داخلي

استخدم في إنارة هذا المسبح 36 جهاز إنارة فلورسنتي استطاعة الواحد 2×65w من أجل تحقيق سوية إنارة (250Lux)، بالإضافة إلى (18) جهاز هالوجين استطاعة الجهاز الواحد (1000w) وتعطي سوية إنارة (125Lux). لتحقيق سوية إنارة (500Lux) تضاعف استطاعة الأجهزة فلورسنت 4×65w، وتستخدم أجهزة هالوجين 2000w للجهاز الواحد.

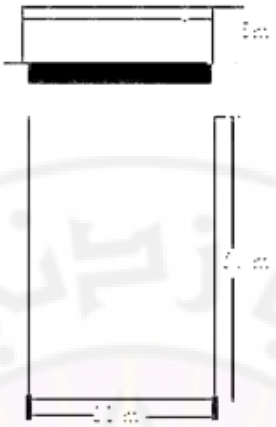
III-المسابح المكشوفة:

تستخدم طريقتين في إنارة هذه المسابح، في الأولى يتم تصميم نظام الإنارة باستخدام مصابيح الهالوجين أو الميتال هاليد المركبة على أعمدة موزعة على جانبي المسبح بارتفاع 12-23m، إذ يتم تركيبها على بعد (5m) من حافة المسبح كحد أدنى. عادة

تدرس كل حالة على حدة لتحديد ارتفاع العمود النهائي وموقعه، فمثلاً يتغير موقع العمود وارتفاعه عند وجود مدرجات للمتفرجين فيركب العمود في هذه الحالة خلف المدرجات ويكون بارتفاع عالٍ، ولتجنب الانعكاسات الضوئية التي يسببها سطح الماء للأشعة الضوئية الساقطة عليه يختار ارتفاع العمود حيث تكون زاوية شعاع الحزمة الضوئية لجهاز الإنارة الساقط على سطح الماء (الزاوية بين الشعاع الساقط وسطح الماء) كبيرة لتجنب إزعاج الجمهور. الشكل (4-61) يوضح هذا الأسلوب من الإنارة. يمكن أيضاً في إنارة هذه المسابح استخدام مصابيح الفلوريسنت الموزعة على شكل خطوط مستمرة في الاتجاه الطولي للمسبح وتكون معلقة على أمراس بارتفاع عن سطح الماء لا يقل عن(6m). من مساوئ هذ الطريقة صعوبة الصيانة وتبديل المصابيح علماً أنه يؤمن توزيعاً منتظماً للإنارة، كما أن الخطوط المستمرة تفيد في إرشاد اللاعبين للاتجاه الصحيح أثناء السباحة الخلفية على الظهر. الشكل (4-62) يوضح هذا الأسلوب.



الشكل (4-61)إنارة مسبح مكشوف باستخدام أربعة صواري كل صاري عليه أربعة أجهزة استطاعة الجهاز الواحد (2000 w) مصباح هالوجين أو (400 w) مصباح ميتال هاليد، سوية الإنارة المحققة (250Lux)، كثافة الفيض الضوئي المركب على سطح الماء $(700\,Lm/m^2)$.

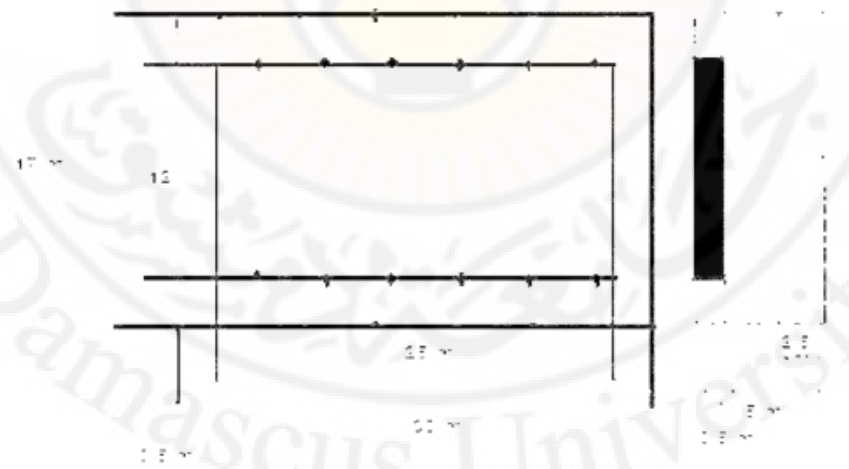


الشكل (4-62)إنارة مسبح مكشوف باستخدام خطوط إنارة مستمرة من أجهزة فلوريسنت مزودة بموزع نور عددها 120 جهازاً، استطاعة الجهاز الواحد $(4\times 65w)$، سوية الإنارة المحققة (250Lux)، كثافة الفيض الضوئي على سطح الماء $(1400-1500\,Lm/m^2)$.

IV- الإنارة تحت الماء Underwater Lighting:

تستخدم الإنارة تحت الماء من أجل تخفيف الانعكاسات الضوئية عن سطح الماء فهي تسبب إزعاجاً لكل من السباحين والجمهور، كما يعطي هذا النظام إمكانية مراقبة أداء السباحين تحت الماء من مدربيهم، بالإضافة إلى المظهر الجذاب لحوض السباحة. في هذا النظام تستعمل المصابيح المتوهجة كمصابيح الهالوجين ، الميتال هاليد ،أو بخار الصوديوم ذات الضغط العالي، ومن المفضل استخدام المصابيح الإنفراغية وليس المتوهجة. استطاعة المصابيح المستخدمة 1000W ميتال هاليد أو 400W بخار الصوديوم، كما يمكن استخدام المصابيح المتوهجة الصغيرة ذات العاكس باستطاعة 150-300W. توزع أجهزة الإنارة على الجانبين في الاتجاه الطولي للمسبح ، إذ يساعد هذا التوزيع على عدم إزعاج السباحين بالإضافة إلى تقصير مسافة اختراق الأشعة الضوئية ضمن الماء لتجنب الانبهار. الأجهزة المستخدمة من النوع ذي الحزمة الضيقة لتأمين اختراق أفضل للضوء ضمن الماء، وتركب الأجهزة على عمق 0.5-1.0m من سطح الماء . أما بخصوص المسابح العميقة أو في الأمكنة القريبة من حوض الغطس

فيركب صفان من أجهزة الإنارة، الصف الأول على عمق 0.5-1.0m والصف الثاني على عمق 3.0m من سطح الماء. في الإنارة تحت الماء نميز نوعين من التركيبات، الأول يسمى بالتركيب الرطب، حيث تركب أجهزة خاصة كتيمة مخفية في جدار المسبح ، والثاني يسمى التركيب الجاف حيث يزود المسبح بنفق خدمات يحيط به تركب فيه الأجهزة ،الأجهزة المركبة في النفق هي من النوع العادي ، وتركب في النفق خلف فتحات في جدار المسبح محمية بلوحة شفافة. من الناحية العملية يفضل النوع الثاني لسهولة الصيانة وسهولة توجيه الأجهزة. حتى يكون نظام الإنارة تحت الماء فعالاً ومقبولاً نحتاج إلى استطاعة مركبة كثافتها بالنسبة لسطح الماء تتراوح بين $(50-75\,w/m^2)$ وذلك عند استخدام المصابيح المتوهجة. وقد بينت التجارب العلمية في إنارة المسابح المعدة لأغراض المباريات أننا في حاجة إلى استطاعة دنيا تتراوح بين $(150-225\,w/m^2)$ عند استخدام المصابيح المتوهجة أو $(100\,w/m^2)$ عند استخدام مصابيح الميتال هاليد، ويمكن في الأحواض الصغيرة الاكتفاء بـ $(100\,w/m^2)$ متوهج . الشكل (4-63) يبين هذا الأسلوب من الإنارة بالإضافة إلى الإنارة العامة.



الشكل (4-63) إنارة مسبح تحت الماء باستخدام 15 جهاز إنارة فائضة من كل جانب استطاعة كل جهاز 1000w هالوجين أو 400 ميتال هاليد بالإضافة إلى إنارة عامة غير مباشرة، علما أن الأبعاد مقدرة بالمتر

4-5-5 تطبيقات:

تطبيق 1:

لدينا واجهة بناء مكسو بحجر رمادي اللون كما في الشكل (4-64) ارتفاعها 24m وعرضها 30m . لقد تم تشييد البناء على مسافة 24m من الطريق العام وهذا البناء موجود في حيز مظلم وقد تمت إنارة الواجهة بطريقة تم فيها تحقيق سوية إنارة مقدارها 60Lux. لنفرض أن الأجهزة وضعت في حديقة البناء، وأمام الواجهة مباشرة حيث إن البقع الضوئية المتشكلة على الواجهة دائرية الشكل وإن قيمة عامل الاستخدام $(\eta = 0.5)$ وعامل الصيانة $(\mu = 0.7)$ وعامل تقادم الأجهزة $(\alpha = 0.8)$. المطلوب:

1- حساب عدد الأجهزة المستخدمة.

2- عرض الحزمة الضوئية لكل جهاز.

الشكل (4-64) تشابك بقع الضوء على سطح الأجهزة

الحل:

1- نحسب عدد الأجهزة أولاً حسب طريقة اللومن:

$$N = \frac{60 \times 30 \times 24}{0.5 \times 0.7 \times 0.8 \times 18900} = 8.15 \approx 8$$

ولنفرض أننا استخدمنا أجهزة استطاعة 1000 w ذات فيض ضوئي 18900 Lm

$$\Rightarrow N = \frac{154305}{18900} = 8.15 \approx 8$$

ولتأمين التغطية اللازمة سوف يتم تقسيم الواجهة كما في الشكل (4-65). من الشكل:

$$\sqrt{(8)^2 + (10)^2} = 12.8\,m$$

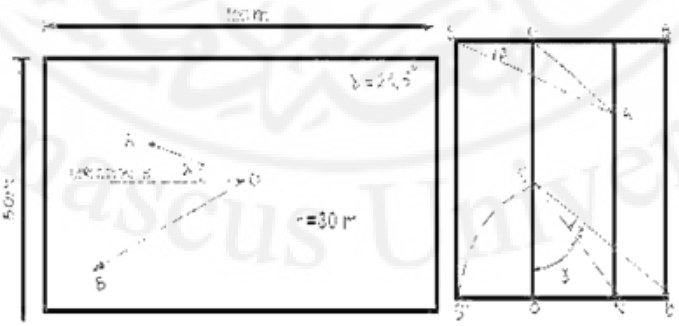
لتحديد عرض الحزمة نفترض أن الأجهزة وضعت على بعد 24 m من الواجهة والبقع على الواجهة دائرية الشكل:

$$\tan \beta/2 = \frac{6.4}{24} \Rightarrow \beta/2 = 15^\circ \Rightarrow \beta = 30^\circ$$

وهذا الحل هو تقريبي إن تم افتراض أن البقع الضوئية دائرية الشكل وأن الحزمة مسلطة بطريقة عمودية على الواجهة المنارة.

تطبيق 2:

عمود ارتفاعه 30m وضع في مركز ساحة موقف سيارات أبعادها $(50\,m \times 100\,m)$. احسب سوية الإنارة الأفقية والعمودية في النقطة A باتجاه العمود، وسوية الإنارة العمودية في الاتجاه a للمنبع الضوئي والموجه إلى B حيث المسافة OA=25 m، OB=30m كما في الشكل(4-65).



الشكل (4-65) الرسم التوضيحي للمثال

الحل:

من الجداول يمكن معرفة قيم كل من الزوايا γ, β, B وهي:

$$\gamma = 29^\circ , \beta = 28^\circ , B = -16^\circ$$

بالاعتماد على هذه القيم وباستخدام الجداول يمكن إيجاد الشدات الضوئية التالية:

$$I(B=-15, \beta=20) = 327\,cd, I(B=-15, \beta=30) = 261\,cd$$

$$I(B=-20, \beta=20) = 277\,cd, I(B=-20, \beta=30) = 221\,cd$$

لحساب شدة الإنارة للزاوية $B=15^\circ$ والزاوية $\beta=28^\circ$ فإنه يجب إجراء تقريب :

$$I(B=-15, \beta=20) = 327 \quad , I(B=-15, \beta=28) = 275\,cd$$

$$I(B=-15, \beta=30) = 261 \quad , I(B=-16, \beta=28) = 266.5\,cd$$

$$I(B=-20, \beta=20) = 277 \quad , I(B=-20, \beta=28) = 232\,cd$$

$$I(B=-20, \beta=30) = 221$$

وهذه القيمة مأخوذة من أجل سيالة ضوئية 1000Lm ولذلك يجب أن نضرب بالرقم 480 حيث تكون السيالة الضوئية للمصباح من نوع MAIH50000 هي $\Phi = 480000$ وبالتالي سوية الإنارة الأفقية والعمودية يمكن أن تحدد كالتالي:

$$E_H = \frac{I.Cos^3 3.Cos^3\gamma}{H^2} = \frac{266.5 \times 480.(0.88)^3.(0.87)^3}{(30)^2} = 65.46$$

$$E_V = \frac{I_A Cos^2\beta - Cos^2\gamma.Son\left[arc\,Cos(\cos\gamma)\right]}{H^2}$$

$$E_V = \frac{266.5.480.(0.88)^2.(0.87).Son\left[arc\,Cos(0.77)\right]}{(30)^2} = 53.32$$

من الشكل (4-66) إن الزاوية δ تساوي 23.5،وبالتالي السوية في الاتجاه a هي:

$$E_{ad} = E_v \, Cos\delta = 53.32.Cos23.5 = 49.05$$

فإذا كان هناك تقارب في النتيجتين تم قبول النتيجة وإلا نلجأ إلى اختيار أجهزة جديدة ثم إعادة الحساب. إن الدقة ما بين نتيجة العلاقة الأولى والثانية هي (2) جهاز.

وقل رب زدني علما
Damascus University

الباب الثاني

الشبكات في المباني ومنابع التوليد الاحتياطية

Buildings Networks and Reserve Sources

سوف نتطرق في هذا الباب إلى مواضيع تصميم شبكات التيار القوي في المباني والمنشآت الصناعية، بالإضافة إلى أسس تصميم الدارات الخدمية في المنشآت، كما سنشرح منابع التوليد الاحتياطية والشبكات الداعمة وذلك من خلال ثلاثة فصول هي التالية :

الفصل الأول : شبكات التغذية الكهربائية في المباني والمنشآت الصناعية

الفصل الثاني :الشبكات الخدمية

الفصل الثالث :منابع توليد الطاقة الكهربائية الاحتياطية

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الأول

شبكات التغذية الكهربائية في المباني والمنشآت الصناعية

Electrical Circuits in Buildings & Industrial institution

1-1 مقدمة: Introduction

يمكن التمييز من الناحية العملية بين نوعين من الدارات الكهربائية الداخلية في المباني، النوع الأول يعمل على توزيع القدرة الكهربائية وإيصالها إلى جميع الأجهزة والمآخذ في المبنى، هذا النوع من الدارات يسمى دارات التيار القوي، أما النوع الثاني فيعمل على توزيع إشارات الإرسال التلفزيوني والراديوي والإنذار عن الحريق والكومبيوتر، هذا النوع من الدارات يسمى دارات التيار الضعيف. في هذا الفصل سوف نستعرض الأسس العامة لتصميم دارات التيار القوي في المباني والمنشآت الصناعية .

[29],[30],[32],[48],[50],[57],[77],[81],[83],[89],[93],[103]

1-2 أسس تصميم دارات التيار القوي في المباني العامة:

Basic design of strong current circuit in general Building

إن دراسة مشروع تغذية كهربائية لمباني عامة لابد أن يتضمن إنجاز النقاط التالية:

آ-حساب استطاعة الأحمال :

تحسب استطاعة الأحمال الكهربائية عن طريق الجمع الجبري لاستطاعات أحمال الإنارة والمآخذ في كل حيز. الجدول (1-1) يبين طريقة تنظيم الحسابات في مبنى طابقي:

جدول(1-1)طريقة تنظيم حساب استطاعة الأحمال في طابق واحد من مبنى

رقم الشقة	رمز المكان	الأبعاد /// × ///	سوية الإنارة	عدد المصابيح	عدد المآخذ	الإستطاعة [W] إنارة	الإستطاعة [W] مآخذ
1	R1						
	R2						
	R3						
	مجموع استطاعات الإنارة والمآخذ						
الاستطاعة الإجمالية للشقة الواحدة= مجموع استطاعات الإنارة × 0.8+مجموع استطاعات المآخذ							

في الجدول نميز ما يلي : ×

R: رمز الغرفة أو المكان من الشقة الواحدة

0.8: عامل الاستعمال لأحمال الإنارة في الشقة الواحدة.

0.4: عامل استعمال لأحمال المآخذ في الشقة الواحدة.

الجدول (1-1) يبين تنظيم حسابات الاستطاعة لشقة واحدة ، ثم يتابع بالجدول شاقولياً لحساب بقية الشقق على الطابق الواحد. ولحساب الاستطاعة الإجمالية للمبنى نستخدم العلاقة التالية : *الاستطاعة الإجمالية للمبنى= مجموع استطاعات الطوابق ×عامل التباين* .

يتم تحديد قيمة عامل التباين من الجدول (1-2) حسب عدد الشقق في الطابق الواحد .

جدول(1-2) قيم عامل التباين

Number of downstream consumers	Factor of simultaneity (ks)
2 to 4	1
5 to 9	0.79
10 to 14	0.63
15 to 19	0.53
20 to 24	0.49
25 to 29	0.46
30 to 34	0.44
35 to 39	0.42
40 to 49	0.41
50 and more	0.40

الشكل(1-1) يبين مثالاً لطريقة حساب عامل التباين في مبنى عام مؤلف من أربعة طوابق تحوي عدد غير متماثل من الشقق وبالتالي أحمال كهربائية غير متساوية.

الشكل(1-1) طريقة حساب عامل التباين في مبنى طابقي .

إن قيم عوامل الاستعمال والتباين أعلاه حددت حسب المواصفة العالمية:IEC60364 .

ب- الأسلاك والكابلات -مقاطعها -قواعد تمديدها:

تستخدم في تنفيذ دارات التيار القوي أسلاك نحاسية بمقاطع $1.5 - 2.5 - 4 - 6\,mm^2$، إنما المقاطع الرئيسة المستخدمة على نطاق واسع هي $2.5 - 4\,mm^2$، حيث يحدد التيار الذي يحمله المقطع $1.5\ mm^2$ بـ 10A في درجة حرارة محيطه قدرها (35-40)، أما المقطع $2.5m^2$ فيحمل نحو 16 A والمقطع $4\ mm^2$ بـ 20 A والمقطع $6\ mm^2$ بـ 25 A وذلك في درجات حرارة محيطه ما بين (35-40). إن قيم هذه التيارات تقابل القيم الإسمية للقواطع التي تستخدم في دارات التيار القوي. ومن أهم الأمور التي يجب مراعاتها أثناء تصميم دارات التيار القوي في مبنى ما يلي:

1- الحفاظ ما أمكن على توزيع متساوٍ للأحمال على الأطوار الثلاثة المغذية للمبنى.

2- أن لا يتجاوز هبوط التوتر القيمة (3-5%) من التوتر الاسمي على طول المسار للسلك أو الكابل . إن هبوط التوتر في الدارات أحادية الطور يحسب من العلاقة:

$$\sum\% = \frac{\Delta V}{V} = \frac{I.R.\cos\varphi + I.X.\sin\varphi}{V} \times 100 \qquad (1-1)$$

وعادةً عند حساب هبوط التوتر النسبي المئوي يمكن إهمال الحدّ $I.X.\sin\varphi$ ومنه فإن العلاقة:

$$\sum\% = \frac{\Delta V}{V} = \frac{I.R.\cos\varphi}{V} \times 100 \qquad (1-2)$$

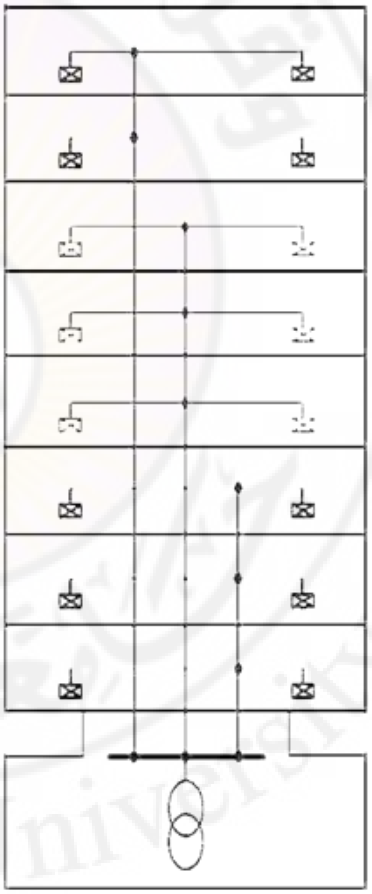
في العلاقة (1-2) قيمة المقاومة R تمثل:

- مقاومة السلك في الذهاب والإياب في الدارات أحادية الطور.
- مقاومة السلك في الذهاب فقط بالنسبة للدارات ثلاثية الطور.

3- عند حساب هبوط التوتر في الدارات الثلاثية الأطوار يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار حالة تشغيل أحد الأطوار فقط مع إبقاء الطورين الآخرين بدون عمل، في هذه الحالة يجب حساب هبوط التوتر في الذهاب والإياب (حساب قيمة المقاومة R في الذهاب والإياب)، كما هي الحال في الدارات أحادية الطور.

4- تحسين عامل الاستطاعة حيث يصل إلى حدود 0.9 وذلك بإضافة مكثفات إلى أجهزة الإنارة المختلفة التي تتطلب ذلك.

5- توزيع المبنى إلى مناطق كهربائية بشكل أفقي طابقي أو عمودي وذلك بغية تسهيل تصميم اللوحات الكهربائية لكل منطقة واللوحة الرئيسة للمبنى بكامله. وهنا توجد عدة استراتيجيات للتوزيع تتراوح ما بين البساطة والتعقيد ، الأشكال التالية تبين تلك الاستراتيجيات.



الشكل(1-2) توزيع الطوابق على الأطوار الثلاثة



الشكل(1-3) توضع علب التوزيع الفرعية والرئيسية

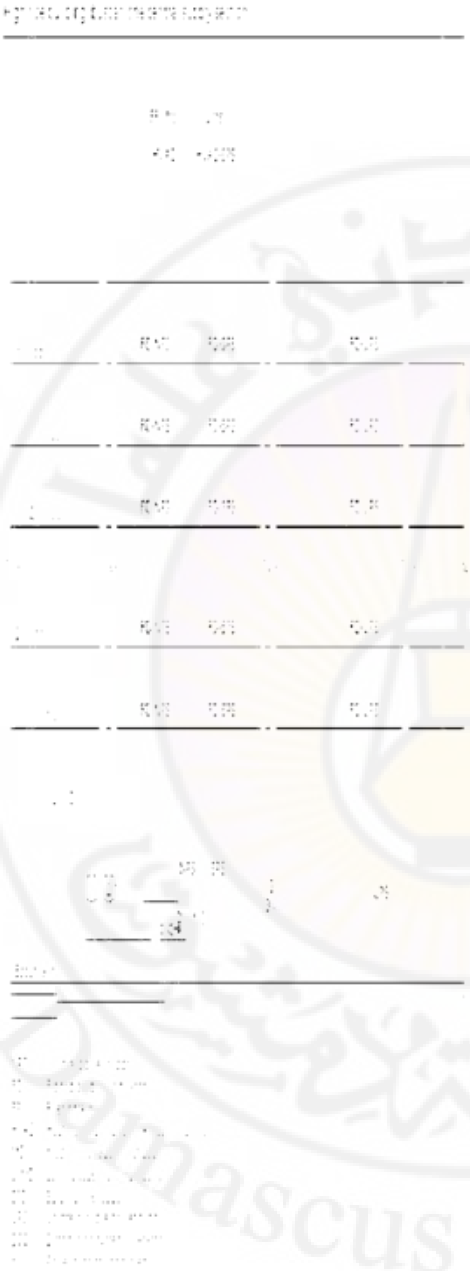


الشكل(1-4) توزيع من باسبار واحد بالإضافة إلى مجموعة توليد احتياطية ومجموعة UPS.

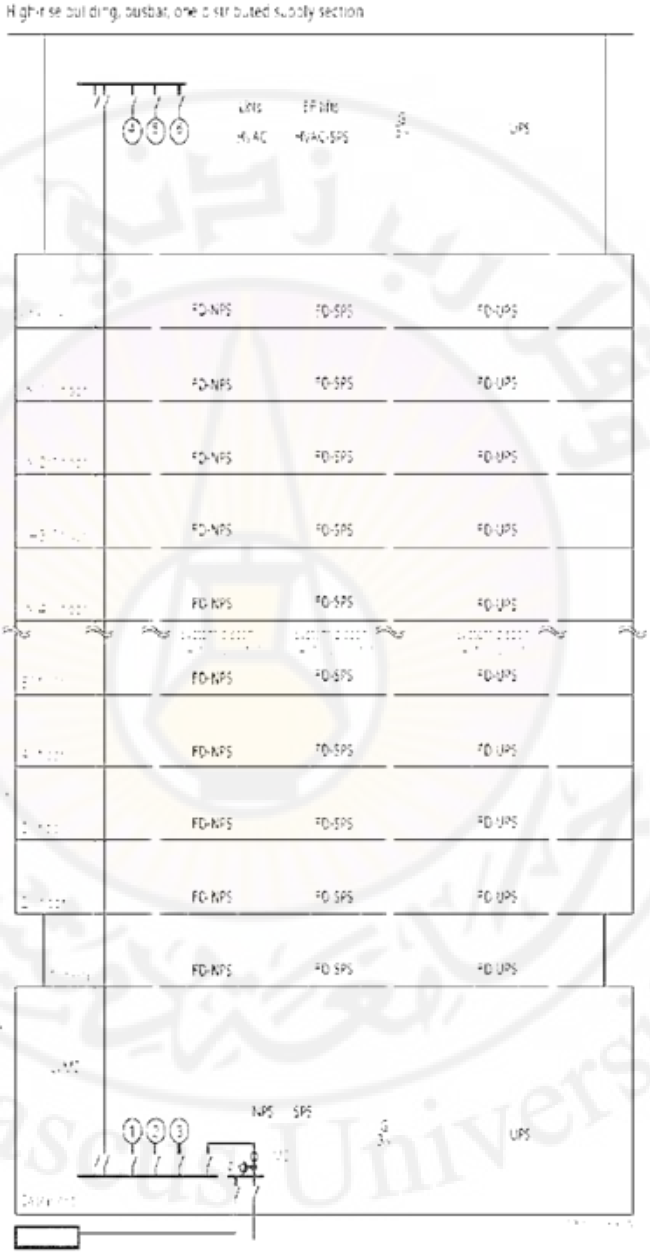
الشكل(1-5) توزيع من باسبارين بالإضافة إلى مجموعة توليد احتياطية ومجموعة UPS.



الشكل(1-6) توزيع من باسبار واحد مجموعة توليد ومجموعة UPS.



الشكل(1-7) توزيع من مصدرين بالإضافة إلى مجموعة توليد احتياطية ومجموعة UPS.



الشكل(1-8) توزيع من مصدرين بالإضافة إلى مجموعة توليد احتياطية ومجموعة UPS.

تمدد كابلات التوزيع الصاعدة من الطابق الأرضي إلى الطوابق الأعلى خلال فتحات خاصة بالبناء معدة لهذا الغرض (مناور)، حيث يوجد في هذه الفتحات سلالم معدنية مثبتة على الجدران على طول البناء تثبت عليها الكابلات . الشكل(1-9- آ- ب) يبين مقاطع لهذه السلالم .



(آ) (ب)

الشكل(1-9) نماذج السلالم المعدنية

ج- تصميم اللوحات الكهربائية:

تستخدم اللوحات المعدنية من أجل التحكم بتوزيع الطاقة داخل الشقق السكنية والمباني . تعرف اللوحات بعدد القواطع التي تتسع لها، وتصنع الصغيرة منها التي تستخدم في المنازل أو المكاتب من مادة البلاستيك وتملك غطاء" ملونا" يجعل منظرها جميلا ،أما اللوحات الفرعية ذات الحجم الأكبر المستخدمة لتوزيع الطاقة الكهربائية في الطوابق فتكون معدنية مطلية بطلاء جيد مقاوم للعوامل الجوية. إن أهم مكونات اللوحة الكهربائية بصورة عامة هي:

-مصابيح الإشارة.

-قاطع رئيس للشقة بكاملها وعياره يكون بحدود A (30-25).

-قواطع خاصة بالمآخذ الكهربائية A 20-16 وبعضها قواطع تفاضلية.

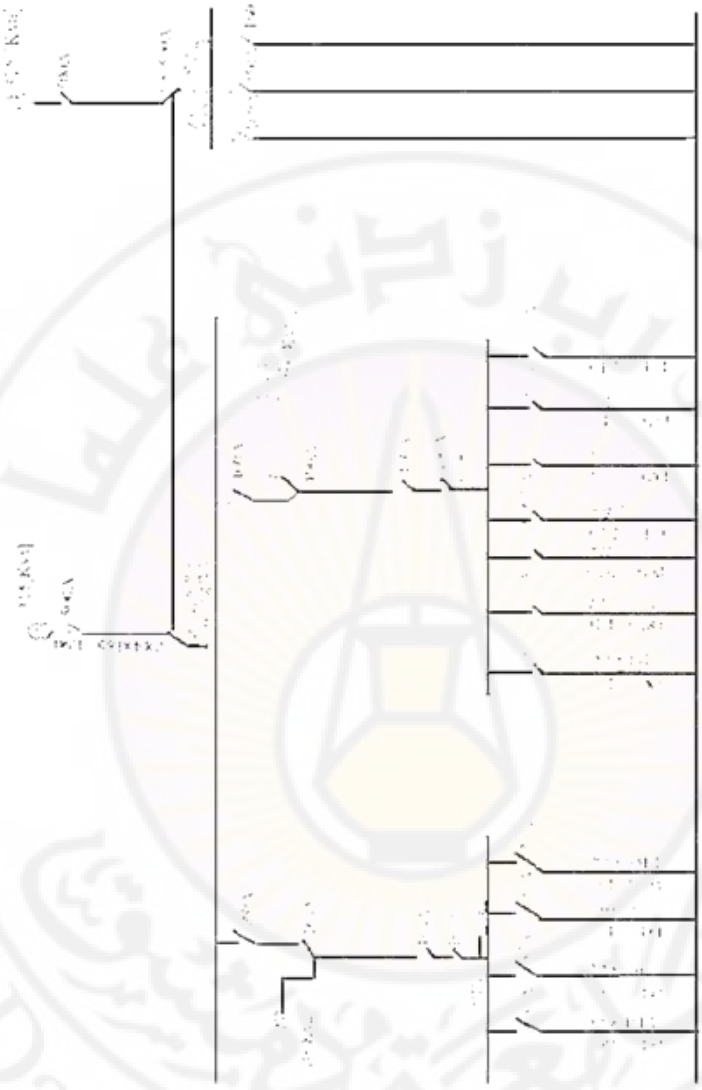
-قواطع خاصة بالإنارة A 10.

إن توزيع القواطع داخل اللوحة على الدارات الكهربائية يتم كما يراه المهندس المصمم مناسباً. الشكل (1-10) يبين مخطط عام للوحة توزيع كهربائية فرعية.



الشكل(1-10) مخطط توزيع لوحة في فرعية

في المباني متعددة الطوابق وكما أسلفنا يجب تقسيم المبنى إلى عدة مناطق كهربائية لكل منها لوحة كهربائية فرعية خاصة بها. اللوحات الفرعية هذه تغذى من لوحة كهربائية رئيسة توجد عادةً في الطابق الأرضي وقريباً من مدخل البناء. الشكل (1-11) يبين مخططاً عاماً للوحة رئيسة مغذية لمبنى تتغذى من مصدرين.



الشكل (1-11) مخطط عام للوحة رئيسة مغذية لمبنى

: قاطع حراري مغناطيسي ثلاثي الطور.

: قاطع حراري مغناطيسي أحادي الطور.

: مصباح إشارة.

NYA, NYY: نوع السلك أو الكابل.

د- حساب مقاطع كابلات التوتر المنخفض واستطاعة المحولة :

إن حساب مقاطع كابلات التوتر المنخفض التي تصل بين اللوحة الرئيسية والمحولة، بالإضافة إلى تقدير استطاعة المحولة ومواصفات مركز التحويل ستبحث بالتفصيل في الفصلين الثاني والثالث من الباب الثالث في هذا الكتاب.

هـ- قواعد يجب مراعاتها عند تنفيذ التمديدات الداخلية في المباني:

1- تقسيم التمديدات بصورة ملائمة بغية السهولة في تحديد منطقة العطل وتنفيذ أعمال التتبع والصيانة.

2- تنظيم الدارات في التمديدات ثلاثية الطور حيث توزع الحمولات فيها على الأطوار الثلاثية بصورة متساوية.

3- يجب أن تكون التمديدات المغذية للمآخذ مستقلة عن تمديدات الإنارة العادية إلا إذا دلت المخططات صراحة على خلاف ذلك ، أما تمديدات التيار الضعيف فتكون مستقلة تماماً وبعيدة عن تمديدات شبكات الإنارة والمآخذ بمسافة لا تقل عن5 cm.

4- يجب أن يتم توصيل النواقل فيما بينها أو مع جهاز توصيلا" يؤمن تلامساً جيدا".

5- يجب أن يتم تمديد الأسلاك بعناية وذلك لعدم تعريضها لأي عطب ميكانيكي، والتقيد بأقطار الأنابيب (التيب)المناسبة لعدد الأسلاك وأقطارها.

6- يجب أخذ الاحتياطات الكافية لمنع تسرب الرطوبة داخل الأجهزة والقواطل وخاصة عند التمديدات والأجهزة الخارجية.

7-عند منطقة فواصل تمدد البناء يجب أن تفصل القواطل عن بعضها مسافة 5Cm وتغطى بوصلة بطول 20 Cm على الأقل حتى يمكنها التمدد بسهولة.

8- تثبت القواطل بوساطة مثبتات خاصة بعجينة إسمنتية ، وتحدد نقاط التثبيت حسب طبيعة القسطل مع الانتباه إلى عامل التمدد لهذه القواطل، ولا يجوز استعمال الجبس في أعمال التثبيت كما يجب ألا يقل بعد مستوى القسطل عن سطح الجدار عن 1.5 Cm.

9- عند الضرورة القصوى يمكن أن تركب القواطل الفولاذية تحت الأرضيات بعد لفها بطبقتين من الخيش والزفت أو القماش المشبع بالبيتومين.

10- قبل تركيب النواقل تسد فوهات القواطل من الطرفين لمنع دخول الأتربة إليها.

11- تحدد مواقع المفاتيح والمآخذ حسب طبيعة المكان وحسب اتجاه قفل الأبواب ووضع الأثاث والتركيبات الأخرى كالمشعات حيث لا يكون هناك تعارض أو وضع غير مقبول للأجهزة الكهربائية.

12- تنظيف نهايات القساطل وتسنن الفولاذية منها بوساطة آلة خاصة وتوضع أكمام نحاسية في نهاية كل قسطل داخل إلى لوحة توزيع، عند خروج الكابل أو السلك من القسطل فيجب أن تكون نهاية القسطل غير حادة ومحاطة بمادة عازلة كالمطاط.

13- لا يجوز تثبيت القساطل على الجدران بوساطة الطينية فقط، إذ يجب أن يتم التثبيت بوساطة مرابط خاصة، ولا يجوز استعمال هذه القساطل كأداة حمل أو ارتكاز.

14- يجب أن لا تتعارض تمديدات القساطل مع أي تمديدات أخرى، وعلى المنفذ إجراء الاحتياطات اللازمة للمحافظة عليها بعزلها، أو اختيار طريقة لإبعاد الخطر عنها .

15- يجب تجهيز أمكنة لعلب الوصل في البيتون والجدران قبل صب البيتون أو بناء الجدران .

16- تثبت علب التوصيل والمفاتيح وما يتعلق بذلك قبل الطينة، وتكون أبعاد علب التوصيل متساوية ، وحيث لا يزيد البعد بين عملية توصيل وأخرى عن (9-10)m، كما أن ارتفاعها عن سطح البلاط يجب أن يكون متساوياً.

17- لا يجوز تركيب علبة التوصيل أو هياكل لوحات التوزيع قرب المياه والأماكن الرطبة أو النار أو المواد المشتعلة.

18- يجب أن تكون أغطية علب التوصيل الخارجية واللوحات على مستوى الطينة تماماً، كما يجب أن تكون مثبتة تثبيتا" متينا" وأنيقا" لا يشوه منظر الجدار.

19- يكون ارتفاع مراكز علب المفاتيح عن مستوى سطح البلاط نحو 110Cm وعن حافة الباب أفقياً نحو 15Cm وعلى عكس اتجاه فتح الباب، كما يكون ارتفاع مراكز علب المآخذ المختلفة وكباسات الأجراس 30Cm . إن هذه المقاييس قابلة للتغيير إذا طلب المهندس الكهربائي المشرف ذلك لأسباب خاصة يعود تقديرها له وحده.

20- يجب أن يتم تركيب المفاتيح والمآخذ المختلفة ولوحات التغذية المختلفة بعد الانتهاء من الدهان، ويجب أن تكون نظيفة وخالية من الغبار والأوساخ.

21- يجب التقيد التام باستعمال ألوان النواقل وربطها بالأطوار ولوحات التوزيع الفرعية والرئيسة والمفاتيح والمآخذ طبقاً لما يلي:

- طور رقم 1 (أصفر).
- طور رقم 2 (بنفسجي).
- طور رقم 3 (أخضر).
- الحيادي N (رمادي).
- الأرضي E (أحمر).

أو حسب أي مواصفات عالمية أخرى مثل (IEC) أو (VDE).

22- يمنع منعاً باتاً وصل النواقل داخل القساطل (التيب)مهما كانت طريقة الربط، ولا يجوز الربط إلا في علب التوصيل وعلب المفاتيح والمآخذ وفوهات التوزيع بواسطة مرابط خاصة ومعزولة ومثبتة في علب التوصيل وبالسعة المناسبة لمقاطع النواقل.

23- يجب أن تكون جميع النواقل والأسلاك الكهربائية الواصلة بين المفاتيح في لوحة التوزيع ومصدر الكهرباء أو لوحة التوزيع الفرعية ودوائر الكهرباء مرتبة ترتيباً" يسهل فيه متابعتها وتثبيتها حيث لا تتدلى النواقل خلف اللوحة، ويجب ألا تكون هذه النواقل معرضة لأي ضغوط ميكانيكية تحت أي ظروف.

23- تربط نواقل التأريض والحماية الواصلة من كل مأخذ أو مخرج كهربائي إلى لوحة التوزيع الفرعية واللوحات الفرعية واللوحة الرئيسة وبارات التأريض بواسطة مرابط خاصة لا تسمح تحت أي ظروف بأي فصل التماس.

24- تثبت مرابط النواقل وعوازلها داخل التوصيل تثبيتاً" متيناً" وبسيطاً" يسهل معه فك أو ربط الأسلاك والنواقل دون التعرض للخطر أو إجراء أي تماس بين الأسلاك نفسها وبينها وبين العلبة.

25- تربط أسلاك المآخذ والمفاتيح بوساطة براغٍ أو مرابط خاصة تضمن تماساً" كاملاً" مع سطح الموصل.

26- يجب تمديد النواقل داخل القساطل بين علب التوصيل حيث لا تكون مشدودة شداً قوياً على أن يكون الاتصال الكهربائي في مرابط العلب والأسلاك متيناً.

27- تقارب التمديدات الكهربائية مع تمديدات محظورة:

- حين تتقارب تمديدات كهربائية مع تمديدات أخرى يجب الإبقاء على مسافة دنيا بينها لا تقل عن 5 Cm.

- يجب إبعاد التمديدات الكهربائية عن تمديدات التدفئة المركزية أو الهواء الساخن أو المداخن حتى لا تتأثر بالحرارة .

2-1 أسس تصميم دارات التيار القوي في المنشآت الصناعية :

Basic design of strong current circuit in industrial institutions

في المنشآت الصناعية يمكن التمييز بين الدارات التالية :

1- دارات تغذية الإنارة :

لا تختلف دراسة دارات الإنارة في المنشآت الصناعية عن ما ورد في الفقرة (1-2) من هذا الفصل، إلا أن الأسلاك هنا تمدد خارجيا في معظم المنشآت، حيث تستخدم صوان معدنية خاصة ذات أبعاد تختلف حسب عدد الكابلات.

الشكل(1- 12) يبين الأشكال المقاطع المختلفة لهذه الصواني.

الشكل(1-12) مقاطع الصواني المعدنية المعدة لتمديد الكابلات فوقها.

2- الدارات المغذية للآلات :

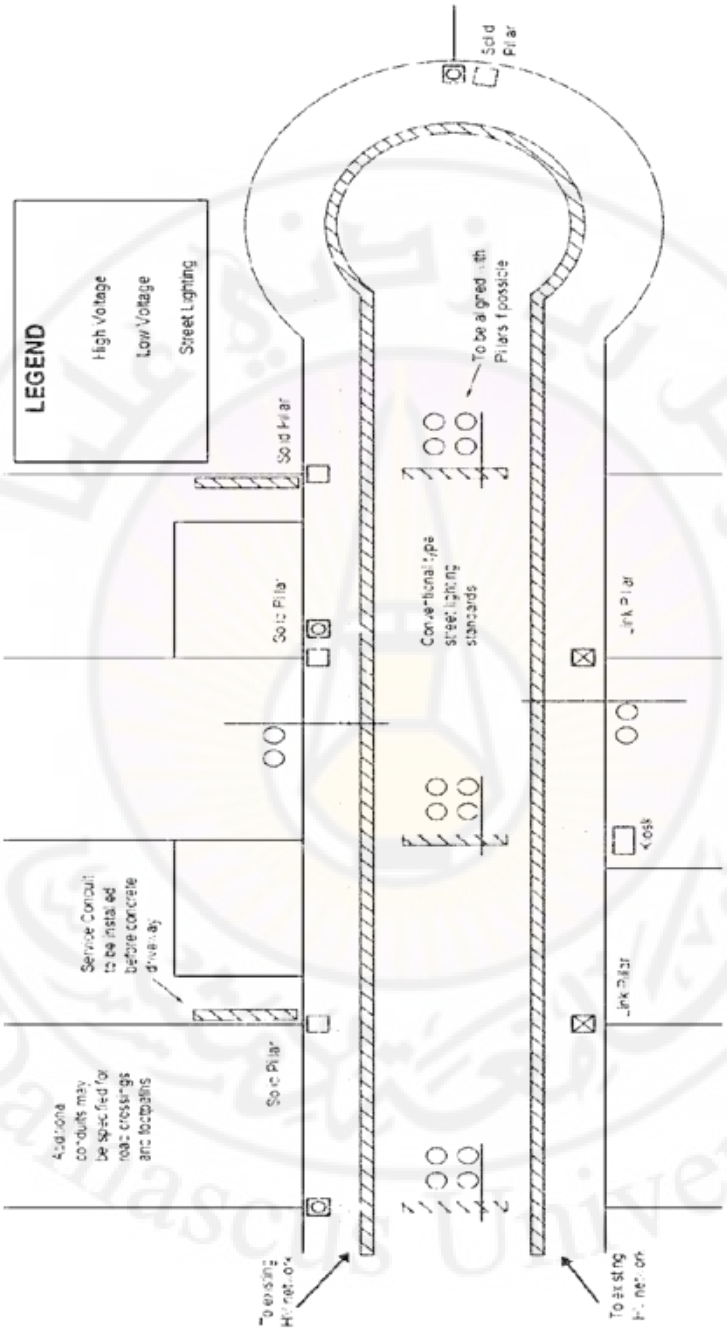
من المفضل استخدام كابلات من نوع XLPE ذات التسليح القوي في الدارات المغذية للآلات الكهربائية، وذلك لأن هذه الكابلات قد تتعرض إلى أخطار صدمات ميكانيكية في ظروف العمل في الورش الصناعية، أو تستخدم أحيانا الباسبارات العارية. في جميع الحالات من الجدير التذكير بالملاحظات التالية عند حساب البارامترات الكهربائية:

- إن حساب مقطع الكابل للمحرك يتم على أساس تيار الإقلاع للمحركات (3-5) أضعاف التيار الاسمي .
- عند التأكد من صحة اختيار المقطع على أساس شرط هبوط التوتر تؤخذ قيمة عامل الاستطاعة مساوية إلى 0.35 .
- عند حساب استطاعة المحولة تؤخذ بعين الاعتبار العلاقة التالية :

التيار الكلي = تيار إقلاع أكبر محرك + مجموع التيارات الاسمية لبقية المحركات وذلك بشرط الإقلاع المتسلسل للمحركات .

- استطاعة المحولة يجب أن تكون أكبر من استطاعة الحمل بقليل بسبب تيارات الإقلاع الكبيرة للمحركات ، وكذلك وجود حالات إقلاع متكرر.
- استطاعة مجموعة التوليد الاحتياطية يجب أيضا أن تكون أكبر من استطاعة الحمل (1.3-1.25) من استطاعة الحمل الإسمية .

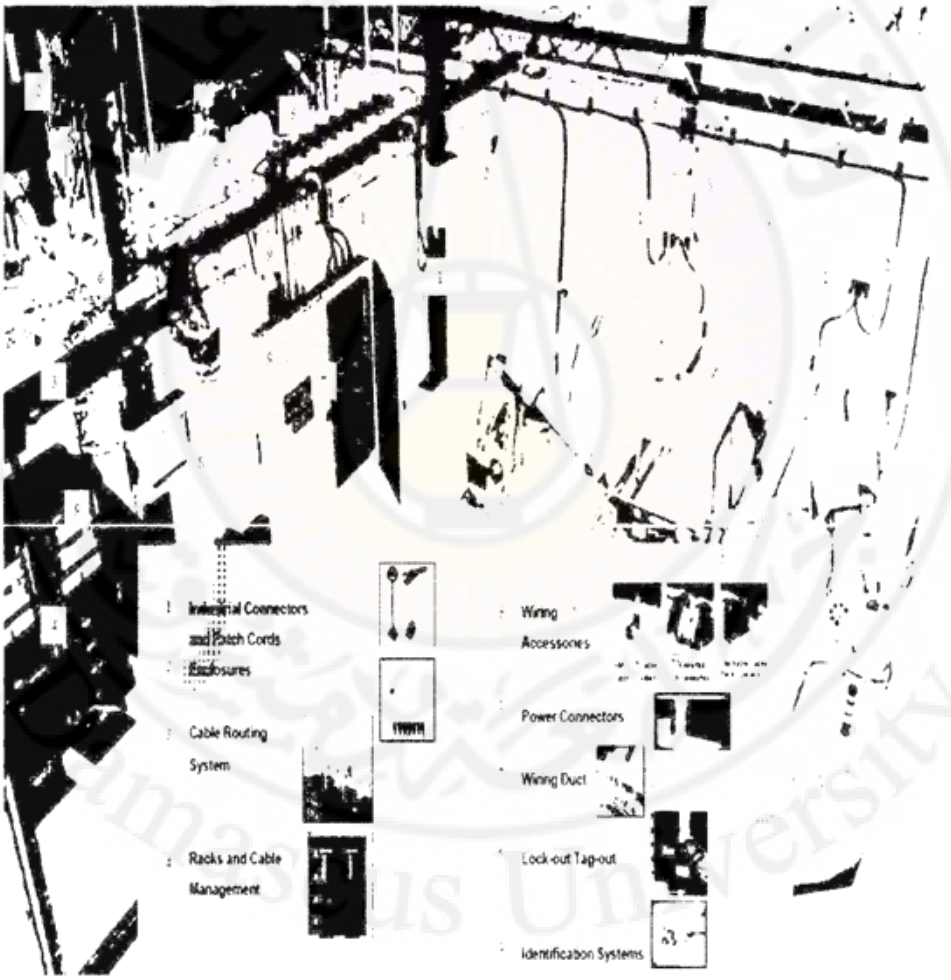
يتم تمديد الكابلات أو الباسبارات العارية المغذية للآلات في أقنية إسمنتية أبعادها لا تقل عن $50 \times 50 cm$ تمدد فيها الكابلات إما مباشرة على أرضية القناة أو على حوامل معدنية مثبتة على جدران القناة. بالإضافة إلى الكابلات والباسبارات تمدد في هذه الأقنية كذلك نواقل التأريض. مسار هذه القناة تفرضه طبيعة توزع الآلات في المنشأة ، ولكن في كل الحالات يجب أن يمر مسار القناة بمحاذاة قاعدة الآلة . الشكل(1-13) يبين نموذج لمسار قناة إسمنتية. خط التوتر العالي المشار إليه موجود بسبب وجود محركات توترها الاسمي أعلى من 1kv كأن تكون 3.3 kv أو 6.6 kv .



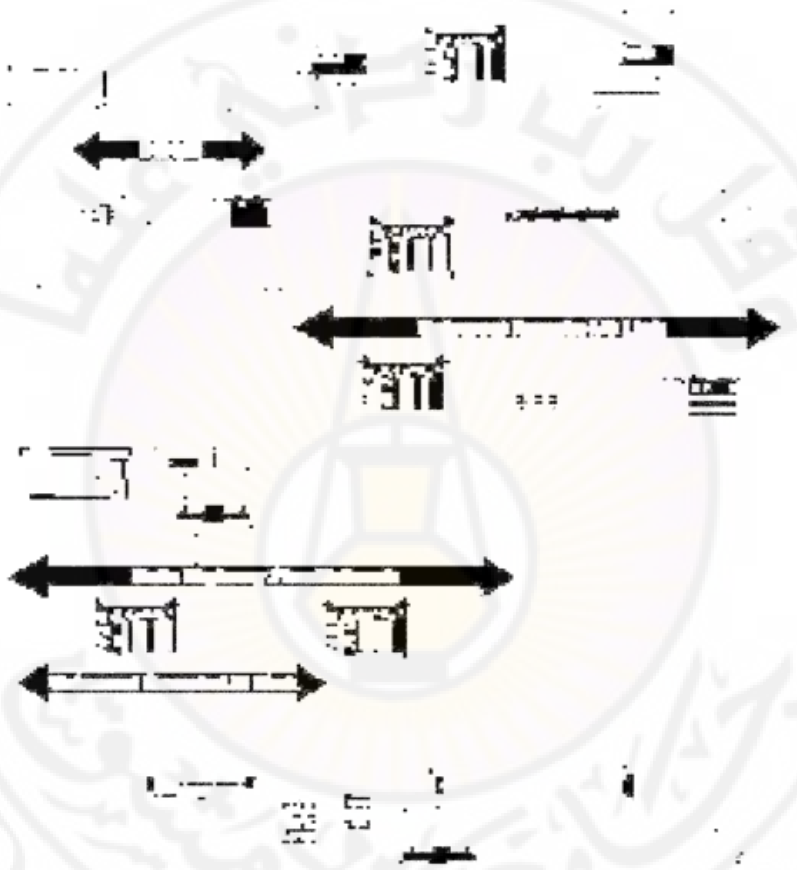
الشكل(1-13) نموذج مسار قناة اسمنتية لتوزيع الطاقة الكهربائية في منشأة صناعية

3"- دارات التحكم :

هذه الدارات تصنف تحت مسمى دارات التيار الضعيف وهي عبارة عن شبكات تحكم وقيادة لخطوط الإنتاج المؤتمتة . إن أسس وقواعد تصميم هذه الشبكات يحتاج إلى مختصين بذلك ، لكن سأعرض هنا أشكالا" تبين المخطط العام لنظام التحكم والقيادة سكادا (Scada) في الشبكات الصناعية . الأشكال(1-14) ، (1-15) تبين صورة خط انتاج ونماذج لدارات التحكم والقيادة.



الشكل(1-14) مسميات أقسام شبكة تحكم صناعية



الشكل(1-15) نموذج عام لشبكة لنقل البيانات في شبكة تحكم لمنشأة صناعية

1-4 التأريض:

للتأريض أهمية بالغة في جميع المنشآت العامة والصناعية على وجه الخصوص، لذلك تم تصنيف شبكة التأريض من الشبكات الخدمية . ولهذا السبب تم تأجيل شرح هذا الموضوع إلى الفصل الثاني من هذا الباب .

الفصل الثاني

الشبكات الخدمية

The Services networks

2-1 مقدمة:Introduction

المقصود بالشبكات الخدمية التي سيتم شرحها في هذا الفصل الشبكات التالية:

- شبكات التيار الضعيف التي تضم :
  - شبكة المعلوماتية .
  - شبكة الهاتف .
  - شبكة نقل الإشارة التلفزيونية في المباني .
  - شبكة الإنذار عن الحريق .
  - شبكة كاميرات المراقبة .
- شبكة التأريض .
- شبكة الحماية من الصواعق .

عند إجراء أي دراسة تصميمية لمنشأة فإن مهندس اختصاص الكترون يكلف بدراسة شبكات التيار الضعيف، أما شبكتا التأريض والحماية من الصواعق فتوكل دراستها إلى مهندس اختصاص طاقة كهربائية.[7],[17],[18],[43],[53],[69]

2-2 أسس تصميم دارات التيار الضعيف:

Basic design of weak current circuits

2-2-1 طرق مد أسلاك وكابلات دارات التيار الضعيف:

تمتد خطوط التيار الضعيف الرئيسة وتجمعاتها في الممرات والأعمدة الصاعدة على حوامل الكابلات، حيث تطبق عليها القواعد والأسس نفسها التي تطبق على مد إسلاك ودارات التيار القوي كما هو مبين في الأشكال من (1-2) وحتى (1-9) الواردة في الفصل الأول من هذا الباب. أثناء تنفيذ شبكات التيار الضعيف يجب الانتباه إلى أمر مهم وهو أنه يجب أن تبعد كابلات شبكات التيار الضعيف عن شبكات كابلات التيار

القوي بمسافة لا تقل عن $30cm$. تمدد الخطوط الفرعية للتيار الضعيف بدءاً من العلبة الفرعية وحتى مأخذ التيار الضعيف ضمن أنابيب بلاستيكية من النوع المرن (تيب) المخفي في الجدران أو فوق الأسقف المستعارة ، أما في حال عدم إمكانية المد المخفي يتم تمديدها تمديدا" ظاهريا" حيث تستخدم الأنابيب البلاستيكية القاسية ، حالياً تستخدم الأنابيب المعدنية في حال كانت المسافات قريبة بين دارات التيار الضعيف و دارات التيار القوي وذلك بهدف القضاء على ظاهرة التشويش. عند نقاط الوصل والتفريع تستخدم العلب البلاستيكية حيث تركب ظاهرة أو مخفية حسب طريقة التمديد المعتمدة في المكان. عادة يكون لكل فئة من فئات التيار الضعيف علبة خاصة بها، ويجب أن تكون العلب كتيمة في حالة التمديدات الظاهرة وفي الأماكن الرطبة.

2-2-2 شبكات التيار الضعيف: weak current networks

2-2-2-1 شبكة الهاتف: Telephone Network

تتكون شبكة الهاتف من العناصر التالية :

1"- **المقسم: (Electronic Private Automatic Branch exchange):**

إن مهام المقسم هي التالية :

- ربط مجموعة من الخطوط الهاتفية الداخلية من دون وجود خط خارجي.
- السماح بإجراء المكالمات بين الهواتف الداخلية دون المرور عبر الشبكة العامة.
- يمكن برمجته بطريقة تجعله يتحكم في منح الصلاحيات لكل هاتف موجود على الشبكة الداخلية في الاتصالات الخارجية أو غيرها.
- يؤمن مجموعة من الخدمات الهاتفية مثل تحويل المكالمات و ارسالها و كذلك لديه امكانية توصيل البريد الصوتي(إنترفون).
- إدارة مكالمات الطوارئ في المستشفيات و دور التمريض وغيرها.

يتم توصيف المقسم $EPABX$ بالبارامترات التالية :

- عدد الخطوط الخارجية والداخلية.
- سعة المدخرات مقدرة بالساعة.
- امكانية الربط مع أنظمة أخرى مثل Auto Dialer أثناء الحرائق.

2"- لوحة التوزيع الرئيسية : Main Distribution Frame [M.D.F]

الشكل(2-1) يبين نموذج لوحة توزيع خطوط رئيسية لمقسم هاتف داخلي .

الشكل(2-1) نموذج لوحة توزيع خطوط رئيسية لمقسم هاتف داخلي .

في لوحة التوزيع يتم تجميع جميع الخطوط الرئيسية القادمة من المؤسسة والخطوط الفرعية الصادرة إلى المقسم EPABX . ويتم توصيفها بعدد الأزواج (pairs).

100 pairs ، 150 pairs ، 200 pairs ، 300 pairs

إن عدد الأزواج pairs يعتمد على عدد الخطوط الرئيسية القادمة من المؤسسة.

3"- لوحات التوزيع الفرعية الطابقية : Intermediate Distribution Frame

تركب لوحات التوزيع الفرعية في كل طابق أو في كل منطقة تحتاج إلى هاتف داخلي. تأتي الخطوط إلى هذه اللوحة من لوحة التوزيع الرئيسية، ثم تنطلق منها إلى سماعات الهاتف الفرعية عند المستثمرين. يتم توصيف هذه اللوحة أيضا بعدد الأزواج :

5-10-15-20-30-40-50-60-70-80-90-100 pairs

4"- الكابلات :Cables

تستخدم في مد شبكات الهاتف كابلات خاصة ذات مقطع أساسي $0.6mm^2$ حيث تجمع هذه الأسلاك على شكل أزواج كما يلي :

0.6×3 0.6×4 0.6×5 0.6×6 0.6×10 0.6×15 0.6×20 0.6×25
0.6×30 0.6×40 0.6×50 0.6×100 0.6×150 0.6×200 0.6×250

5"- مخطط توزيع الطرفيات أو سماعات الهاتف :

يتم توزيع الطرفيات حسب توزع الفرش في الأماكن التي ستركب فيها. الشكل(2-2) يبين مخطط توزيع الطرفيات على الأماكن التي ستركب فيها .

الشكل (2-2) مخطط توزيع طرفيات الهاتف على الطوابق

6- وحدة تغذية كهربائية :Power Supply

تتألف هذه الوحدة من مجموعة مدخرات وشاحن، أو وحدة عدم انقطاع UPS، تحدد مواصفات هذه التجهيزات تبعا لحجم الشبكة .

2-2-2-2 شبكة الإنذار عن الحريق:Fire Alarm System

تعتبر من أهم الشبكات في المباني العامة والمنشآت الصناعية. يمكن تلخيص هذه الأهمية بالنقاط التالية :

-الكشف عن حدوث الحريق وتحديد وموقعه.

-إنذار شاغلي المبنى أو المنشأة من أجل اتخاذ تدابير وقائية.

- مكافحة الحريق في مراحله الأولى.

-تبليغ أقرب مركز إطفاء.

-تشغيل بعض أنظمة الإطفاء التلقائية أو بعض الخدمات المخصصة لأغراض الوقاية من الحريق عن طريق لوحة خاصة بالنظام.

يتكون نظام الإنذار عن الحريق من العناصر التالية :

- الحساسات أو كواشف الحريق Detectors.
- الكباسات اليدوية وتسمى بنقطة الاستدعاء Call point.
- وحدة الإنذار الصوتي أو المرئي Alarms.
- وحدات تغذية Modules.
- لوحة أو وحدة تحكم Control Unit .
- شبكة الكابلات Cables.

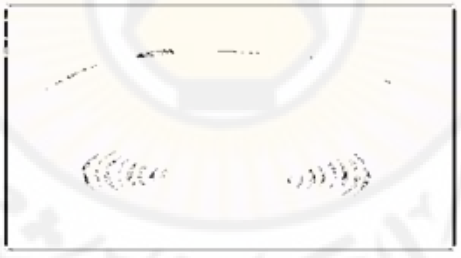
وسنأتي على شرح كل من هذه العناصر :

ا-الحساسات: Detectors

من الناحية العملية يوجد عدة أنواع من الحساسات لكل منها خصائصه ووظائفه ومكان استخدامه. من أهم أنواع الحساسات ما يلي:

1 "- الحساسات الدخانية : Smoke Detector

تتحسس هذه الحساسات للدخان وتصنف إلى حساسات سريعة و بطيئة. الشكل(2-3) يبين نموذج من الحساسات الدخانية .



الشكل(2-3)نموذج حساس دخاني سريع الاستجابة

يتميز هذا الحساس بحساسيته العالية وسرعة استجابته، ويستخدم في الأماكن التي يتوقع حدوث حرائق ذات حرارة عالية. يوجد نموذج آخر حساسيته أقل ويسمى (Optical Smoke Detection) يستخدم في المناطق التي يتوقع فيها حدوث حرائق بطيئة، ولا يستخدم في الأماكن التي تحوي غبارا" أو دخانا" في الحالة العادية. يغطي هذا النوع من الحساسات دائرة نصف قطرها 7.5 m ولكن يستخدم -للأمان- لدائرة نصف قطرها 5m أي مساحة منطقة الحماية $80\,m^2$. الشكل(2-4-آ-ب) يبين مناطق التغطية له.

(أ) (ب)

الشكل(2-4) مناطق الحماية للحساسات الدخانية

2- حساسات الحرارة :Temperature Detectors

يتحسس هذا النوع من الحساسات لدرجات الحرارة ، لذلك يتم تركيبه في المطابخ، غرف سخانات المياه (الشوديرات) وفي غرف المولدات. الشكل(2-5) يبين نموذج هذا الحساس .



الشكل(2-5) نموذج حساس حرارة

إن منطقة تغطية هذه الحساسات هي دائرة نصف قطرها 5.3 m ولكن يركب ليغطي دائرة نصف قطرها 4m لضمان التغطية الكاملة. الشكل(2-6) يبن دائرة التغطية له. أما الشكل(2-7) يبين دائرة التغطية للحساس في الزوايا.

الشكل(2-6) منطقة التغطية لحساسي حرارة الشكل(2-7) منطقة تغطية حساس حراري في الزوايا

3- حساس دخاني- حراراي: Multi Detector

يتحسس هذا الحساس لكل من الدخان والحرارة، يركب في غرف الآلات، ومنطقة التغطية له دائرة نصف قطرها4m. الشكل (2-8) يبين نموذج هذا الحساس.

الشكل(2-8) منطقة التغطية لحساس دخاني – حراري

4- حساس الغاز: Gas Detector

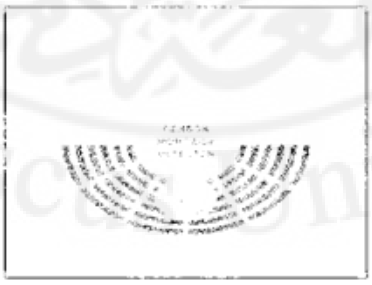
يتحسس هذا الحساس للغاز، يستخدم في المناطق التي يمكن أن يحدث فيها تسرب غاز مثل المطابخ. الشكل(2-9) يبين نموذج لهذا الحساس. إن نصف قطر منطقة التغطية لهذا الحساس هو 4 m .



الشكل(2-9) نموذج حساس غاز

5- حساس غاز أوكسيد الكربون : Carbon Dioxide Detector

يتحسس هذا الحساس لوجود غاز ثاني أوكسيد الكربون السام، لذلك يكثر استخدامه في مرائب السيارات العامة والخاصة. الشكل (2- 10) يبين نموذج هذا الحساس. إن نصف قطر دائرة لتغطية لهذا الحساس هو 4m.



الشكل(2-10) نموذج حساس اوكسيد الكربون.

الجدول (2-1) يبين ارتفاع تركيب الأنواع المختلفة للحساسات.

جدول(2-1) ارتفاع تركيب الحساسات أو الكواشف.

الشكل (2-11) يبين الأبعاد التي يجب أن تركب فيها هذه الحساسات .



الشكل(2-11) أبعاد تركيب الحساسات

6- نقطة استدعاء : Call Point

الشكل(2-12) يبين نموذج نقطة استدعاء تركب على ارتفاع 1.2 – 1.5 m .



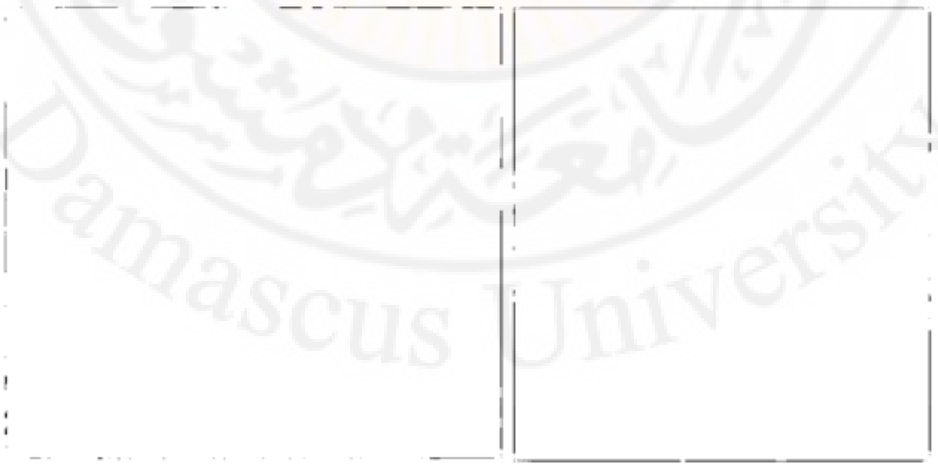
الشكل(2-12) نموذج نقطة استدعاء

تركب نقاط الاستدعاء في مكان مرئي يسهل الوصول إليه كما في الشكل(2-13).

الشكل(2-13) مكان تركيب نقاط الاستدعاء

7 – أجهزة الإنذار :Alarm Equipment's

الشكل(2-14) يبين أنواع ونماذج أجهزة الإنذار .



الشكل(2-14) نماذج أجهزة الإنذار (صفارة –إشارة مرئية – إنذار صوتي– بوق)

عند تركيب هذه التجهيزات يجب أن يراعى الحد الأدنى المقبول لمستوى شدة صوت إشارات الإنذار عن الحريق وهو65 ديسيبل، إذ أن الأذن البشرية تتحسس مستوى شدة صوت مقداره 2 إلى3 ديسيبل. هذا الحد الأدنى مقبول في الأماكن الهادئة والتي لا يوجد فيها ضوضاء، أما في الأماكن التي يكون فيها ضوضاء فإن مستوى شدة صوت الإنذار أكبر من 60 ديسيبل كما في غرف الآلات. هنا يجب أن يزيد مستوى شدة صوت إشارات الإنذار عن مستوى شدة الضوضاء بمقدار لا يقل عن 5 ديسيبل.

II-وحدات تحكم وقيادة فرعية: Control Modules

في أنظمة الإنذار عن الحريق يوجد عدة وحدات تحكم لكل منها وظيفتها الخاصة، من أهم هذه الوحدات ما يلي :

1"- وحدة تحكم : Control Module

تستخدم هذه الوحدة في التحكم بإقلاع وإيقاف تشغيل بعض التجهيزات أثناء حدوث حريق. الشكل(2- 15) يبين نموذج هذه الوحدة.



الشكل(2-15) نموذج وحدة تحكم .

ومن أهم التجهيزات التي تتحكم بها هذه الوحدة عند حدوث حريق ما يلي:

- ايقاف المصاعد
- إغلاق بعض لوحات الكهرباء
- تشغيل مراوح الهواء.

وتستخدم في عنونة أي جزء من أجزاء الشبكة لا يمكن عنونته كجرس إنذار.

2- وحدة إظهار: Monitor Module (M.M) .

تستخدم هذه الوحدة في مراقبة بعض التجهيزات، مثل صمام فتح المياه والأنابيب التي تستخدم في إطفاء الحريق، إذ أن مفتاح تدفق المياه(Water Flow switch) يجب أن يكون مفتوحا" بشكل دائم وأن مفتاح التأكد من وجود الماء (Tamper switch) يجب أن يكون مفتوحا" أيضا". الشكل(2-16) يبين نموذج هذه الوحدة .



الشكل(2-16) نموذج وحدة إظهار

3- وحدة فتح الأبواب أثناء الحريق :Door Holder

مهمة هذه الوحدة إبقاء الباب مفتوحا" أثناء الحريق من أجل فسح المجال لإخلاء المكان. تتألف هذه الوحدة من قطعتين، الأولى تركب في الباب والثانية تركب على الجدار خلف الباب، وترتبط مع شبكة الإنذار عن الحريق، في داخل هاتين القطعتين مغناطيس يمسك الباب ويبقيه مفتوحا". الشكل(2-17) يبين نموذج هذه الوحدة .



الشكل(2-17) نموذج وحدة التحكم بالباب

III- وحدة التحكم المركزية: Fire Alarm Control Panel F.A.C.P

الشكل(2-18) يبين نموذج وحدة التحكم المركزية .



الشكل(2-18) نموذج وحدة التحكم المركزية

يلخص الشكل (2-19) مبدأ عمل هذه الوحدة.

الشكل(2-19) مبدأ عمل وحدة التحكم المركزية

على الشكل يتضح أسلوب وصل دارات الإنذار عن الحريق بوحدة التحكم المركزية حيث إن جميع تجهيزات شبكة الإنذار عن الحريق (حساسات – أجهزة إنذار – وحدات تحكم فرعية) مرتبطة مع وحدة التحكم المركزية. إن وحدة التحكم المركزية تتحكم بعمل كل من هذه التجهيزات بواسطة عنونتها، فلكل جهاز عنوان خاص به في وحدة التحكم المركزية . إن طريقة عنونة الشبكة تختلف حسب الشركة المصنعة لوحدة التحكم المركزية وباقي التجهيزات، ومن أجل تحديد موضع الحريق بدقة تقسم الشبكة إلى مناطق (zones)بواسطة تجهيزات عزل كما في الشكل(2-20).



الشكل(2-20) نموذج فواصل العزل في شبكة إنذار عن الحريق

IV- الأسلاك والكابلات: Cables

عند تصميم شبكة الأسلاك والكابلات يجب أخذ الأمور التالية بعين الاعتبار:

- في حالة استخدام كابلات ظاهرة يجب أن تكون مسلحة.
- في حالة استخدام أسلاك داخل أنابيب مدفونة يجب أن تكون مضادة للحريق.
- يجب ألا يزيد طول السلك في الحلقة loop الواحدة عن الطول المكتوب في جدول المواصفات (data sheet) الخاصة بالكابل، لأن استخدامه لطول أكبر من المسموح يحدث هبوط توتر يؤثر في أداء النظام .
- مساحة مقطع الأسلاك المستخدمة 1.5 ,2.5 4,8 mm2 وغالبا" تستخدم أسلاك بمقطع $2X1.5\ mm^2$. الشكل(2-21) يظهر مواصفات أحد أنواع الأسلاك.

ملاحظة مهمة :

يجب ربط شبكة الإنذار عن الحريق بشبكات الإطفاء ، إذ يجب أن تعمل شبكات الإطفاء آليا" عند حدوث إنذار عن الحريق .

V- وحدة تغذية كهربائية :Power Supply

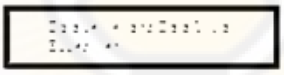
تتألف هذه الوحدة من مجموعة مدخرات وشاحن، أو وحدة عدم انقطاع **UPS** تحدد مواصفات هذه التجهيزات تبعا" لحجم الشبكة .

الشكل(2-21) المواصفات الفنية لكابلات الإنذار عن الحريق .

2-2-2-3 شبكة المعلوماتية: Data Network

المقصود بالشبكة المعلوماتية في هذه الفقرة هي الشبكة التي تربط بين مجموعة من أجهزة الحاسوب PC في نطاق ضيق مثل(غرفة، مبنى واحد أو عدة مبانٍ متجاورة، أو منطقة لا تتعدى عدة كيلو مترات مثل شبكة معلومات(جامعة، شركة، مستشفى). من الناحية العملية إن الشبكات التي ترتبط فيها مجموعة من الأجهزة بواسطة مجموعة من

الأسلاك والكابلات أو لاسلكية على اختلاف أنواعها وأشكالها ويتم من خلالها نقل وتداول البيانات والمعلومات تسمى[Local Area Network] LAN. تشبه شبكة المعلوماتية شبكة الهاتف من حيث الشكل العام. الشكل(2-22) يبين نموذج هذه الشبكة.



الشكل(2-22) نموذج عام لشبكة معلوماتية .

تتألف هذه الشبكة من العناصر الرئيسيئة التالية :

1- DATA OUT LET
2- PATCH PANEL
3- DATA SWITCH
4- DATA CABLES

وسنأتي على شرح هذه العناصر بالتسلسل:

1- مخارج الشبكة : Data Out Let

تتوزع مخارج الشبكة في البناء حسب الحاجة وحسب توضع الفرش . ويجب أن تكون بشكل عام سهلة المنال.

2- وحدة التفريع :Patch Panel

إن وظيفة Patch panel تكمن في ترتيب وتنظيم وترقيم الكابلات القادمة من مختلف نقاط الشبكة. يتم تركيب هذه الوحدة في كل طابق أو في كل منطقة تتجمع فيها مجموعه من النقاط، ثم يتم توصيلها بالـ switch الرئيسي (المبدل الرئيسي). بفرض وجود شبكة مكونة من 133 نقطة ممددة في المبنى، فسيكون هناك كابل شبكة لكل نقطة طرفية، الطرف الأول لهذا الكابل موجود عند النقطة أو المأخذ، ولنفرض أن الطرف الثاني موصول إلى المبدل مباشرة بدون استخدام Patch Panel . هذا التوصيل لن يؤدي إلى مشاكل فنية في الاتصال مع الشبكة ولكن في حال وقوع مشكلة في أحد الأجهزة مثلا الجهاز يظهر أنه غير متصل بالشبكة مع أن كابل الشبكة موصول به، في هذه الحالة يجب التأكد من وصلة الطرف الثاني للكابل مع المبدل، وهنا تكمن المشكلة في إيجاد هذا الكابل بين 133 كابلا". هنا يأتي دور Patch Panel حيث تقوم بترقيم النقاط وبدلا من وصل الطرف الثاني للكابلات مباشرة بالمبدل نقوم بوصلها بـ Patch Panel الخاص بهذه المنطقة أو هذا الطابق ومنها إلى المبدل آخذين بعين الاعتبار عند وصل الكابلات إلى Patch Panel ترقيم الكابلات، ومن ثم تستخدم كابلات أخرى بين Patch Panelوالمبدل. تدعى هذه الكابلات Patch Cables. الشكل(2-23) يبين طريقة وصل الكابلات مع Patch Panel.

الشكل(2-23) طريقة وصل الكابلات مع Patch Panel

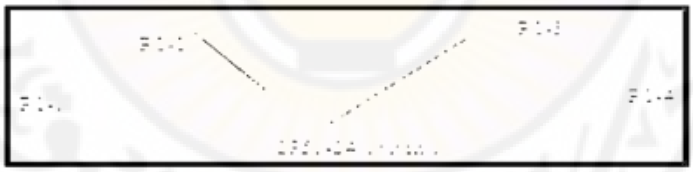
3- وحدة Data Switch :

توجد عدة أنواع من هذه الوحدة :

6 Port ، 12 Port ، 24 Port ، 36 Port ،48 Port

وهنا يجب التمييز بين Hub و Switch كما يلي:

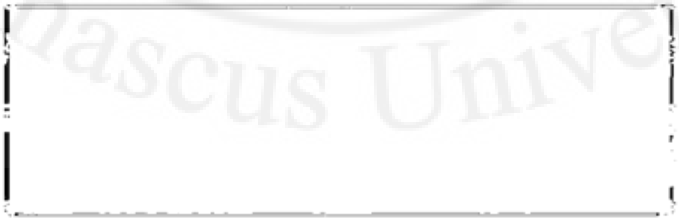
الـ **hub** ليس لديه القابلية على توجيه البيانات باتجاه الهدف الصحيح، وإنما يقوم بإرسال البيانات إلى جميع الحواسيب الموجودة داخل الشبكة فيتم قبول البيانات من الحواسيب المطلوب إرسال البيانات إليها بينما يتم رفضها من بقية الحواسيب تبعاً للـ **IP address** الخاص بالحاسوب، أيضا إن الـ **hub** يحمل صفة الـ **half duplex** وهي تعني أن البيانات تنتقل باتجاه واحد فقط خلال فترة زمنية معينة ، إما إرسال وإما استقبال ولا يمكن الإرسال والاستقبال في آن واحد. ولو حدث إرسال بيانات من أكثر من حاسوب في وقت واحد فإن ذلك سيؤدي إلى حدوث تصادم بين هذا البيانات في جميع تفرعات الـ **hub** وضياع في حزم هذه البيانات. أما الـ **switch** فيمكنه توجيه البيانات باتجاه الهدف الصحيح ، أي إن البيانات ستنتقل الى الهدف الصحيح مباشرة دون ارسالها الى باقي الحواسيب، وهذا يعني أن التصادم لن يحدث إلا عبر المسار الواحد فقط ، وهو الذي يمثل إحدى تفرعات الـ **switch** بدلا من كم التصادمات الكبير الذي يحدث في الـ **hub**عند تبادل البيانات بين حاسوبين اثنين، وبالنتيجة فإن احتمالية تصادم البيانات أصبحت نادرة باستخدام الـ **switch** بدلاً من الـ **hub** . الشكل(2-24) يبين نموذج جزء من شبكة معلوماتية.



الشكل(2-24) نموذج شبكة معلوماتية.

4"- الكابلات : Cables

الشكل(2-25) يبين عدة نماذج من الكابلات المستخدمة في شبكة نقل المعلومات



الشكل(2-25) يبين عدة نماذج من الكابلات المستخدمة في شبكة نقل المعلومات

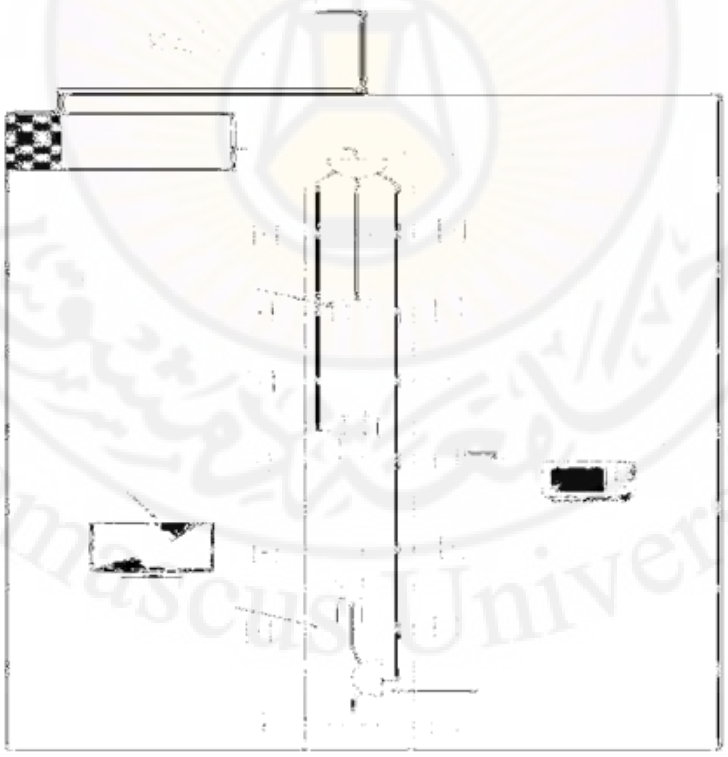
المواصفات الفنية لهذه الكابلات هي نفس المواصفات الفنية لكابلات شبكات الإنذار عن الحريق المبينة على الشكل(2-21) من هذا الفصل .

5- وحدة تغذية كهربائية :Power Supply

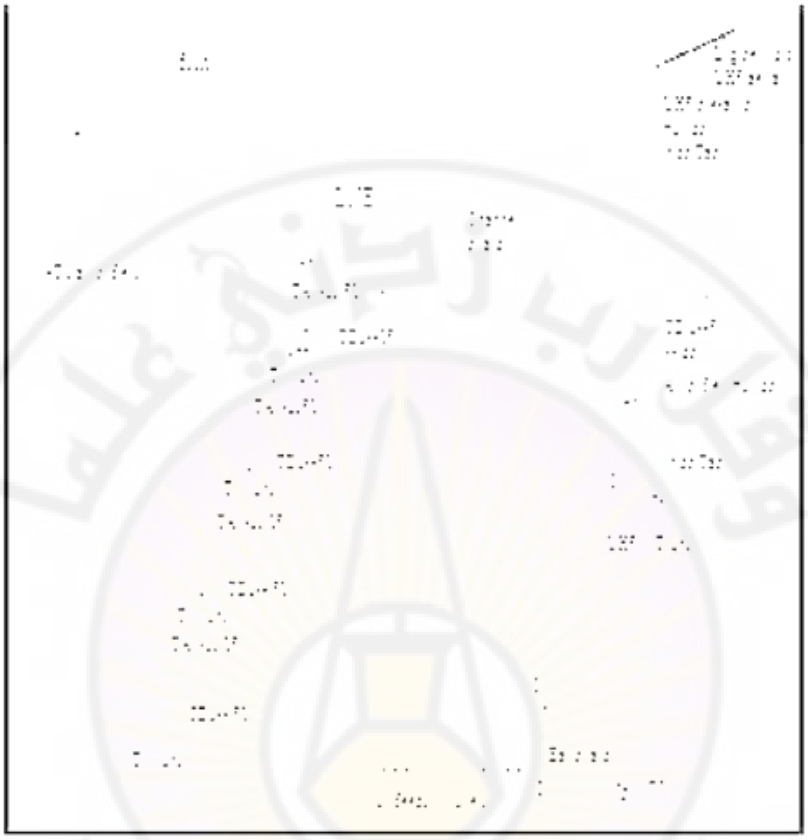
تتألف هذه الوحدة من مجموعة مدخرات وشاحن، أو وحدة عدم انقطاع **UPS**. تحدد مواصفات هذه التجهيزات تبعاً لحجم الشبكة .

4-2-2-2 شبكة هوائي التلفزيون الموحد :Tv Network

الشكل (2-26) يبين نموذج لطريقة توزيع الإشارة التلفزيونية في مبنى . في هذه الشبكات يجب استخدام مضخمات من أجل تضخيم الإشارة قبل توزيعها في المبنى. الشكل(2-27) يبين مراحل تضخيم الإشارة التلفزيونية وتوزيعها في شبكة توزيع إشارة تلفزيونية على مجموعة مستقبلين في مبنى .



الشكل(2-26) نموذج شبكة توزيع اشارة تلفزيونية



الشكل(2-27) مراحل تضخيم وتوزيع الإشارة التلفزيونية

أما الشكل(2-28) يبين طريقة تنفيذ شبكة توزيع المبينة على الشكل(2-27).

الشكل(2-28) تنفيذ لوحة للشبكة الموجودة على الشكل(2-27)

من أهم مكونات شبكة هوائي التلفزيون الموحد ما يلي :

1- الكابلات : Cables

تستخدم في تمديدات هذه الشبكة كابلات محورية خاصة بذلك. الشكل(2-29) يبين مقطع كابل نقل إشارة تلفزيونية.



الشكل(2-29) مقطع كابل نقل اشارة تلفزيونية.

يتم تمديد هذه الكابلات وفق الشروط التالية:

- مقاومة الكابل 75 أوم وعددها مساوٍ إلى عدد الهوائيات.
- تمدد هذه الكابلات ضمن أنابيب بلاستيكية قطرها 13 cm.
- يربط إلى الكابل المحوري النازل عدد معين من المآخذ التلفزيونية بواسطة علب توزيع ، كما تزود المآخذ الموجودة في نهاية الكابل بمقاومة نهاية الخط.
- تمدد كابلات شبكة الهوائي الموحد في أنابيب بلاستيكية مخفية بالسقف وفي الجدار ، أو ضمن السقف المستعار وحسب المخططات، ويطبق على هذا التمديد كل ما ورد في شروط ومواصفات تمديدات شبكات التيار الضعيف.
- يجب أن لا تقل سوية الإشارة على الكابل النازل عن 1 mv عند أبعد نقطة .

2- الهوائي الطبقي (Dish):

تصنع الهوائيات الطبقية باستخدام تقنيات خاصة كالكبس والضغط، ويمكن أن تصنع في ورشات الحدادة. حسب مواصفات المعدن الذي يضع من الهوائي يمكن التمييز بين الأنواع التالية:

- الهوائي المصنوع من الألياف الزجاجية FIBER GLASSDISHES.

- الهوائي المصنوع من الحديد المصمت STEEL DISHES.
- الهوائي المصنوع من الألمنيوم المصمت ALUMINUM DISHES.

ومهما كان نوع المعدن المستخدم في صناعة الهوائي فإنه -ولتحقيق- إنعكاس عال للإشارة الواردة من القمر الصناعي لابد من طلائه بثلاث طبقات هي التالية:

- طبقة أساس للحفاظ على المعدن من العوامل الجوية.
- طبقة من النيكل ناقلة للكهرباء.
- طبقة واقية من الضجيج.
- طبقة عازلة للوجه الخلفي للهوائي للحفاظ عليه من تأثير العوامل الجوية.

إن أهم عامل يجب التحقق منه عن تصنيع أو شراء (Dish) هو ربح الهوائي، وهو كمية الإشارة التلفزيونية التي يستفيد منها الهوائي من أصل الإشارة التلفزيونية الكلية الواردة إليه. ويعبر عن ذلك رياضياً بالعلاقة التالية:

$$KSB = \frac{SR \times 12.56}{\ell_o^2} \qquad (2-1)$$

KSB: ربح الهوائي.

SR: مساحة سطح الهوائي.

ℓ_o^2 : طول موجة التلفزيون المستقبلة.

نلاحظ من العلاقة (2-1) أن ربح الهوائي يزداد بازدياد سطحه، وبناءً على ذلك فإن الهوائي ذا القطر 240Cm يعطي ربحاً أكثر من الهوائي ذي القطر 120Cm ، وذلك للموجة المستقبلية نفسها.

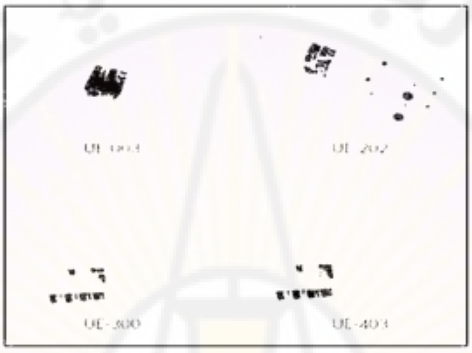
3- وحدة LNB أو الإبرة Low Noise Band :

تقوم هذه الوحدة بتلقي الإشارة المرسلة من الأقمار الصناعية وتضخيمها بنسبة تكبير عالية بأقل نسبة تكبير ممكن للضجيج المرافق للإشارة. من أهم الأنواع المستخدمة عملياً في هذه الوحدة الإبرة العربية C-BAND في استقبال الإشارات التلفزيونية من القمر الصناعي عربسات، ومن أهم مواصفات هذه الإبرة:

- النطاق الترددي المستقطب C-Band.

- للاستخدام الفردي فقط.
- مدخل واحد للإشارة ومخرج واحد للإشارة المكبرة.
- الأقمار المستقطبة عربسات.
- تردد إشارة الدخل Input [CH_2] 3.7-4.2 ، أما تردد إشارة الخرج [MH_2]950-2150.

يوجد من هذه الوحدة عدة نماذج تختلف فيما بينها بالمجال الترددي وعدد المخارج ، الشكل(2-30) يبين بعض هذه النماذج .



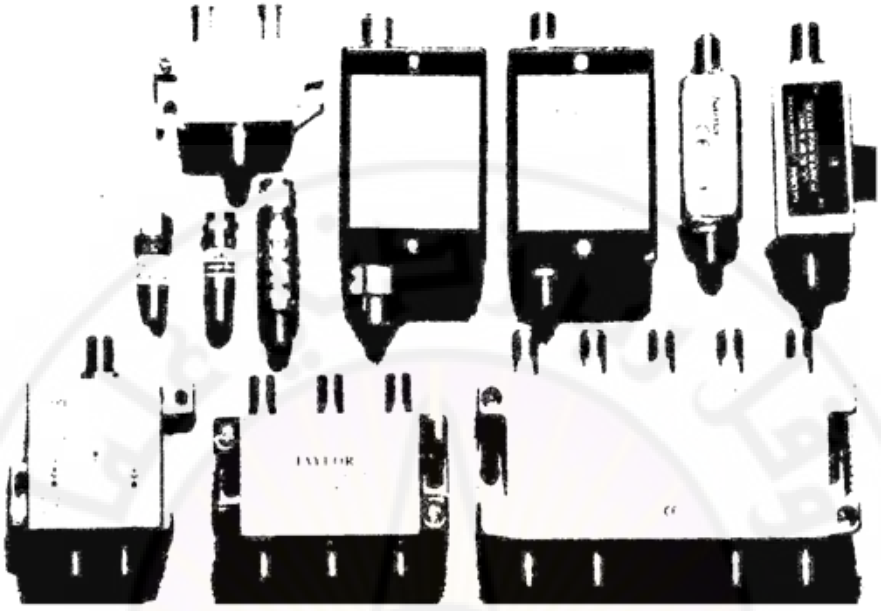
الشكل(2-30) نماذج الإبر المستقبلة للإشارات من القمر الصناعي

4- محرك تحريك الطبق :Motor

يستخدم في تحريك الطبق محركات مصنعة خصيصاً لهذه الغاية ، وهي محركات خطية LIEAR ACTUATOR. من أهم أنواع هذه المحركات SUPER JACK2, SUPER JACK1. تصنع هذه المحركات بأقطار مختلفة حسب قطر الهوائي المستخدم، فكلما كبر قطر الهوائي كانت هناك حاجة إلى استخدام محرك بقطر ساعد أكبر ليتمكن من تحريك الهوائي بدون حدوث أعطال. من أهم الأقطار لأنواع المحركات السابقة 6,8,10,12,18,24,36*Inch* .

5- وحدات تضخيم و مزج وتفريع الإشارة: Amplifier and Mixture Modules

تستخدم هذه الوحدات في عمليات تضخيم الإشارات والتفريع ضمن البناء إلى أكثر من جهة، هذه الوحدات لها مواصفات خاصة لا تتوفر في وحدات الوصل الكهربائية العادية المستخدمة في التمديدات الكهربائية الداخلية. نماذج هذه الوحدات متعددة ومتنوعة. الشكل (2-31) يبين نماذج وحدات تفريع ونهاية الكابل .



الشكل(2-31) نماذج وحدات تفريع ونهاية الكابلات

أما الشكل(2-32) فيبين وحدات تضخيم و تفريع الإشارة . تركب وحدات التضخيم والتفريع والوصل في لوحات توزيع خاصة بها بعيدة عن لوحات توزيع التيار القوي بمسافات لا تقل عن 50cm. يمكن تركيب هذه اللوحات بطريقة مخفية أو ظاهرة، يجب اختيار أماكن تركيبها على الطوابق بشكل يسهل معه الوصول إليها من أجل تنفيذ عمليات التركيب والصيانة.

6- المستقبل Receiver:

هو الجهاز الذي يستقبل الإشارة من الهوائي عبر الكابل ويرسلها إلى جهاز التلفزيون. لقد ظهرت أنواع متعددة من أجهزة الاستقبال، فمنها المستقبل ذو التحكم الآلي (الأوتوماتيكي) والمستقبل ذو التحكم العادي أو النصف أوتوماتيكي، والفرق بينها أنه في النوع الأول يقوم المستقبل بإعطاء أو تحريك للهوائي للبحث عن القمر والمحطة التي أعطيت مسبقاً له، أما في النوع الثاني فيقوم المستثمر بتحريك الهوائي باستخدام أجهزة تحكم خاصة توضع بجانب المستقبل. هذه الأجهزة المساعدة المستخدمة في التحكم بتحريك الهوائي تصنع حالياً محلياً وهي ذات أداء جيد.



الشكل (2-32) وحدات تضخيم وتفريع الإشارة

2-2-2-5 شبكات كاميرات المراقبة : Security Camera networks

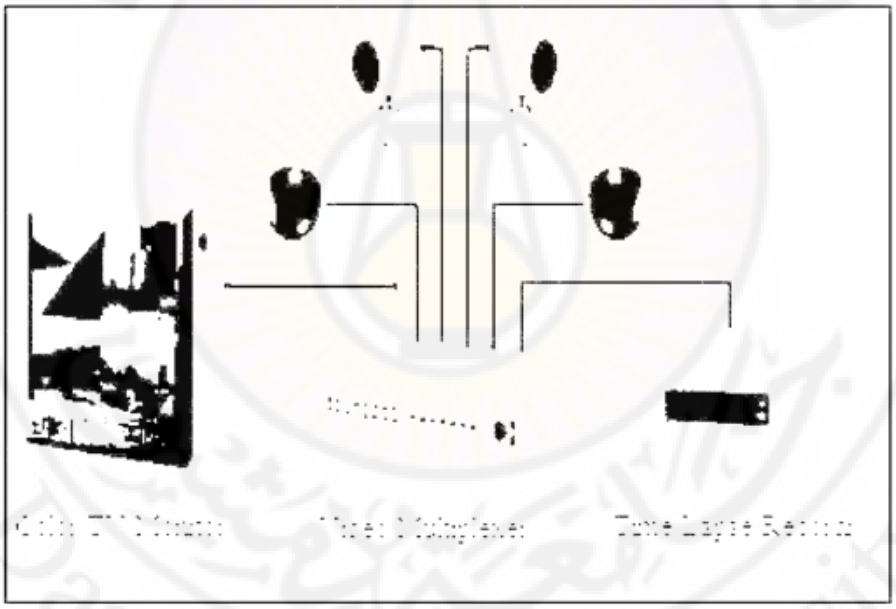
تستخدم شبكات المراقبة في مراقبة نشاطات مختلفة في مكان ما، ويمكن أن تستخدم في الأماكن الخارجية كالطرقات ومداخل المباني المهمة كالبنوك وغيرها، أو داخل المباني لمراقبة مواضع محددة كالممرات وصناديق المحاسبة ... تربط الكاميرات مع مركز مراقبة يحوي تجهيزات مرئية كالشاشات، وسائط تسجيل فيديو لفترات زمنية محددة،

أجهزة إنذار، أجهزة اتصال لاسلكي مع أشخاص يعملون في الأماكن المراقبة تؤمن سرعة التدخل من أجل درء المخاطر. تتنوع الأجهزة المستخدمة في شبكة الكاميرات من حيث حجم ودقة تصوير الكاميرات، وكذلك السعة التخزينية لأجهزة التسجيل، والمدى الذي تعمل به الأجهزة اللاسلكية بصورة عامة. تتكون هذه الشبكات من العناصر التالية:

-الكاميرات Cameras:

- الكابلات Cables.
- أجهزة عرض Monitors.
- أجهزة تخزين بيانات Digital Video Recorder [DVR].

الشكل(2-33) يبين نموذج مبسط لشبكة كاميرات داخلية.



الشكل(2-33) نموذج مبسط لشبكة كاميرات داخلية

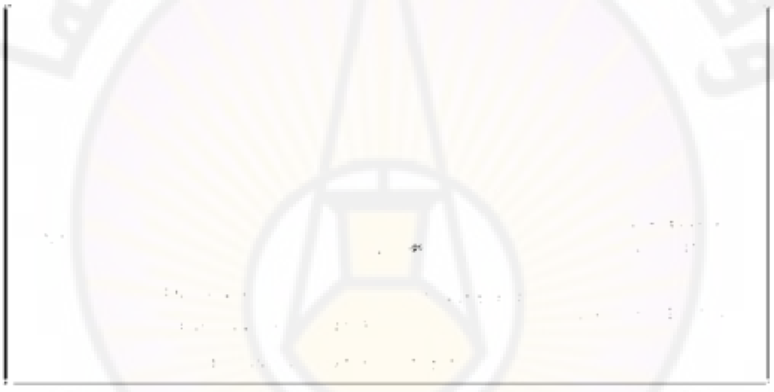
فيما يلي شرح مبسط لمكونات شبكة كاميرات داخلية .

1- الكاميرات :Cameras:

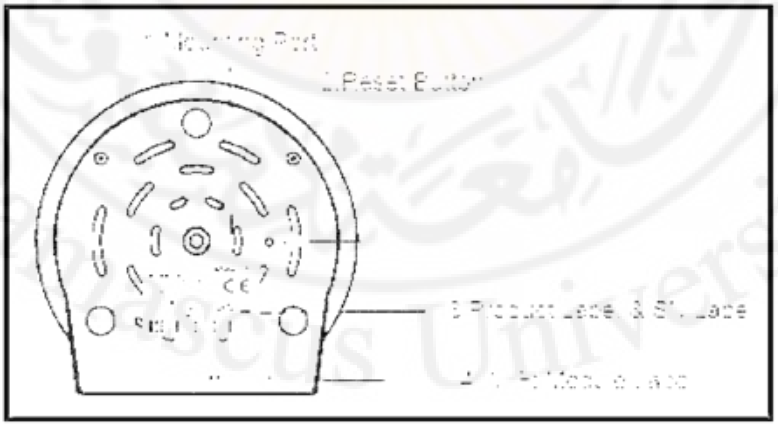
الأشكال (2-34)، (2-35)، (2-36) تبين المظهر الخارجي لكاميرا من نوع **Foscam** تستخدم في شبكات المباني.



الشكل(2-34) المظهر الخارجي لكاميرا - الوجه الأمامي .



الشكل(2-35) المظهر الخارجي لكاميرا- الوجه الخلفي



الشكل(2-36) المظهر الخارجي لكاميرا - الوجه السفلي .

يمكن التمييز من الناحية العملية بين عدة أنواع من الكاميرات من أهمها :

آ- الكاميرات الثابتة : Fixed Cameras

يوجد منها عدة أنواع :

- الكاميرات الكروية: Dome Cameras

- الخيار الأفضل والعملي في كل مكان يمكن أن تركب فيه .
- إذا كانت في متناول اليد فهي ليست سهلة التخريب و التلاعب .
- سهلة التركيب في الأسقف المستعارة .
- اتجاه العدسة مخفي وغير ظاهر للمُراقَب .
- يمكن أن تحوي على ليدات أشعة فوق حمراء للرؤية الليلة .
- هناك أماكن محددة لتركيبها ، فثمة حدود لقياس العدسات بداخلها.
- غطاؤها بلاستيكي أو معدني مقاوم يسمح بتركيبها في الأماكن العامة.

الشكل(2-37) يبين نموذج هذه الكاميرا .

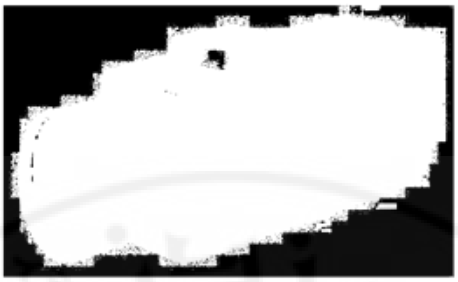


الشكل(2-37) نموذج كاميرا كروية

-الكاميرات الصندوقية : Box Cameras

يركب هذا النوع من الكاميرات في الجدران وتستخدم في الحالات التالية :

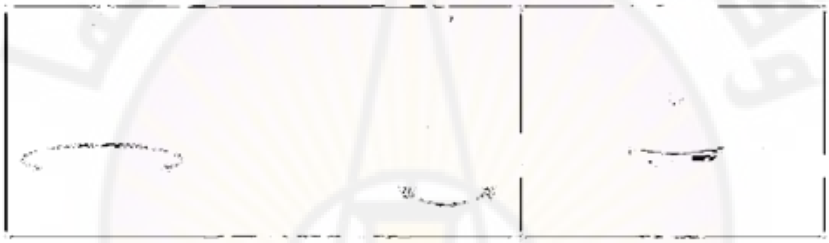
- عند التركيب على الجدار.
- عند كشف منطقة بعيدة و بحاجة إلى عدسات كبيرة طويلة .
- لا يمكن تركيبها داخل الكاميرا الكروية أو الكاميرات الصغيرة.
- عندما تركب في أماكن يمكن الوصول إليها يجب وضعها في غلاف لحمايتها، وعندما تكون ظروف الإضاءة منخفضة توضع الكاميرا الصندوقية داخل غلاف يحتوي على ليدات أشعة تحت الحمراء للإضاءة الليلية. الشكل(2-38) يبين نموذج الكاميرا الصندوقية .



الشكل(2-38) نموذج كاميرا صندوقية

ب-الكاميرات المتحركة والقابلة للتقريب: Pan Tilt Zoom (PTZ) Cameras

الشكل(2-39) يبين نموذج هذا النوع من الكاميرات .



الشكل(2-39) نموذج كاميرا متحركة

تستخدم هذه الكاميرات في الحالات التالية:

- عند الحاجة إلى تحكم مباشر بالكاميرا وضبط عمليات الحركة والتقريب.
- عند الحاجة إلى ضبط الكاميرا لكشف كامل المكان المراقب.
- عند الحاجة إلى مشاهدة زوايا مختلفة من كاميرا واحدة.
- تكلف من خمسة إلى عشر أضعاف تكلفة الكاميرا الثابتة لأنه باستخدام الكاميرا الثابتة لا نستطيع تسجيل المشهد في المكان غير الموجهة نحوه.
- نستطيع التحكم بالكاميرا المتحركة والتقريب(التكبير)حتى 36 ضعفا"، بل إنها تستطيع التقريب(التكبير) رقميا" حتى 12 ضعفا" في مئة ثانية.
- يمكن برمجتها بطريقة تقطع فيها جولتها لتكشف وتلاحق أي إنذار، ويستطيع المشغل الكاميرا وتحريكها في أي وقت.

2"- الكابلات :Cables

يستخدم في شبكات الكاميرات نوعان من الكابلات :

-كابلات نحاسية :

تتكون الكابلات المستخدمة في شبكات الكاميرات من زوج من الأسلاك المجدولة، وغطاء عازل (Tow-paired of size 2X0.8 mm2Twisted & Shielded).

- كابلات ضوئية: Fiber Optic Cable :

تعتبر الكابلات الضوئية هي الخيار الأفضل عند المسافات الكبيرة، إذ إن الكابلات النحاسية لا يمكن مدها لأكثر من 750m بدون استخدام مضخمات إشارة. تتميز الكابلات الضوئية إضافة إلى ذلك بالسرية العالية ، فهي لا تولد أي حقل مغناطيسي، وهي ملائمة للتطبيقات التي تحتاج إلى عرض مجال كبير، وتتحمل الضغوط الميكانيكية ، لأنها مغلفة بغلاف بلاستيكي قوي. النواة CORE في هذا النوع من الكابلات يمكن أن تكون من البلاستيك أو الزجاج (حسب المسافة) ، أما الغلاف الداخلي Cladding يجب أن يكون من نفس نوع مادة النواة كما في الشكل(2-40).



الشكل(2-40) مقطع عرضي في كابل ضوئي .

من الناحية العملية يوجد نوعان من كابلات الألياف الضوئية، الأول هو النمط الوحيد Single mode، والثاني هو النمط المتعدد Multi-mode. في النمط الأول يكون قطر الليف الضوئيMicrons 8-10 ، طول الموجةnm 1310,1550 ، تخامد الكبل dB/km 0.5. في هذا النوع من الكابلات ينتقل الضوء انتقالا" مباشرا" من المرسل إلى المستقبل، ويستخدم في التطبيقات التي تحتاج إلى سرعة ومسافة كبيرة تصل حتى 5 كم بدون استخدام مضخمات. أما في النمط المتعدد فنميز نوعين حسب قطر الغلاف، النوع الأول 50/125 Microns بطول موجة 850nm أو1300 nm ، والنوع 62.5/125 Microns بطول

موجة1300nm. في هذا النمط يسير الضوء سيرا" منكسرا" على الغلاف، ويستخدم في التقنيات التي لا تحتاج إلى مسافة كبيرة تصل حتى1km.

3"- مازج : Video Matrix = Multiplexer

يصل المازج بين الكاميرا والشاشة العرض. من الناحية العملية توجد الأنواع التالية :

64 cameras Input and 16 Screen Display
48 cameras Input and 24 Screen Display
64 cameras Input and 24 Screen Display
48 cameras Input and 16 Screen Display
16 camera Input and 8 Screen Display

4"- مسجل البيانات: Digital Video Recorder [DVR]

هناك ميزات كثيرة يتميز بها الـ DVR عن الأنظمة التقليدية، فهو يقوم بتسجيل الصورة على قرص صلب أو على أقراص ليزرية أو أقراص DVD ولفترة زمنية تمتد لأسابيع وحتى أشهر بوثوقيه كبيرة وجودة صورة عالية وحماية للمعلومات، ويتم التسجيل بشكل ، ويمكن مشاهدتها من أكثر من مستخدم. بالإضافة إلى ذلك يمكن ربطه مع نظام إنذار، وكذلك مع الشبكة بحيث يمكن العرض والتخزين من أي مكان.

5"- شاشة العرض : Monitors

تستخدم شاشات العرض المعروفة والمستخدمة كأجهزة TV في عرض ما تصوره الكاميرات وعرض ما هو مسجل في أجهزة التخزين من بيانات .

6"- وحدة تغذية كهربائية :Power Supply

تعمل الكاميرات بالتيار المستمر، لذلك يجب توفر أجهزة **UPS** من أجل تأمين التغذية الكهربائية المطلوبة. إن استطاعة أجهزة **UPS** تختار حسب حجم الشبكة المراد تركيبها.

3-2 شبكات ونظم التأريض : Earthing Systems

3-2 -1 أسس وتعاريف :definitions

التأريض في النظم الكهربائية هو إحدى الوسائل الفعالة المستخدمة في تحقيق سلامة الأشخاص وحماية الأجهزة والمعدات الكهربائية، ويعرف بأنه التوصيل الكهربائي بين الأجزاء المعدنية غير الحاملة للتيار الكهربائي في الحالة العادية والأرض. من الناحية العملية تحدث الصدمات الكهربائية التي تترك أثرها على جسم الإنسان نتيجة نوعين من

أنواع التماس، الأول مباشر وفيه يتم تماس جسم الإنسان مع نواقل عارية تحت التوتر، عندئذٍ يكون مسار التيار محصورا بجسم الإنسان كما في الشكل(2-41)، أما الثاني فهو غير مباشر، وفيه يكون تماس جسم الإنسان مع أجسام معدنية مكهربة، كالأجزاء المعدنية للآلات الكهربائية. في هذه الحالة هناك مساران لتيار العطل أحدهما في جسم الإنسان والآخر في الآلة كما في الشكل(2-42). من الشكل وحسب IEC 60479 فإن توتر التكهرب يعطى بالعلاقة :

$$U_c = I_d \times Z_t \qquad (2-2)$$

حيث:

Zt: ممانعة الجسم البشري.

Id: شدة تيار التكهرب.



الشكل(2-41) تماس مباشر

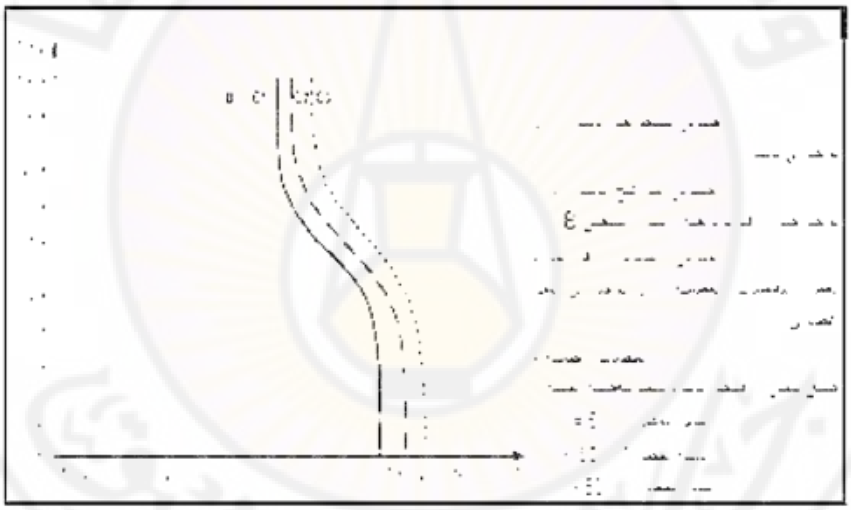
إن مساري العطل يمكن مكافئتهما بممانعتين كما في الشكل(2-42)، (2-43).



الشكل(2-42) تماس غير مباشر

الشكل(2-43) مكافئة مسار العطل بممانعات على التسلسل

الشكل(2-44) منحنيات تيار وزمن التكهرب لتيار ذي تردد 15-100 Hz وفق IEC 479



الشكل(2-44) منحنيات تيار وزمن التكهرب لتيار ذو تردد 15-100 Hz

2-3-2 نظم التأريض: Earthing Systems

من أجل تلافي حدوث تماس مباشرة أو غير مباشرة لابد من اختيار نظام تأريض مناسب للمنشآت وخصوصا الصناعية منها. ولتسهيل دراسة وتصميم نظم التأريض استخدم ترميز يتألف من ترتيبات من حروف معينة تدل طريقة التأريض. إن دلالة هذا الترميز هو التالي :

يرمز الحرف الأول إلى ترتيبات التأريض لمصدر الطاقة ويستخدم حرفان لهذا الغرض وهما:

T: يشير هذا الحرف إلى أن نقطة أو أكثر متصلة اتصالاً مباشراً بالأرض.

I : يشير هذا الحرف إلى أن مصدر الطاقة الكهربائية إما غير متصل بالأرض أو يتصل بالأرض من خلال ممانعة. ويشير الحرف الثاني إلى ترتيبات التأريض عند مستهلك الطاقة الكهربائية. ويستخدم حرفان للدلالة عليهما وهما:

T : يشير إلى أن جميع الأجزاء المعدنية الخارجية تتصل بالأرض اتصالاً مباشراً.

N: يشير إلى أن جميع الجزاء المكشوفة تتصل مباشرة بنظام التأريض عند مصدر الطاقة.

ويشير الحرفان الثالث والرابع إلى ترتيبات موصل التأريض عند المصدر ويستخدم حرفان لهذا الغرض وهما:

S: يشير إلى أن الحيادي والأرضي منفصلان.

C: يشير إلى أن الحيادي والأرضي يشكلان موصلاً واحداً.

وبالاعتماد على هذا الترميز يمكن تمييز نظم التأريض التالية :

- نظام TN ويظهر هذا النظام إما على شكل TN – C أو TN – S أو TN – CS.
- نظام TT.
- نظام IT.

سنأتي على شرح هذه الأنظمة حسب المواصفة IEC 60364 المبين في الشكل (2-45)

الشكل(2-45) شروط المواصفة IEC 364

كما حددت المواصفة IEC 364 أزمنة التكهرب كما في الجدولين (2-2)،(2-3) .

جدول(2-2) الزمن المسموح للتكهرب باعتبار أن القيمة الأعظمية لتوتر التكهرب 25 V

جدول(2-3) الزمن المسموح للتكهرب باعتبار أن القيمة الأعظمية لتوتر التكهرب 50 V

ا-نظام التأريض TN:

في هذا النوع من التأريض يمكن التمييز بين نوعين من الأنظمة:

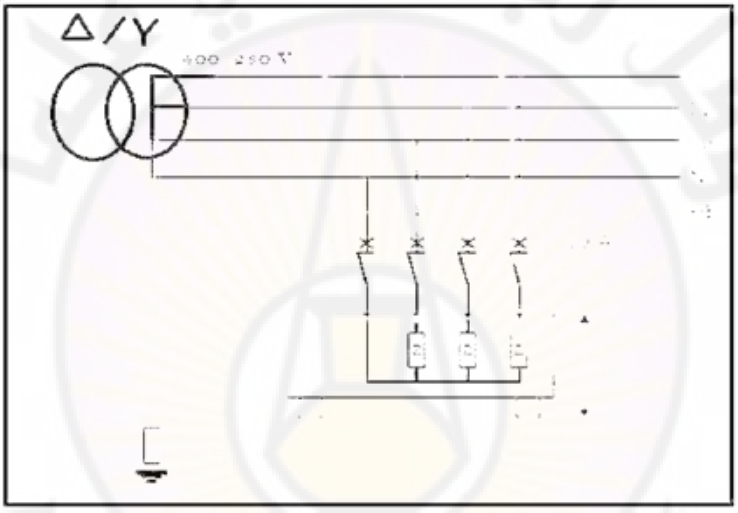
آ-نظام التأريض TN – S:

يستخدم في هذا النوع خمسة نواقل، ثلاثة أطوار + خط حيادي + ناقل حماية أرضي PE (Protective Earth) . الشكل(2-46) يبين مخطط توصيل هذا النوع من التأريض. يمتاز هذا النظام بأن الأرضي مستقل عن الحيادي الأمر الذي يعطي وثوقيه أكبر للنظام، كما أن تيار العطل الأرضي يمثل عطلاً من نوع طور – حيادي، لذلك ومن

أجل حساب تيار العطل نقسم التوتر (توتر الطور) في نقطة العطل على مقاومة الحلقة التي يمر فيها التيار الرضي (مقاومة الخط + مقاومة الخط الأرضي). ولحساب العطل نفترض أن:

$$V = V_{ph} \qquad (2-3)$$

$$\Rightarrow Isc = \frac{V_{ph}}{\text{مقاومة الحلقة}} \qquad (2-4)$$



الشكل (2-46) مخطط التوصيل وفق نظام التأريض TN – S

وهذا يعني أننا نتوقع في هذا النوع من أنظمة التأريض تيارات عطل كبيرة مقارنة مع الـ TT لذلك نعتمد في فصل العطل على قواطع الحماية الحرارية المغناطيسية (لا حاجة للقاطع التفاضلي). إن توتر التماس الذي يظهر في هذا النوع من الأنظمة كبير نسبياً، لذلك يجب تجنب استخدام هذا النظام في مناطق تكثر فيها أخطار الحريق، كما يتطلب هذا النظام التأكد من قيمة تيار العطل إذ يكون كافياً لتشغيل أجهزة الحماية مما يتطلب إجراء حسابات لتيارات القصر أثناء التصميم. بخصوص المغذيات الطويلة لا بد من وضع قيمة للحد الأقصى لطول الناقل المراد استخدامه بتطبيق العلاقة:

$$L_{\max} = 0.8U_0 S_{ph} \frac{1}{\rho(1+m)I_{mag}} \qquad (2-5)$$

حيث:

L_{max} : الطول الأعظمي المسموح به للمغذي كما في الشكل (2-48).

U_n : التوتر الاسمي للنظام للطور الواحد.

S_{ph} : مقطع ناقل الطور.

$m = \frac{S_{ph}}{S_{pE}}$: نسبة مقطع الطور على مقطع ناقل الحماية.

I_{mag} : تيار الفصل المغناطيسي للقاطع الآلي.

تعد هذه العلاقة مهمة جداً إذ بوساطتها يمكن تحديد الطول الأعظمي للمغذي في نظام TN-S حيث تبقى أجهزة الحماية الموضوعة لحماية المغذي فعّالة. في حال عدم تحقق العلاقة (2-4) يمكن اتخاذ الإجراءات التالية:

1- تقليل العيار المغناطيسي للقاطع.

2- رفع مقطع الناقل وجعل مقطع الأرضي يساوي مقطع الطور (غير اقتصادي).

3- استخدام القواطع التفاضلية التي تتحسس للأعطال الأرضية بصورة عامة.

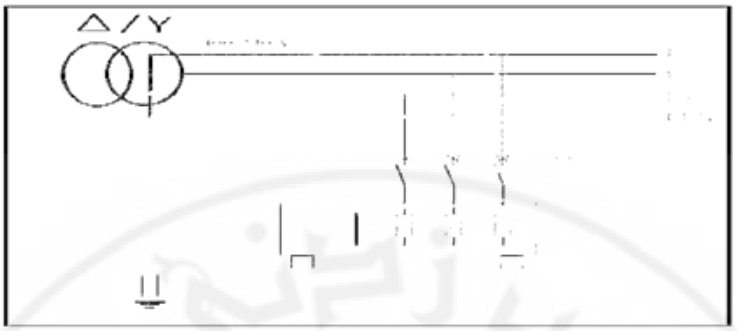
3- ب-نظام التأريض TN - C:

في هذا النوع يوجد لدينا فقط أربع نواقل حيث يشكل ناقل الحماية الأرضي والحيادي ناقلاً واحداً. في هذا النوع يسمى ناقل الحماية الأرضي PEN. الشكل (2-47) يبين طريقة التوصيل وفق هذا النظام. من ميزات هذا النظام توفير استخدام الناقل الخاص، ولكن من مساوئه أن أي قطع بالحيادي يسبب في حال حدوث تماس أرضي ظهور توتر تماس مساوٍ لتوتر الطور وهذا يعد جانباً خطراً من جوانب أداء هذا النظام. تيار العطل في هذه الحالة أيضاً كبير حيث العطل الأرضي هو عطل طور - حيادي. لذلك أيضاً هنا يجب تحقق العلاقة:

$$L_{max} = \frac{0.8 U_n S_{ph}}{\rho (1+m) I_{mag}} \qquad (2-6)$$

حيث:

m_r : تمثل النسبة بين الطور ومقطع الحيادي.



الشكل (2-47) مخطط التوصيل وفق نظام التأريض TN – C

هناك أيضاً حالات يجمع فيها بين النظامين السابقين TN–C+TN–S بشرط أن يسبق نظام TN – C نظام الـ TN – S من جانب المحول. كما في الشكل (2-48).

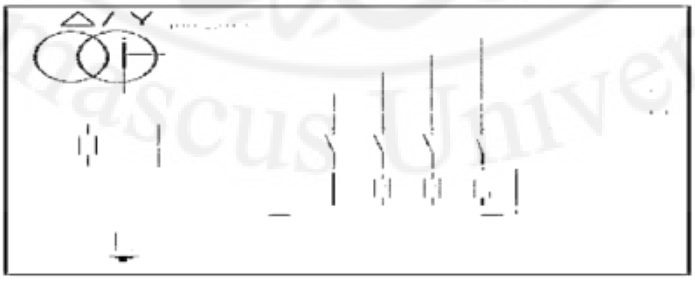


الشكل (2-48) مخطط التوصيل المشترك TN – C – S

عند استخدام نواقل شبكة التأريض أقل من $16\ mm^2$ يجب استخدام نظام TN –S .

II–نظام التأريض IT:

في هذا النظام يكون حيادي المحول معزولاً تماماً عن الأرض أو يؤرض بوساطة مقاومة كبيرة جداً، في هذا النظام لكل جهاز تأريضه الخاص به أو يمكن أن يكون تأريض خاصاً بالمنشأة مع بقاء أرضي مركز التحويل معزولاً. الشكل (2-49) يوضح مخطط التوصيل وفق هذا النظام.

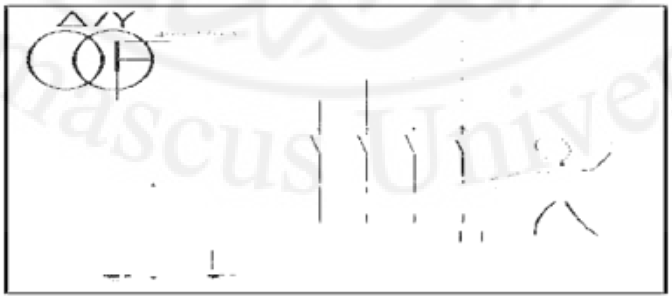


الشكل (2-49) مخطط التوصيل وفق نظام التأريض IT

يتم توصيل الأجزاء المعدنية حماية P_E إلى نقطة تأريض واحدة أو إلى نقاط تأريض مختلفة، ميزة هذا النظام أن تيارات العطل الأرضية شبه معدومة. في هذه الحالة لا يحدث انقطاع بالتغذية نتيجة العطل الأرضي. في هذا النوع لا بد من وضع أجهزة خاصة للتحري عن الأعطال الأرضية، حيث توصل هذه الأجهزة بالحيادي ويوصل خرجها إلى جهاز منبه ضوئي أو صوتي أو كلاهما ينذر عن حدوث العطل الأرضي. إن توتر التماس في هذا النوع صغير (لأن ممانعات السعات التي يعود عبرها تيار العطل يكون كبيراً جداً). هذا النوع من الأنظمة يستخدم في مناطق فيها أخطار الحريق على درجة كبيرة من الأهمية وفي المشافي وخاصة في غرف العمليات والعناية المشددة. يمكن بواسطة محولات عزل بنسبة1/1 الانتقال من أي نظام من الأنظمة السابقة إلى نظام الـ IT.

III-نظام التأريض TT:

في هذا النظام يكون حيادي محول التغذية مؤرض، وفي الوقت نفسه تكون الهياكل المعدنية للأحمال مؤرضة وموصلة إلى قطب أرضي خاص يتم إنشاؤه في موقع هذه الأحمال عن طريق ناقل الحماية PE، إن قيمة تيار العطل الأرضي في هذه الحالة تحددها مقاومة القطب الأرضي لحيادي المحول ومقاومة القطب الأرضي للمنشأة، وهاتان المقاومتان تظهران على التسلسل على مسار تيار العطل. عادة يكون تيار العطل الأرضي في هذا النظام صغيراً نسبياً وغير كاف لتشغيل قاطع الحماية الذي يعمل على زيادة التيار الأمر الذي يحتم في كثير من الأحيان استخدام قواطع الحماية التفاضلية إضافة إلى القواطع العادية. الشكل (2-50) يبين مخطط توصيل هذا النظام.



الشكل (2-50) مخطط التوصيل وفق نظام التأريض TT

نتائج :

- النظام TT الحماية التفاضلية هي الوسيلة الفعالة لفصل التغذية في هذا النظام يستخدم هذا النظام في شبكات التوزيع الهوائية ، المنشآت ذات التوسع الدائم .
- النظام TN-C الحماية المغناطيسية هي الوسيلة الفعالة لفصل التغذية في هذا النظام. يستخدم هذا النظام في الشبكات الصناعية كبيرة الحجم .
- النظام TN-S يمكن أن تكون الحماية المغناطيسية أو التفاضلية هي الوسيلة لفصل التغذية في هذا النظام. يستخدم في الشبكات الصناعية متوسطة وصغيرة الحجم.
- النظام IT لا حاجة لفصل التغذية في هذا النوع من النظام، ويمكن أن تكون الحماية التفاضلية هي الوسيلة لفصل التغذية. يستخدم هذا النظام في الأقسام الهامة في المشافي، الفنادق، منشآت ذات نسبة رطوبة عالية أو تحوي مواد قابلة للانفجار .

2-3-3 عناصر نظام التأريض::Basic Elements of Earthing system

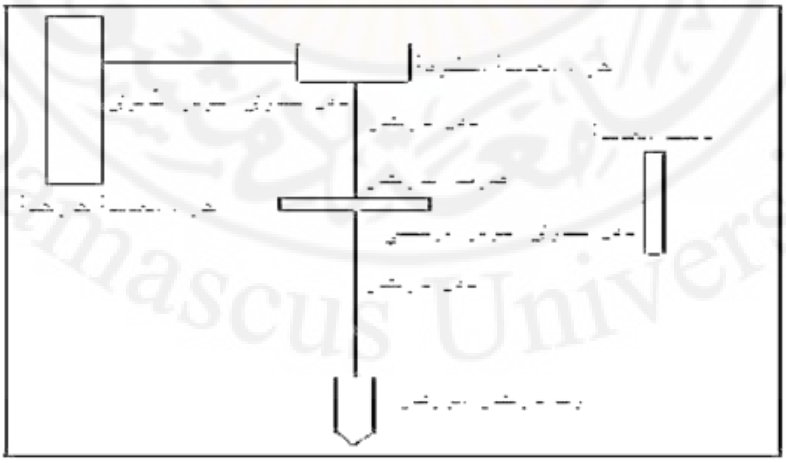
الشكل (2-51) يبين العناصر الرئيسة لنظام التأريض وهي:

1- وتد أرضي أو مجموعة أوتاد مدفونة في الأرض.

2- ناقل التأريض وهو الناقل الذي يربط طرف وتد التأريض بنظام التأريض.

3- نواقل تأريض تصل طرف وتد التأريض بالأجزاء المعدنية المكشوفة.

4- نواقل ربط تساوي التوتر الرئيسة ونواقل ربط تساوي التوتر الثانوية.



الشكل (2-51) العناصر الرئيسة لنظام التأريض

على الرغم من تنوع أنظمة التأريض فإن هناك مجموعة من العناصر التي تشكل قاسما" مشتركا" بين كل أنظمة التأريض. هذه العناصر تسمى عناصر التأريض وهي التالية:

- آبار التأريض أو التربة التي تغرس فيها أوتاد التأريض.
- الأوتاد أو المؤرضات.
- النواقل أو الموصلات.

عند تصميم نظام تأريض لابد من حساب مقاومة العناصر الأخيرة والتأكد من قيم المقاومات لهذه العناصر التي تقع ضمن الحدود التي أقرتها المواصفات العالمية. فيما يلي نقدم شرحا" لطرق حساب مقاومة كل من هذه العناصر.

ا-حساب المقاومة النوعية للتربة:

تتحدد الصفات الكهرو فيزيائية للتربة بمقاومتها النوعية، وهي مقاومة مكعب من التربة طول ضلعه يساوي متراً واحداً وتساوي:

$$\rho = \frac{r.F}{l}, \left[\Omega.mm^2/m\right] or \left[\Omega.m\right] \qquad (2-7)$$

r : المقاومة بالأوم لحجم معين من التربة مساحته F مقدرا" بالمتر المربع وطول ضلعه l مقدرا" بالمتر. الموصلية الكهربائية للتربة هي عكس المقاومة النوعية وتساوي:

$$\gamma_e = \frac{1}{\rho}\left[1/\Omega.m\right] \qquad (2-8)$$

تعتمد المقاومة النوعية والموصلية للتربة على العوامل التالية:

1- نسبة الرطوبة في التربة.
2- التركيب الفيزيائي للتربة.
3- التركيب الكيماوي للتربة.
4- الحرارة.
5- التغيرات الفصلية.

يجب أن تتميز التربة بالمميزات التالية حتى تكون نظاماً أرضياً جيداً:

1- مقاومة كهربائية منخفضة ومقاومة جيدة للصدأ.
2- قابلية تحمل تيارات كهربائية كبيرة وبصورة متكررة.

3- قابلية الاحتفاظ بالخصائص السابقة ثلاثين سنة على الأقل.

حتى نحصل على تأريض جيد، لا بد أن تتوفر العوامل التالية:

أ- مقاومة نوعية منخفضة للتربة واحتواء التربة على درجة عالية من الرطوبة.

ب- أن تكون درجة حرارة التربة فوق درجة التجمد.

وكما ذكرنا سابقاً فإن التربة تتكون من عدد من الطبقات تختلف في مقاومتها النوعية، هذا يمكننا من تقسيم الترب إلى ثلاث طبقات هي:

1- الطبقة العليا تكون مقاومتها النوعية عالية.

2- الطبقة الوسطى تتذبذب المقاومة النوعية لهذه الطبقة.

3- الطبقة السفلى تكون المقاومة النوعية ثابتة.

II-حساب المقاومة النوعية للأوتاد أو قضبان التأريض:

الأوتاد أو قضبان التأريض هي قضبان معدنية يتم دفنها في الأرض، وهي أحد أجزاء شبكة التأريض، وتستخدم من أجل توصيل الأجزاء المعدنية (غير الحاملة للتيار في الظروف العادية) للمعدات الكهربائية بالأرض. تصنع هذه القضبان إما من النحاس أو من الحديد الصلب المغلفن، وتختلف في طولها وقطرها وشكلها حسب المقاومة النوعية للتربة ، ويجب أن تتمتع هذه القضبان بالخصائص التالية:

أ- أن يكون رأسها ذا شكل مخروطي حتى يسهل غرزها في التربة.

ب-أن تتمتع بمتانة ميكانيكية عالية ومقاومة عالية للصدأ.

د-أن تتحمل هذه القضبان مرور تيار عال أثناء حدوث أعطال ولمدة طويلة من الزمن.

إن أبعاد المعدن الذي صنع القضيب منه تؤدي دورا" في تحديد قيمة مقاومته، فمثلا إذا كان مقطع القضيب دائرياً فإن زيادة سماكة القضيب أي زيادة قطره لا تؤدي إلى تخفيض مقاومته تخفيضا كبيرا"، فإذا كان طوله 3 m وقطره 20 mm وتمت زيادة قطره إلى 30mm وكان مطمور في تربة مقاومتها النوعية 100 Ω، فإن هذه الزيادة في القطر تؤدي إلى تخفيض المقاومة بنسبة 15% فقط ، ولذلك لا يمكن أن تستخدم زيادة سماكة القضيب لتقليل مقاومته. أما زيادة طول قضيب التأريض فهي تؤثر تأثيرا" كبيرا" في مقاومته، فمثلاً إن زيادة طول قضيب تأريض ذي قطر 50mm من 1m إلى 3m تؤدي

إلى انخفاض المقاومة بمرتين ونصف. الشكل (2-52) يبين العلاقة بين مقطع الوتد والمقاومة وأيضا بين طول الوتد والمقاومة.

الشكل(2-52) العلاقة بين قطر الوتد والمقاومة وأيضا بين طول الوتد والمقاومة

تصنع أوتاد التأريض من مواد مختلفة أهمها الفولاذ المغلف بالنحاس أو المغلفن، النحاس المصمت. الجدول(2-4) يبين مواصفات لأقطاب التأريض

الجدول(2-4) يبين مواصفات لأقطاب التأريض

نوع القطب الأرضي	فولاذ مغلفن حراريا	نواقل نحاس فولاذ	نحاس
شرائح أو نواقل تأريض تستخدم للوصل بين الأوتاد	شريحة $100\ mm^2$ السماكة الصغرى 3 mm ناقل دائري $95\ mm^2$	$50\ mm^2$	شرائح $50mm^2$ السماكة الصغرى 2mm ناقل دائري $35\ mm^2$
أوتاد تأريض	أنبوب فولاذي 1 أنش زاوية فولاذ 7×65×65 سجاية U 6 مقطع T 6	قطر الفولاذ 15 mm سماكة طبقة النحاس mm 2.5	شريحة $50mm^2$ السماكة الصغرى 2mm ناقل مصمت $35\ mm^2$ أنبوب نحاسي 3 x 30
أوتاد تأريض على شكل صفائح	صفيحة فولاذية سماكة 3 mm	-	صفيحة نحاسية سماكة 2mm

III- حساب مقاومة قضبان التأريض العمودية:

ذكرنا سابقاً أن التربة تتكون عادة من عدة طبقات تختلف في خواصها الكيرو فيزيائية وتركيبها الكيماوي، إن ذلك يؤثر بشكل أو بآخر في قيمة مقاومة قضيب التأريض لذلك سيقتصر حسابنا لمقاومة التأريض لنوعين من التربة هما :

آ-التربة التي تتكون من طبقة واحدة:

تحسب مقاومة قضيب التأريض المدفون عمودياً في تربة من طبقة واحدة كما يلي:

$$r = \frac{0.366}{\ell}\rho\left(\log\frac{2\ell}{d} + \frac{1}{2}\log\frac{4t\ell}{4t-\ell}\right) \qquad (2-9)$$

ρ : المقاومة النوعية للتربة (Ωn).

l: طول قضيب التأريض (m).

d: القطر الخارجي لقضيب التأريض (m).

t: عمق الدفن وهي المسافة من سطح التربة إلى منتصف قضيب التأريض.

إن معادلات حساب مقاومة التأريض هي معادلات تقريبية، ولذلك يوجد عدة معادلات لحساب تلك المقاومة، فبالإضافة إلى العلاقة (2-9) يمكن استخدام العلاقة التالية :

$$r = \frac{\rho}{2\ell}\left[\left(\ln\frac{4\ell}{d/2}\right) - 1\right] \qquad (2-10)$$

$d/2$: نصف قطر القضيب (m).

الشكل(2-53) يبين وتد تأريض عمودي



الشكل(2-53) يبين وتد تأريض عمودي

إذا كان الوتد على شكل زاوية فيمكن أن تكون d في هذه الحالة $d = 0.95b$

ب-التربة التي تتكون من طبقتين:

تستخدم في هذه الحالة المعادلة التالية:

$$r = \frac{0.366\left(\log\frac{2\ell}{d} + \frac{1}{2}\log\frac{4t\ell}{4t-\ell}\right)}{\frac{\Delta\ell_1}{\rho_1} + \frac{\Delta\ell_2}{\rho_2}} \qquad (2-11)$$

ρ_1 : المقاومة النوعية للتربة في الطبقة العليا $(n\Omega.)$.

ρ_2 : المقاومة النوعية للتربة في الطبقة السفلى $(n\Omega.)$.

Δl_1 : طول جزء قضيب التأريض في الطبقة العليا (m).

Δl_2 : طول جزء قضيب التأريض في الطبقة السفلى (m).

d: قطر قضيب التأريض (m).

t: عمق الدفن (m).

l : طول قضيب التأريض (m).

IV-حساب مقاومة التأريض لشرائط التأريض الأفقية:

وتكون هذه إما على شكل شرائط رقيقة أو موصلات دائرية تستخدم للربط بين قضبان التأريض العمودية. ويمكن أن تكون على شكل مؤرضات مستقلة .الشكل(2-54) يبين نموذجا" لهذه الشرائط .

الشكل(2-54) نموذج شريطة تأريض(ناقل يصل بين الأوتاد أو المؤرضات)

لا تتأثر مقاومة هذه الشرائط أو الموصلات كثيراً بعرض الشريط أو قطر الموصل وإنما تعتمد المقاومة على طول الشريط أو الموصل وعلى عمق دفنه في التربة. عادة تدفن المؤرضات الأفقية على عمق يتراوح ما بين 0.6 إلى 0.7 متراً. تحسب مقاومة شريط التأريض باستخدام المعادلة التالية:

$$r_i = \frac{0.336}{L}\rho \lg\frac{2L^2}{bh} \quad [\Omega] \qquad (2-12)$$

حيث:

L: طول شريط التأريض (m).

b: عرض الشريط (m).

h: عمق الدفن (m).

وإذا استبدلنا بالشريطة ناقلاً أو مرساً ذا مقطع دائري فالعلاقة حساب المقاومة تصبح :

$$r_i = \frac{0.336}{L}\rho \lg\frac{L^2}{dh} \quad [\Omega] \qquad (2-13)$$

d: قطر الناقل (m)

٧- مقاومة الأوتاد الأرضية الدائرية:

قد تكون الأوتاد الأرضية على شكل حلقة دائرية، يمكن حساب مقاومة الوتد اعتماداً على عمق الدفن لحالتين:

أ- إذا كان عمق الدفن أقل من نصف قطر الحلقة $\left(t < \frac{D_E}{2}\right)$ فإن المقاومة تحسب من العلاقة:

$$r = \frac{\rho}{2\pi^2 D_E} 2.3\ Log\frac{8D_E^2}{2dt}[\Omega] \qquad (2-14)$$

ب- إذا كان عمق الدفن أكبر من نصف قطر الحلقة $\left(t > \frac{D_E}{2}\right)$ وتساوي المقاومة في هذه الحالة ما يلي:

$$r = \frac{\rho}{2\pi^2 D_E}\left(2.3\ Log\frac{8D_E}{d} + \frac{\pi D_E^2}{2t}\right)[\Omega] \qquad (2-15)$$

ρ : المقاومة النوعية للتربة $(n\Omega.)$.

D_E : قطر الحلقة الدائرية (m).

D : سماكة الحلقة أو قطر الموصل المصنوعة منه (m).

t : عمق الدفن (m).

أما إذا كانت الحلقة مصنوعة من شريط فبدل سماكة الحلقة نستخدم عرضها إذ إن:

$$d = b/2 \qquad (2-16)$$

وفي بعض الأحيان تصنع الحلقة على شكل مستطيل بدلاً الدائري، إذاً في هذه الحالة:

$$D_E = \frac{2(L+W)}{\pi} \qquad (2-17)$$

L: طول المستطيل (m).

W: عرض المستطيل (m).

VI-حساب مقاومة التأريض للصفائح المعدنية:

يمكن حساب مقاومة صفيحة معدنية مطمورة في التربة بشكل عمودي وذلك باستخدام المعادلة التقريبية التالية:

$$R_i \approx \frac{\rho}{4\sqrt{A.B}} \qquad (2-18)$$

الشكل(2-55) يبين مقطع في هذه الصفيحة .

الشكل(2-55) قطب تأريض على شكل صفيحة عمودية

حيث :

a , b هي أطوال أضلاع الصفيحة المعدنية (m).

VII- عامل الاستفادة للمؤرضات:

إن الطريقة المتبعة للتقليل من قيمة مقاومة التأريض هي غرس عدة أوتاد يصل بينها الناقل الأرضي الرئيسي. يبدو لأول وهلة أن المقاومة المكافئة هي مجموع المقاومات لكل وتد على حدة، وهي التي تكون مربوطة على التفرع، ولكن في الحالة العملية إن لهذه الأوتاد تأثيراً متبادلاً يزيد من مقاومة انتشارها بسبب تعاكس الحقول الناجمة عن كل وتد. يعبر عن هذا التأثير بعامل يسمى بعامل الاستفادة وهو عامل أصغر من الواحد وتتعلق قيمته بترتيب الأوتاد وعددها وطول كل وتد وبعدها عن بعضها. الشكل(2-56) يبين التأثير المتبادل للأوتاد على بعضها.

الشكل(2-56) التأثير المتبادل للأوتاد على بعضها

تحسب مقاومة التأريض من العلاقة :

$$R_e = \frac{R_o}{n} \times \frac{1}{\eta_i} \qquad (2-19)$$

حيث:

R_e : المقاومة الأرضية (Ω).

R_o : المقاومة للمؤرض الواحد (Ω).

n : عدد المؤرضات المدفونة.

η_i : عامل الاستفادة.

ومن ناحية عملية لا نستطيع جعل المسافات بين الأوتاد كبيرة حيث ينعدم تأثيرها على بعضها البعض، لأن ذلك يتطلب مساحة كبيرة، لذلك لا بد أن نأخذ بالحسبان ما يسمى بعامل الاستفادة وهو قيمة عددية تعبر عن تأثير المؤرضات بعضها في بعض.

يعطى عامل الاستفادة بالعلاقة:

$$\eta = \frac{R_o}{R_e} \qquad (2-20)$$

حيث:

η : عامل الاستفادة وهذا العامل هو دوماً أقل من واحد صحيح.

وباستخدام مفهوم عامل الاستفادة يمكننا إيجاد المقاومة الأرضية لأنواع مختلفة من المؤرضات كما يلي:

المقاومة الأرضية لمجموعة مؤرضات أفقية تساوي:

$$R_e = \frac{R_h}{\eta_h} \qquad (2-21)$$

المقاومة الأرضية لمجموعة مؤرضات عمودية تساوي:

$$R_e = \frac{R_v}{\eta_v \cdot n_v} [\Omega] \qquad (2-22)$$

المقاومة الأرضية لمجموعة مؤرضات عمودية مرتبة في صف تساوي:

$$R_e = \frac{R_h}{\eta_{hL}} [\Omega] \qquad (2-23)$$

المقاومة الأرضية لمجموعة مؤرضات عمودية مرتبة في حلقة مغلقة تساوي:

$$R_e = \frac{R_h}{\eta_{hC}} [\Omega] \qquad (2-24)$$

حيث:

R_h : مقاومة الناقل الأرضي الذي يربط بين المؤرضات $[\Omega]$.

R_v : مقاومة المؤرض العمودي $[\Omega]$.

n_v : عدد المؤرضات العمودية.

η_{hC} ، η_{hL} ، η_v ، η_h : عوامل الاستفادة.

تعطى قيمة هذا العامل في جداول أو منحنيات خاصة، الجداول التالية تبين قيمة عامل الاستفادة في الحالات المختلفة.

جدول (2-5) عامل الاستفادة (η_h) للشرائط الأرضية الأفقية المتوازية

طول ناقل التأريض	عدد النواقل المتوازية	المسافة بين الأشرطة المتوازنة (مترا)				
		1	2.5	5	10	15
15	2	0.55	0.65	0.75	0.80	0.85
	5	0.37	0.49	0.60	0.73	0.79
	10	0.25	0.37	0.49	0.46	0.72
25	2	0.50	0.60	0.70	0.75	0.80
	5	0.35	0.45	0.55	0.66	0.73
	10	0.23	0.31	0.43	0.57	0.66
50	2	0.45	0.55	0.65	0.70	0.75
	5	0.33	0.40	0.48	0.58	0.65
	10	0.20	0.27	0.35	0.46	0.53

ناقل التأريض هو شريطة من النحاس عرضها 20-40 mm وعمق الدفن 0.8 m -0.3.

جدول (2-6) عامل الاستفادة لمجموعة مؤرضات (أوتاد) عمودية ($\eta_{v,L}$) مطمورة في الأرض مرتبة في صف بدون تأثير شرائط الربط(نواقل التأريض)

نسبة المسافة بين المؤرضات a إلى طول الوتد l أي	عدد المؤرضات	$\eta_{v,L}$
1	2	0.87 – 0.84
	3	0.80 – 0.76
	5	0.72 – 0.67
	10	0.62 – 0.56
	15	0.56 – 0.51
	20	0.50 – 0.47
2	2	0.92 – 0.90
	3	0.88 – 0.85
	5	0.83 – 0.79
	10	0.7 – 0.72
	15	0.73 – 0.66
	20	0.70 – 0.65
3	2	0.95 – 0.93
	3	0.92 – 0.90
	5	0.88 – 0.85
	10	0.83 – 0.79
	15	0.80 – 0.76
	20	0.79 – 0.74

جدول (2-7) عامل الاستفادة لمجموعة مؤرضات عمودية مطمورة ومرتبة في حلقة مغلقة ($\eta_{v,C}$) بدون تأثير شرائط الربط

نسبة المسافة بين المؤرضات a الى طول الوتد l	عدد المؤرضات	$\eta_{v,C}$
1	4	0.72 – 0.66
	6	0.65 – 0.58
	10	0.58 – 0.52
	20	0.50 – 0.44
	40	0.44 – 0.38
	60	0.42 – 0.36
2	4	0.80 – 0.76
	6	0.75 – 0.71
	10	0.71 – 0.66
	20	0.66 – 061
	40	0.61 – 0.55
	60	0.58 – 0.52

3	4	0.86 – 0.84
	6	0.82 – 0.78
	10	0.78 – 0.74
	20	0.72 – 0.68
	40	0.69 – 0.64
	60	0.67 – 0.62

جدول (2-8) عامل الاستفادة ($\eta_{h.L}$) للشرائط الأفقية التي تصل بين المؤرضات العمودية المرتبة في صف

نسبة المسافة بين المؤرضات العمودية إلى طول المؤرض $\frac{a}{l}$	عدد المؤرضات العمودية						
	4	6	8	10	20	30	50
1	0.54	0.40	0.36	0.34	0.27	0.24	0.21
2	0.55	0.48	0.43	0.40	0.32	0.30	0.28
3	0.70	0.64	0.60	0.56	0.45	0.41	0.37

جدول (2-9) عامل الاستفادة ($\eta_{h.C}$) للشرائط الأفقية التي تصل بين المؤرضات العمودية المرتبة في حلقة مغلقة

المسافة بين المؤرضات العمودية إلى طول المؤرض $\frac{a}{l}$	عدد المؤرضات العمودية						
	4	6	8	10	20	30	50
1	0.77	0.74	0.67	0.62	0.42	0.31	0.21
2	0.89	0.86	0.79	0.75	0.56	0.46	0.31
3	0.92	0.90	0.85	0.82	0.68	0.58	0.49

VIII- المقاومة الأرضية لشريط مدفون بشكل شعاعي:

تستخدم المقاومة الأرضية على شكل شعاع في تأريض خطوط نقل الطاقة الكهربائية وتأريض بعض المنشآت والمباني. وهي تتكون من شريط فولاذي مدفون في الأرض على عمق يتراوح بين 0.3-0.8 m على شكل شعاع.

ويمكن حساب المقاومة الأرضية باستخدام المعادلة التالية:

$$R_c = \frac{R_1}{n.\eta}[\Omega] \qquad (2-25)$$

R_1 : مقاومة شريط أحد الأشعة بالأوم $[\Omega]$.

n: عدد الأشعة المتفرعة في الأرض $[\Omega]$.

η : معامل الاستفادة.

VIIII- تخفيض المقاومة النوعية للتربة:

نصادف كثيراً في الحياة العملية تربة ذات مقاومة نوعية عالية (تربة رملية أو صخرية) أو تربة تتعرض للتجمد (المناطق الباردة جداً) فترة طويلة أو للجفاف (المناطق الصحراوية)، في مثل هذه الحالات يصعب الحصول على قيمة مقاومة أرضية صغيرة ضمن الحدود المسموح بها حسب المواصفة العالمية، لذلك لابد من معالجة التربة لتقليل مقاومتها النوعية بإحدى الطرائق التالية:

أ- استخدام مؤرضات مدفونة في الأرض على عمق كبير وهي الطريقة الأفضل حالياً.

ب- معالجة التربة.

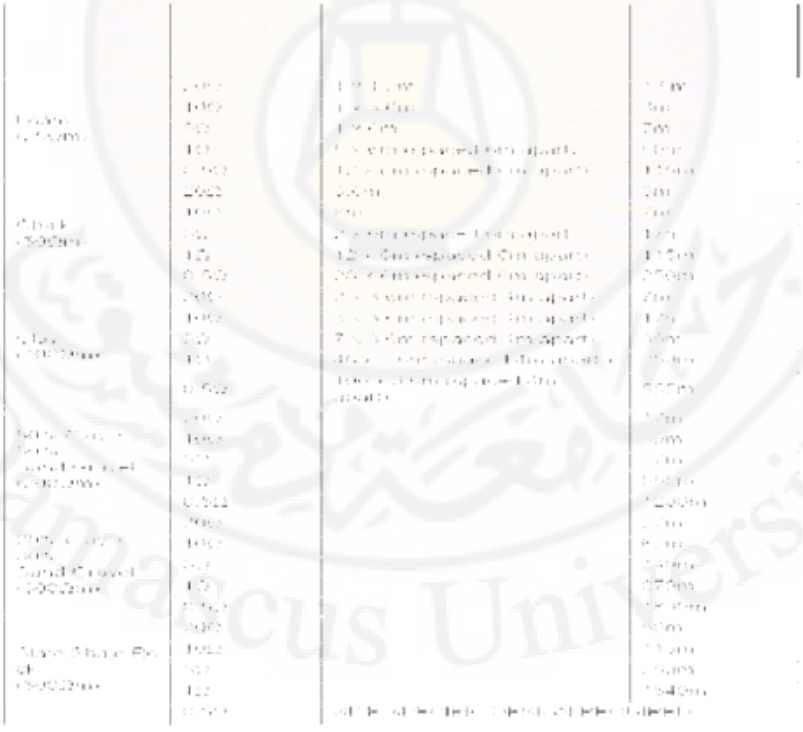
من المعروف أن الرطوبة تزيد في التربة بزيادة العمق وكذلك فإننا كلما اتجهنا من السطح نحو عمق التربة يقل تأثر التربة بعوامل الجفاف والتجمد. لذلك ففي التربة التي تكون مقاومتها النوعية عالية كالتربة الرملية مثلاً، يمكننا دفن المؤرضات على عمق كبير حيث تقل المقاومة النوعية. إن إحدى الطرائق الفعالة في تقليل مقاومة التربة هي معالجتها وذلك لتقليل مقاومة المؤرض الأرضي بزيادة مساحة التلامس مع الأرض، ويمكن ذلك بإضافة الأملاح مثل كبريتات المغنيزيوم – كبريتات النحاس – الكربون أو الفحم – ويمكن إضافة برادة الحديد كذلك يمكن معالجة التربة بإضافة تراب زراعي رطب. إن إضافة الملح إلى التربة الرطبة تقلل من المقاومة النوعية للتربة، فقد دلت التجارب على أن إضافة 0.1 كغ من ملح الطعام إلى التربة تسبب تقليل المقاومة النوعية للتربة بنسبة 80% ، وعادة تتم المعالجة بالملح في المنطقة المحيطة بالمؤرض، حيث يضاف الملح إلى منطقة أسطوانية محيطة بالمؤرض بقطر يساوي 0.5m ويضاف الملح في طبقات سماكتها 0.01m ويضاف الماء إلى تلك الطبقة بمعدل 1 – 1.5 لتر لكل كغم

ملح. وقد بينت نتائج القياس أن هذه الطريقة تؤدي إلى تقليل المقاومة النوعية للتربة بمعدل 1.5 – 2 مرة وذلك للتربة المكونة من الطفّال الرملي وبمعدل 4.5 – 8 مرات للتربة الرملية، لكن بمرور الزمن تفقد هذه المعالجة قيمتها بسبب ذوبان الأملاح في التربة وتسربها من مكان المعالجة لذلك يجب إجراء قياسات دورية لمقاومة الأرضي. الجدول(2–10–آ) يبين قيمة المقاومة النوعية لمختلف أنواع الترب ، أما في الجدول(2–10–ب) فيبين قيمة المقاومة وعدد الألكترودات اللازمة.

جدول(2–10–آ) قيمة المقاومة النوعية لمختلف أنواع الترب

نوع التربة	ارض مستنقعات	ارض ملحية	أراضي زراعية طينية	رمل رطب	كلسية رطبة	رمل أو حصى جاف	ارض صخرية
المقاومة النوعية بالأوم متر	20	30	100	200	500	1000	3000

جدول(2–10–ب) قيمة مقاومة مختلف أنواع الترب وعدد الألكترودات اللازمة



Notes:

1. Earth rods - 16mm diameter rods
2. Horizontal conductor - 70mm² bare copper buried at a minimum depth of 600mm

X- الشروط الواجب توفرها في شبكة التأريض:

في الشبكات ذات توتر أكبر من 1000 V و تيارات قصر كبيرة ، والتي تؤرض فيها نقطة الحيادي فيها مباشرة أو بمقاومة صغيرة وهي التي تزيد قيمة تيارات القصر فيها عن 500 A يجب ألا تزيد مقاومة التأريض عن $R \leq 0.5\Omega$ ، علما" أن هذه القيمة تؤدي عند توفر تيار قصر قيمته 500 A إلى تشكل توتر قيمته 250 V. لذا يجب رفع مقاومة الإنسان بطريقة ما عند لمسه للهياكل المعدنية المؤرضة. أما في الشبكات ذات توتر أكبر من 1000 V وتيارات قصر صغيرة يجب أن لا تزيد قيمة التوتر المتشكل في هذه الشبكات نتيجة حصول عطل ما عن250V ومقاومة تأريض لا تزيد عن $R \leq 10\Omega$ ، أي إن تيار القصر في هذه الحالة يجب أن لا يتعدى 25 A. في الشبكات ذات التوتر أقل من 1000 V يجب أن تكون مقاومة التأريض $R \leq 5\Omega$ في مركز التحويل، أما في الشبكات فيتم تحديد قيمة مقاومة التأريض حسب الاستطاعة المنقولة على الشبكة بالإضافة إلى اتخاذ الإجراءات التالية :

- تركيب مؤرضات على طول الشبكة و بتباعد 200 m- 250 بين كل مؤرض.
- تركيب مؤرض عند كل علبة وصل أو توزيع رئيسية.
- يجب أن لا تزيد مقاومة التأريض الإضافي عن 10Ω في فصل الجفاف.

XI- طريقة حساب نظام التأريض:

إن المقصود بحساب نظام التأريض هو معرفة عدد المؤرضات ونوعها وطريقة ترتيبها، حيث نحصل على مقاومة الأرضي اللازمة التي تحددها المواصفات العالمية. يتم الحساب باستخدام ما يسمى عوامل الاستفادة حسب الترتيب التالي:

1- يتم حساب تيار العطل (تيار قصر الطور إلى الأرض) وبعدها نحسب المقاومة.
2- يتم قياس مقاومة التربة في المكان الذي سيتم فيه تركيب نظام التأريض.
3- نحدد شكل نظام التأريض بصورة مبدئية كأن يكون هذا النظام مكوناً من مؤرضات عمودية مرتبة في خط وتصل فيما بينها شرائط تأريض، أو في حلقة مغلقة (مربع، مستطيل) تصل فيما بينها شرائط تأريض.

4- يتم حساب قيمة مقاومة المؤرض العمودي باستخدام المعادلة (9-1) أو المعادلة(10-2) ، ثم يتم حساب عدد المؤرضات العمودية بصورة تقريبية باستخدام المعادلة (22- 2) وبمعرفة عامل الاستفادة التقريبي من جداول (2-5)، (2-6)، (2-7) ، إذ لا بد أن نشير إلى أن المسافة بين المؤرضات العمودية يجب أن لا تقل عن طول المؤرض حتى لا يحدث تداخل بينها، كذلك لا بد أن نهتم بطريقة ترتيب هذه المؤرضات حيث يكون حجم الأعمال اللازمة لطمرها أقل ما يمكن.

5- يتم تحديد طول شريط الربط بين المؤرضات حسب شكل وترتيب هذه المؤرضات، ثم نحسب مقاومة هذه الشرائط باستخدام المعادلة (15-2).

6- يتم تحديد أقصى قيمة لمقاومة المؤرضات العمودية من المعادلة التالية:

$$R_v \le \frac{r_h . R_e}{r_h . R_e} \qquad (2-26)$$

7- من المعادلة (22-2) تحدد عدد المؤرضات العمودية باستخدام عامل الاستفادة.

تطبيق:

المطلوب إيجاد الشبكة الأرضية المطلوبة لتحقيق مقاومة تأريض 3Ω باستخدام أوتاد تأريض بطول 3 m وقطر 5 cm إذا كانت المقاومة النوعية للتربة $100\ \Omega m$:

1"- حساب مقاومة التأريض للوتد الواحد بفرض أن عمق غرس الوتد تحت سطح التربة هو 0.5m. بما أن الوتد مغروس تحت الأرض بمسافة 0.5 m، لذلك فإن h يحسب كما يلي :

$$h = 0.5 + \frac{L}{2} = 0.5 + \frac{3}{2} = 2m$$

يمكن حساب مقاومة التأريض من إحدى العلاقتين:

$$r = \frac{0.366}{\ell}\rho\left(\log\frac{2\ell}{d} + \frac{1}{2}\log\frac{4t\ell}{4t-\ell}\right)$$

أو

$$R_i = \frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{2L}{d} + \frac{1}{2}\ln\frac{4h+1}{4h-1}\right)$$

$$R_i = \frac{100}{2X3.14X3}\left(\ln\frac{6}{0.05} + \frac{1}{2}\ln\frac{4X2+1}{4X2-1}\right) = 26\Omega$$

2"- تحديد عدد الأوتاد والنسبة a/l :

لتحقيق قيمة مقاومة التأريض المطلوبة 3Ω نختار عدد الأوتاد المطلوبة بحدود ثمانية أوتاد تتباعد فيما بينها بنسبة a/l=2 .

3"- حساب المقاومة بعد أخذ عامل الاستفادة بعين الاعتبار :

لأخذ عامل الاستفادة بعين الاعتبار نعود إلى الجدول (2-6) نجد أن قيمة عامل الاستفادة المقابلة لثمانية أوتاد هي $\eta_i = 0.75$ فتكون مقاومة التأريض المكافئة و الناجمة عن استخدام ثمانية أوتاد تأريض حسب العلاقة (2-19)

$$R_{i8} = \frac{26}{8}\frac{1}{0.75} = 4.33\Omega$$

4"- حساب مقاومة ناقل التأريض الأرضي: إن طول هذا الناقل يحسب كما يلي:

$$L = a(n-1) = 6(8-1) = 42m$$

حيث a الفتحة بين الأوتاد n عدد الأوتاد.

من الجدول (2-4) نجد أن عامل الاستفادة هو : $\eta_h = 0.79$

حسب العلاقتين (2-13) و (2-19)

$$R_h = \frac{0.336}{L}\rho\left(\lg\frac{L^2}{dh}\right)\frac{1}{\eta_h}$$

حيث h هي عمق غرس الناقل و يساوي 50 cm .

فإذا تم اختيار ناقل نحاس مقطع 35mm2 يكون d= 0.007 m .

$$R_h = \frac{0.336}{42}\times 100(\lg\frac{42^2}{0.007\times 0.5})\times\frac{1}{0.79} = 5.77\Omega$$

5"- حساب المقاومة المكافئة (مقاومة التأريض):

$$R_e = \frac{R_h.Ri_8}{R_h + Ri_8} = \frac{5.77\times 4.33}{5.77+4.33} = 2.47\Omega$$

والقيمة محققة.

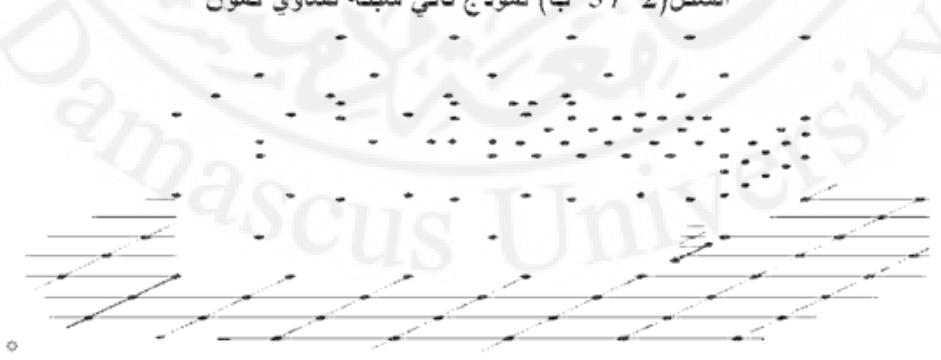
ملاحظة هامة :

قد نحتاج في بعض الأماكن من تحقيق مقاومة تأريض مساوية للصفر مثل غرف العمليات وغرف التحكم والقيادة، هنا تصمم شبكة قضبان معدنية توضع تحت المبنى وتربط شبكة التأريض إليها، هذه الشبكة تسمى شبكة تساوي الكمون. الأشكال(2-57-آ-ب-ج) يبين نموذج لهذه الشبكة .

الشكل(2-57-آ) نموذج أول شبكة تساوي كمون



الشكل(2-57-ب) نموذج ثاني شبكة تساوي كمون



الشكل(2-57-ج) نموذج ثالث شبكة تساوي كمون

4-2 شبكات الحماية من الصواعق : Lightning Networks

تعرف الصاعقة بأنها تيار كهربائي عالي القيمة يتم تفريغه في الأرض ، حيث تشكل الغيوم مع الأرض مكثفا" كهربائيا" مشحونا" وعندما يصل الشحن في هذا المكثف إلى حد الانهيار تمر الشحنات بين لبوسيه وتتكون عندها الصاعقة. تعتبر حماية المباني والمنشآت من الصواعق أحد الفصول الرئيسية في دراسة أي مشروع تغذية كهربائية للمباني. المذكرة الحسابية لهذه الدراسة ليست معقدة خاصة أن المواصفة العالمية IEC 62305-1 وضعت أسس هامة لإنجاز مثل هذه الدراسات. قبل البدء بدراسة أي تصميم حماية لابد من تحديد قيمة عامل تصميمي مهم وهو درجة الحماية من الصواعق، وتعرف درجة الحماية من الصواعق بأنها مدى فعالية نظام الحماية في حماية المنشأة التي ركب فيها .تصنف درجة الحماية حسب المواصفات القياسية الدولية IEC إلى أربع درجات تتعلق بقيمة تيار الصاعقة المتوقع . الجدول (2-11) يبين القيم العليا والدنيا لقيم تيار الصاعقة واحتمال حدوثه عند كل درجة من درجات الحماية، أما الجدول (2-12) يوضح النسبة المئوية لمدى فعالية نظام الحماية في حماية المنشأة حسب درجة الحماية التي يجب تأمينها .

جدول(2-11) القيم العليا والدنيا لقيم تيار الصاعقة واحتمال حدوثه عند كل درجة حماية

Maximum values (dimensioning criteria)			Minimum values (dimensioning criteria)			
Lightning protection level	Maximum peak value of the lightning current	Probability that the actual lightning current is smaller than the maximum peak value of the lightning current	Lightning protection level	Minimum peak value of the lightning current	Probability that the actual lightning current is greater than the minimum peak value of the lightning current	Rolling sphere radius
I	200 kA	99 %		3 kA	99 %	20 m
I	150 kA	98 %	II	5 kA	97 %	30 m
II	100 kA	95 %	I	10 kA	91 %	45 m
IV	100 kA	95 %	IV	16 kA	84 %	60 m

جدول (2-12) النسبة المئوية لمدى فعالية نظام الحماية حسب درجة الحماية

النسبة المئوية لمدى فعالية نظام الحماية	درجة الحماية
0.98	1
0.95	2
0.9	3
0.8	4

تتعلق قيمة درجة الحماية بعدد الانفراغات البرقية Nc المسموح أن تصيب المنشأة التي ركبت فيها في العام الواحد وتحدث فيها خسائر ،و تعطى قيمتها Nc بالعلاقة (2-27):

$$N_c = A.B.C \qquad (2-27)$$

A : عامل يتعلق بشكل البناء.

B: عامل يتعلق بوظيفة البناء ومحتوياته.

C: عامل يتعلق بطبيعة الخسائر التي تسببها الصواعق .

1- العامل A :

يحسب من العلاقة (2-28):

$$A = A1.A2.A3.A4 \qquad (2-28)$$

A1 : تتحدد بنوع الجدران، الجدول (2-13) يبين قيم هذا البارامتر .

جدول (2-13) قيم البارامتر **A1**

A1	نوع الجدران
5	بيتون مسلح
4	بيتون مسبق الصنع
0.5	بلوك بدون تسليح
0.1	خشب أو مواد أخرى قابلة للاشتعال

A2 : تحدد قيمته بنوع السطح كما في الجدول(2-14)

جدول (2-14) قيم البارامتر A2

نوع السطح	A2
حديد	4
بيتون مسلح	2
صاج	2
خشب	0.1

A3 : تتحدد قيمته بمواد السقف كما في الجدول (2-15)

جدول (2-15) قيم البارامتر A3

مواد السطح	A3
تسليح	4
صاج	2
قرميد	1
أترنيت – بلاستيك	0.5
خشب	0.05

A4 : تتحدد قيمته بالتجهيزات الموجودة على السطح كما في الجدول (2-16)

جدول (2-16) قيم البارامتر A4

التجهيزات الموجودة على السطح	A4
لا يوجد	1
أجهزة كهربائية وهوائيات مؤرضة جيدا	0.5
أجهزة إلكترونية حساسة	0.2
كاميرا مراقبة – أجهزة تحكم	0.1

2- العامل B : يعطى هذا العامل بالعلاقة :

$$B = B1.B2.B3.B4 \qquad (2-29)$$

حيث تتحدد قيمة **B1** بدرجة استخدام المبنى من قبل الأشخاص كما في الجدول (2-17)

جدول (2-17) قيم البارامتر B1

B1	درجة الاستخدام من قبل الأشخاص
1	غير مستخدم
0.1	مستخدم بشكل عادي
0.01	مستخدم بشكل كبير جداً

B2: تتحدد قيمته بنوع المواد الموجودة في المبنى كما في الجدول (2-18)

جدول (2-18) قيم البارامتر B2

B2	نوع المواد الموجودة في المبنى
1	مواد صعبة الاحتراق أو الاشتعال
0.2	مواد قابلة للاشتعال
0.1	مواد قابلة للانفجار
0.01	مواد كيميائية تشكل خطراً على البيئة

B3 : تتحدد قيمته بقيمة المواد الموجودة في المبنى كما في الجدول (2-19)

جدول (2-19) قيم البارامتر B3

B3	قيمة المواد الموجودة في المبنى
1	مواد عادية
0.2	مواد قيمة
0.1	مواد عالية القيمة

B4 : تحدد قيمته حسب إجراءات الحماية الموجودة في المبنى للحد من الخسائر التي من الممكن أن تحدث جراء الصاعقة كما في الجدول (2-20).

جدول (2-20) قيم البارامتر B4

B4	إجراءات الحماية المجودة للحد من الخسائر
10	إطفاء آلي

إطفاء عادي	5
جرس إنذار عن الحريق	2
عدم وجود أي إجراء	1

3- العامل C :تعطى قيمة هذا العامل من العلاقة (2-30)

$$C = C1.C2.C3 \qquad (2-30)$$

C1 : تتحدد قيمته بالخسائر البيئية الناتجة عن إصابة المبنى كما في الجدول (2-21).

جدول(2-21)قيم البارامتر C1

الخسائر البيئية	C1
لا يوجد	1
عادية	0.5
عالية	0.1
عالية جداً	0.01

C2 : تتحدد قيمته بنوعية الخدمات التي يتم تأمينها في المبنى كما في الجدول(2-22).

جدول(2-22)قيم البارامتر C2

انقطاع في خدمات ضرورية	C2
لا يوجد	1
خدمات عادية	0.1
خدمات ضرورية	0.01

C3 : تتحدد قيمته بحجم الخسائر الأخرى كما في الشكل(2-23).

جدول(2-23)قيم البارامتر C3

خسائر أخرى	C3
قليلة	1
عادية	0.5
عالية	0.1
عالية جداً	0.01

بعد حساب العامل N_c تتم مقارنة قيمته مع عامل آخر N_D (عدد الحوادث الخطرة للانفراغ المباشر في المنشأة) ، إذ يمكن تمييز الحالات التالية :

- إذا كان $NC > ND$ يجب تنفيذ نظام حماية من الصواعق .
- إذا كان $ND > NC$ لا توجد ضرورة لتنفيذ نظام حماية من الصواعق، وهذا لا يعني أن الصاعقة لا تصيب هذه المنشأة ، ولكن في حال إصابتها تبقى الخسائر قليلة .

يتم تحديد درجة الحماية وفق العلاقة التالية :

$$E = 1 - \frac{N_c}{N_d} \qquad (2-31)$$

E: درجة الحماية.

بناءا" على قيمة E يمكن تحديد تصنيف درجة الحماية كما في الجدول (2-24) .

جدول (2-24) تحديد تصنيف درجة الحماية

مجال قيمة E	درجة الحماية
$E > 0.98$	حماية من الدرجة الأولى مع إجراءات
$0.95 > E \leq$	حماية من الدرجة الأولى .
$0.90 < E <$	حماية من الدرجة الثانية .
$0.8 < E < 0.9$	حماية من الدرجة الثالثة .
$0 < E < 0.8$	حماية من الدرجة الرابعة
$E \leq 0$	لا حاجة للحماية من الصواعق

2-4-1 تصميم العناصر الرئيسة لنظام الحماية من الصواعق :

BASIC ELEMENTS OF LIGHTNING SYSTEM

يتكون نظام الحماية من الصواعق من العناصر التالية :

- شبكة الحماية الخارجية (الإبر + قفص فارادي+ النوازل).
- التأريض.

- تجهيزات حماية داخلية متممة .

يتم تصميم هذه العناصر حسب المواصفة العالمية IEC62305 وفق ما يلي:

ا-شبكة الحماية الخارجية:

تتكون شبكة الحماية الخارجية من المكونات التالية:

آ- الإبرة (أبرة فرانكلين):

تسمى أيضا بالالقط وتركب في أعلى نقطة من النظام، وهي الجزء من النظام الذي يلتقط الصاعقة ويمررها إلى باقي أجزاء النظام. يمكن التمييز عمليا بين نوعين من الإبر :

- **الإبر العادية :** وهي عبارة عن قضيب معدني ذي ناقلية جيدة للتيار الكهربائي مدبب الرأس طوله يختلف من حالة لأخرى .

- **الإبر النبضية :** وهي عبارة عن جهاز يولد نبضات كهربائية بتردد محدد، إذ ترسل الإبرة النبضات في الفضاء حول رأسها وبذلك يمكن التقاط الصاعقة في الفضاء من مسافة أعلى بكثير من الإبر العادية وذلك لأن مسار النبضة في الفضاء يعتبر امتدادا" لرأس الإبرة وبذلك يكون طول الإبرة في هذه الحالة محددا" بمكان وصول النبضة في الفضاء. من أهم ميزات هذه الإبر أنها تؤمن دائرة حماية كبيرة إلا أن وتوقيتها ليست 100% كما في حالة الإبر العادية . الشكل(2- 58- آ -ب) يبين نموذج إبره عادية وزاوية الحماية لها .



الشكل(2- 58-آ) نموذج إبرة عادية **الشكل(2-58- ب) زاوية الحماية للإبرة**

تحسب زاوية الحماية للإبرة من العلاقة(2-32) :

$$r_x = 1.5(h - 1.25h_x) \qquad (2-32)$$
$$h \lhd h_x \lhd 0$$

h_x : ارتفاع البناء المراد حمايته .

h : ارتفاع الإبرة عن سطح الأرض (ارتفاع الإبرة نفسها + ارتفاع البناء)

r_x : نصف قطر دائرة الحماية .

في حال استخدام أكثر من إبرة وليكن إبرتين مثلا كما في الشكل (2-59).

الشكل(2-59) استخدام إبرتين لحماية منشأة

إن منطقة الحماية المحصورة بين هاتين الإبرتين تحسب من العلاقة التالية :

$$r_{ox} = 1.5(h_o - 1.25h_x) \qquad (2-33)$$

r_{ox} : هو البعد بين خطوط التقاء دائرتي الحماية .

h_o : ارتفاع منطقة الحماية عن منتصف البعد بين الإبرتين ويعطى بالعلاقة التالية :

$$h_o = 4h\sqrt{9h^2 + 0.25a^2} \qquad (2-34)$$

a : هو البعد بين إبرتي الحماية .

المواصفة IEC62305 أعطت جداول تمكننا من حساب تدلي نصف قطر دائرة الحماية عن المستوي الأفقي للإبرتين، الشكل (2-60) يبين تدلي نصف قطر دائرة الحماية بين إبرتين.

الشكل(2-60) تدلي نصف قطر

الجدول(2-25) يبين قيم تدلي نصف قطر دائرة الحماية بين الإبرتين مختلفة . إن الإبرة تؤمن منطقة حماية على شكل مخروط، أو بشكل خيمة إذا تم تمديد الكابل مثلاً بالأعلى فوق القضبان. الشكل(2-61) يبين أشكال مختلفة لزوايا الحماية .

جدول(2-25) قيم تدلي نصف قطر دائرة الحماية في حال استخدام إبرتي حماية

Distance between the air termination rods [m]	Class of LPS with rolling sphere radius [m]			
	I (20 m)	II (30 m)	III (45 m)	IV (60 m)
2	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
4	0.10	0.07	0.04	0.02
6	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
8	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
10	0.64	0.42	0.28	0.21
12	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
14	1.27	0.83	0.55	0.40
16	1.67	1.09	0.72	0.54
18	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
20	2.48	1.62	1.13	0.82
23	3.04	2.03	1.40	1.01
26	[illegible]	[illegible]	1.82	1.31
28	4.23	2.74	2.40	1.78
32	5.00	3.62	2.94	2.17
35	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]



الشكل(2-61) زوايا حماية مختلفة

وفي جميع الأحوال يعطي الجدول (A-6) قيم زاوية الحماية بدلالة طول الإبرة وبعد طرف المنشأة عن مركز الإبرة .

ب- شبكة أسلاك الحماية على سطح المنشأة (قفص فارادي):

برهن غاوص أن شدة الحقل الكهربائي داخل كرة مشحونة تساوي إلى الصفر. استفاد فارداي من هذه النظرية وأثبت أنه عند وضع منشأة ضمن كرة ناقلة مؤرضة أو قفص من النواقل المؤرضة تصبح شدة الحقل حول هذه المنشاة مساوية إلى الصفر. يتكون قفص فاراداي من شبكة من النواقل النحاسية أو من أي معدن ذي ناقلية عالية تركب على سطح البناء على شكل شبكة. الجدول (2-26) أنواع المعادن والمقاطع المستخدمة في تشكيل قفص فاراداي .

جدول (2-26) أنواع معادن ومقاطع النواقل المستخدمة في تشكيل قفص فاراداي

تشكل شبكة قفص فاراداي على شكل مربعات أبعادها مبينة على الشكل (2-62) . توصل هذه الشبكة إلى الأرض عبر مجموعة من النواقل تسمى بالنوازل. تستخدم هذه الشبكة من أجل التقاط تيار الصاعقة وتمريره إلى الأرض عبر نواقل تسمى بالنوازل كما في الشكل(2-63). أثناء تنفيذ الشبكة يجب تثبيت النواقل على قطع من البلاستيك القاسي أو البورسلين وهي بدورها تثبت جيدا على السطح .إن ارتفاع هذه العوازل لا يقل عن 5 cm، والتباعد بينها لا يتجاوز 1m.



الشكل(2-62) شبكة قفص فارادي والنوازل .

ج- النوازل :

هي نواقل معدنية، مقاطعها محددة الجدول (2-26). الشكل(2-63) يبين هذه النوازل، أما مسافة التباعد بينها فهي تابعه لدرجة الحماية، الجدول (2-27) يبين المسافات بين النوازل حسب درجة الحماية .

جدول (2-27) المسافات بين النوازل حسب درجة الحماية

عند تنفيذ النوازل يجب مراعاة ما يلي :

- تثبت النوازل على جدران المبنى بواسطة عوازل تؤمن مسافة بين النازل والجدار لا تقل عن 5. cm أما التباعد بين هذه العوازل فيجب أن لا يزيد عن 1m .

- أن يكون طول مسار تيار الصاعقة أقصر ما يمكن .

- وجود عدد من المسارات التفرعيه لتيار الصاعقة أي عدد من النوازل، ويتعلق عدد النوازل بمحيط الحواف الخارجية للسقف (محيط مسقط السطح على الأرض) .

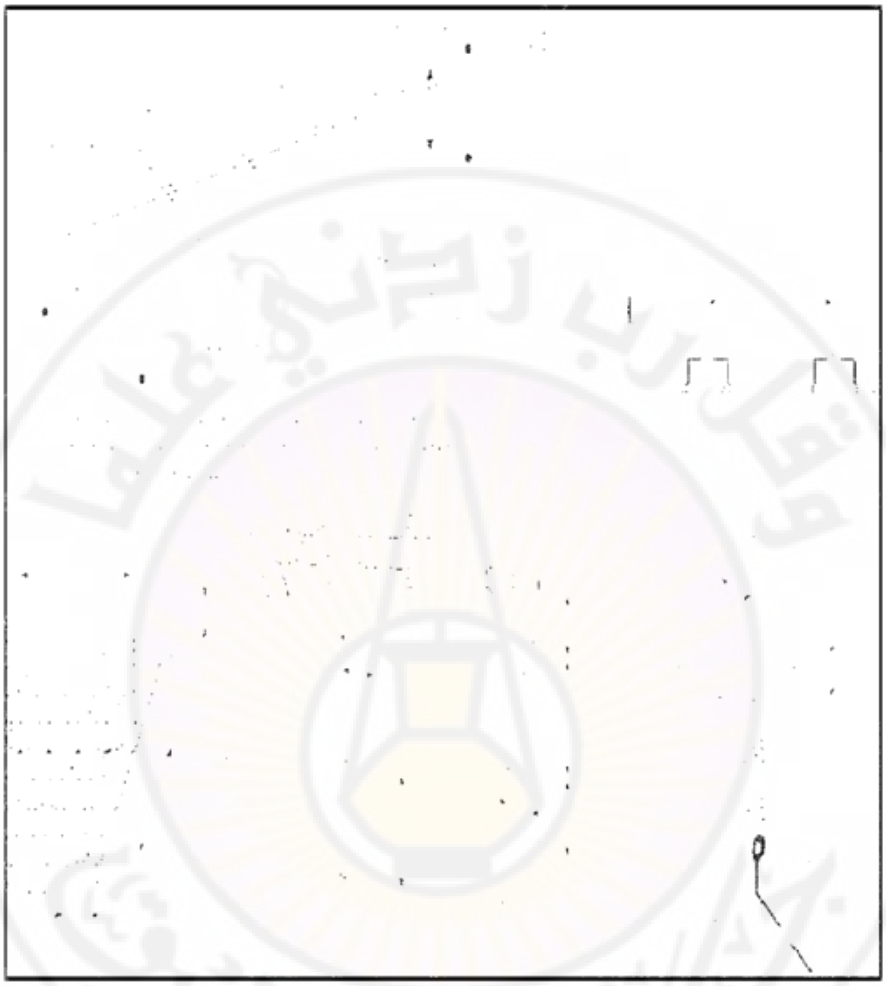
- يتم تركيب النواقل النازلة حيث يتم البدء من زوايا البناء و توزيع النواقل بانتظام قدر الإمكان على المحيط .

- إذا كان محيط المبنى لا يقبل القسمة على الأعداد المبينة في الجدول(2-28) فيضاف نازل واحد مهما كان حاصل القسمة ، وتوزع المسافة بين النوازل بالتساوي .

- عند تعذر المحافظة على المسافة المحددة بين نازل وآخر لأي سبب (أبواب عريضة مثلاً) يجب المحافظة على عدد النوازل ثابتاً وزيادة هذا العدد في أحد الجوانب حيث لا تقل المسافة بين نازل وآخر يليه عن 10m . الشكل(2-63- آ- ب) يبين نماذج لطريق تنفيذ قفص فاراداي والنوازل .



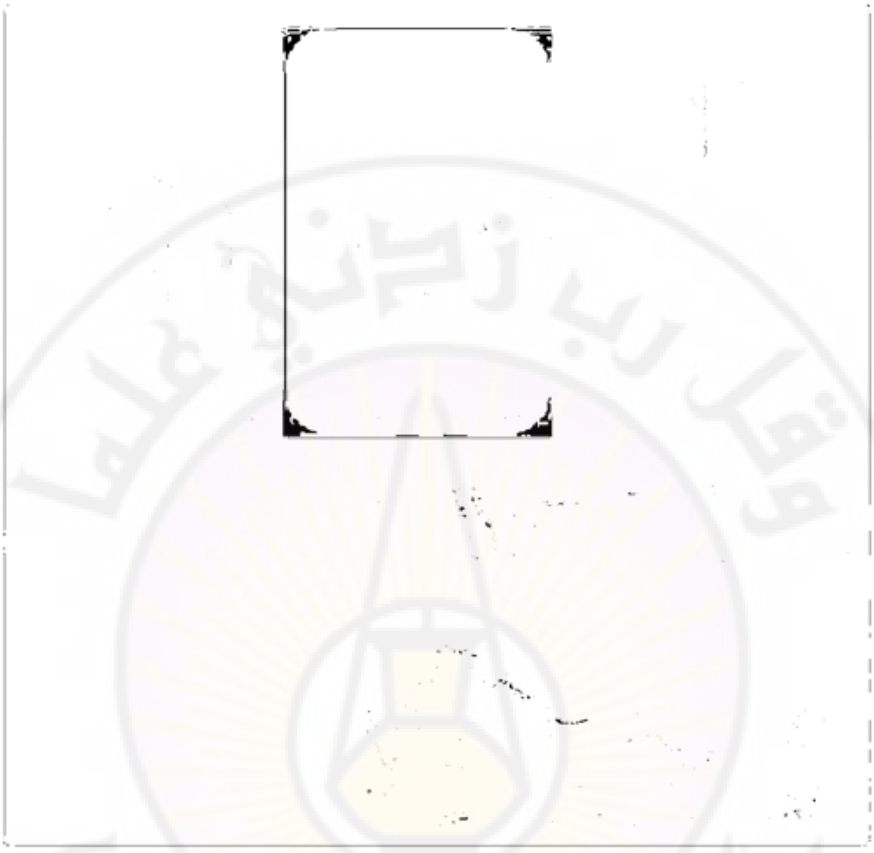
الشكل(2-63-آ) نماذج تنفيذ قفص فارادي والنوازل .



الشكل(2-63-ب) نماذج تنفيذ قفص فارادي والنوازل

II- نظام التأريض:Earthing System

وهو الجزء من نظام الحماية الذي يمرر فيها تيار الصاعقة من النوازل إلى الأرض. إن نظام التأريض يجب أن يؤمن مقاومة أرضي لا تزيد عن1Ω، حيث يمكن قياس هذه المقاومة بطرق خاصة. لقد أعطي نظام التأريض شرحا" كافيا" في الفقرة 2-3 من هذا الفصل. ولكن سنعرض هنا بعض نماذج أوتاد التأريض كما في الشكل(2-64).



الشكل(2-64) نماذج أوتاد تأريض

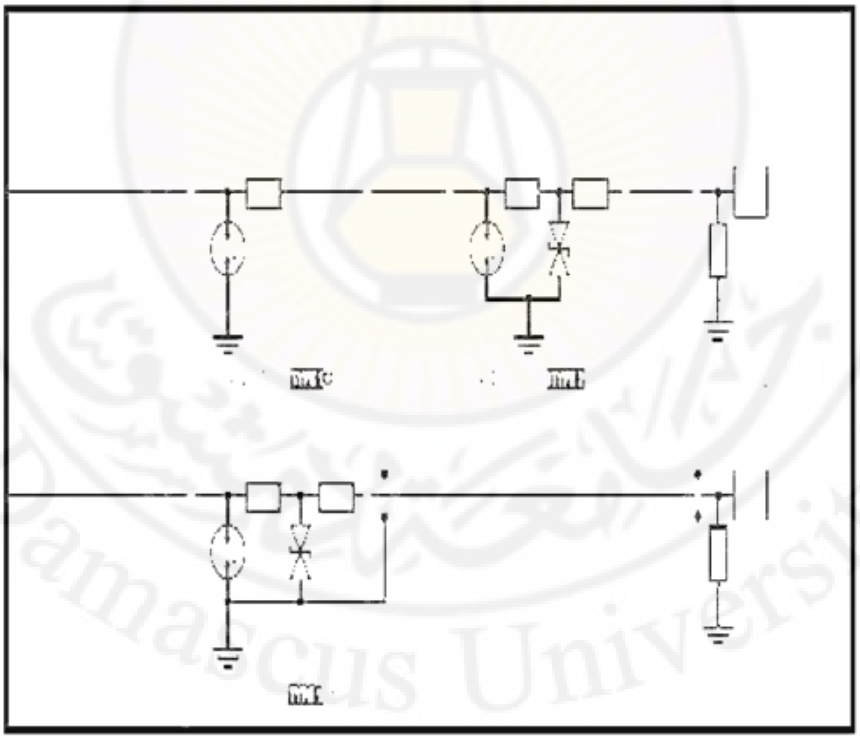
III- تجهيزات حماية داخلية تركب داخل المنشآت:

إضافة إلى شبكة الحماية من الصواعق التي تعمل على حماية المنشآت من الخارج يوجد تجهيزات تركب داخل المنشآت باستطاعات وأحجام مختلفة. هذه التجهيزات تسمى بمفرغات الجهد والتيار. مبدأ عمل هذه التجهيزات هو قطع أي موجة توتر أو تيار ذات مطال عالٍ، وتمريرها إلى الأرض دون المرور بالتجهيزات الكهربائية المختلفة ضمن المنشأة. تصنع هذه التجهيزات بأشكال مختلفة مشابهة لأشكال القواطع التي تستخدم في لوحات التيار القوي. الشكل(2-65-آ-ب) يبين نماذجا" من هذه التجهيزات .



الشكل(2-65-آ) نموذج أول لمفرغ تيار الشكل(2-65-ب) نموذج ثانٍ لمفرغ تيار

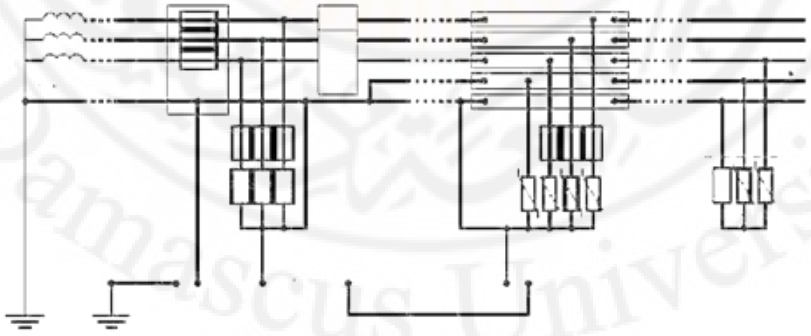
الشكل(2-66-آ) يبين مخطط توصيل كل من مفرغ التيار والجهد ومفرغ مركب (جهد-تيار) بينما الشكل(2-66-ب) يبين طريقة تركيب هذه المفرغات .



الشكل(2-66-آ) مخطط توصيل كل من مفرغ التيار والجهد ومفرغ مركب (جهد-تيار)

الشكل(2-66-ب) مخطط توصيل كل من مفرغ التيار والجهد ومفرغ مركب (جهد-تيار)

كما ويمكن أن تركب هذه التجهيزات في مراكز التحويل كما في الشكل(2-67).



الشكل(2-67) مخطط تركيب مفرغات الجهد على مخارج التوتر المنخفض لمحولة توزيع

إن أماكن استعمال وطرق توصيل تلك التجهيزات متنوعة وكثيرة ولامجال لتعدادها كلها ، إنما عرضنا فقط جزءا" يسيرا" من كل .

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثالث

منابع توليد الطاقة الكهربائية الاحتياطية

The Reserve Resources of Electrical Energy Generating

3-1 مقدمة:Introduction

لقد بات معروفا" أنه على المهندس المصمم لأي مشروع تغذية كهربائية لمنشأة ما اختيار نظام تغذية كهربائية احتياطي لهذه المنشأة يتم استخدامه عند انقطاع التغذية الكهربائية من الشبكة العامة. في هذا الفصل سوف نستعرض أهم نظم توليد الطاقة الكهربائية الاحتياطية المستخدمة في المنشآت العامة والصناعية.

[102],[56],[36],[28],[14],[2]

3-2 نظم توليد الطاقة الكهربائية باستخدام مجموعات الديزل:Diesel Sets

تستخدم هذه النظم كإجراء احتياطي عند انقطاع التغذية الرئيسية من الشبكة العامة وتسمى بمجموعات التوليد الاحتياطية. حسب أهمية الأحمال يمكن أن تغذى جميعها أو جزءا" منها، وفي كلتا الحالتين يؤدي الانتقال من الشبكة العامة إلى مجموعة التوليد الاحتياطية إلى انقطاع التغذية الكهربائية عن الحمولات لمدة زمنية تطول أو تقصر تبعا" لدرجة الموثوقية لنظام الحمولات الواجب تغذيتها. في الحالات التي لا يسمح فيها انقطاع التغذية عن الحمولات (الموثوقية من الدرجة الأولى)، يسمى نظام التغذية النظام غير القابل للقطع كتغذية لوحات الإرشاد والدلالة (مخارج النجاة – الأدراج)، وفي هذه الحالة يجب أن تكون استطاعة المجموعة كافية لتغطية جميع هذه الأحمال. عند تقدير استطاعة مجموعة التوليد الاحتياطية يجب مراعاة ما يلي :

– أن تكون استطاعة مجموعة التوليد أكبر أو تساوي استطاعة مجموعة الأحمال المحسوبة التي يجب أن تغذيها مع الأخذ بعين الاعتبار عامل الطلب للأحمال، وأن

تكون استطاعة مجموعة التوليد كافية لإقلاع الأحمال التي تحوي محركات ذات تيارات إقلاع كبيرة كالمصاعد مثلاً دون حدوث هبوط توتر كبير يؤدي إلى فشل عملية الإقلاع. ويمكن التذكير بالقواعد التالية الخاصة بإقلاع المحركات :

- تيار الإقلاع يساوي (8-2) من التيار الإسمي عند الإقلاع المباشر.
- تيار الإقلاع يساوي (2.5-2) من التيار الإسمي عند الإقلاع نجمي- مثلثي .
- تيار الإقلاع يساوي (4-2) من التيار الإسمي عند الإقلاع بواسطة Auto-Trans .

- إذا كان لدينا مجموعة محركات ذات تيارات إقلاع مختلفة فيجب أخذ أكبر تيار إقلاع لأكبر استطاعة محرك ثم يضاف إليه التيارات الاسمية لباقي المحركات وتكون القيمة النهائية هي قيمة التيار التي يجب اختيار المجموعة على أساسه .
- يجب ملاحظة أن كلفة الـ 1kVA تنخفض كلما زادت استطاعة المجموعة فمثلاً سعر 1 kVA لمجموعة استطاعتها 400 kVA هي أقل بمقدار ضعفين من سعر 1kVA لمجموعه استطاعتها 200kVA، لذلك فإن اختيار مجموعه ذات استطاعة أكبر من استطاعة الحمل أوفر من شراء مجموعتين .

تتكون المجموعة بصورة عامة من محرك ومولد ومحرض كهربائي ومتممات أخرى . تركب هذه المكونات معاً على قاعدة واحدة من البيتون المسلح وفوقه قاعدة من الحديد الصلب متينة لدرجة تؤمن استقامة محاور الأجزاء الدوارة كافة وتمنع الاهتزازات، كما لا تسمح بالانزلاق في أي اتجاه أثناء التركيب. تختبر المجموعات عادة في الشركة الصانعة ويتم نقلها إلى موقع العمل على أحد شكلين، أولاهما أن المجموعات التي تصل استطاعتها إلى 750 kW تنقل إلى الموقع كاملة، فيتم التجميع ثم تركب على القاعدة، أما ثانيها يتعلق بالمجموعات التي تزيد استطاعتها عن ذلك حيث يتم نقلها على أجزاء إلى الموقع ثم يعاد تجميعها ومعايرتها في المكان. يمكن التمييز من الناحية العملية بين نوعين من مجموعات التوليد حسب الاستطاعة الاسمية :

أولا"- وحدات التوليد الثابتة عالية الاستطاعة High Power Generating Sets:

تتألف هذه المجموعات من الأجزاء التالية :

1"- محرك الديزل Engine:

المحركات المستخدمة في مجموعات التوليد هي من نوع ديزل. يجب أن يكون المحرك من النوع المصمم للخدمة المستمرة إذ يتم تبريده بالمياه ولا يقل عدد أسطواناته عن أربعة مرتبة في خط مستقيم أو على شكل V رباعية الأشواط. يجب أن يكون المحرك مزوداً بأجهزته الأساسية بالإضافة لأجهزة التحكم. يعمل المحرك على إدارة المولد في ظروف التشغيل المحددة الموصى بها من الشركة الصانعة ، إذ لا يسمح تشغيله بسرعة غير واردة في منحني مجال السرعات الصادر عن الشركة الصانعة. يعمل المحرك على إدارة المولد في ظروف التشغيل المحددة ليعطي القدرة المطلوبة وذلك، باستعمال وقود الديزل القياسي وزيت التزييت من النوع والدرجة الموصى بها من الشركة الصانعة. يزود كل محرك بمنظم سرعه من أجل الاستجابة للتغييرات اللحظية، بالإضافة إلى ذلك تزود مجموعات التوليد التي تزيد قدرتها عن $300kW$ والتي تعمل على سرعات تزامنيه 1200 دورة/دقيقة أو أقل بحماية زيادة السرعة يعمل عند تجاوز المحرك للسرعة المحددة له ويفصل عن العمل . يصمم المحرك بطريقة عن أن يكون معرضاً لخطورة الاهتزازات الالتوائية الضارة و سرعات الالتواء الحرجة الخطرة وذلك في حالة تشغيله مع المولد، هذه السرعات يجب أن تكون ضمن المجال $\pm 10\%$ من السرعة التزامنية. تركب مجموعة التوليد على مخمدات للحد من انتقال الاهتزازات إلى القاعدة الأرضية المجاورة وحيث لا تتجاوز سعة الاهتزاز 0.4mm عند التردد 50Hz .

2"- نظام التزييت Lubrication System:تتألف دارة الزيت من العناصر التالية :

- **مضخة الزيت Oil Pump:** يتم دفع الزيت في أنابيب دورة التزييت بواسطة مضخة زيت واحدة أو أكثر تدار مباشرة بواسطة المحرك نفسه باستخدام بكرات معدنية وسيور جلدية متينة لنقل الحركة. يتم تنظيم ضغط دفع الزيت بواسطة صمام خاص لذلك.

- **مصفاة زيت Oil Filter:** يجب أن تركب مصفاة في كل جانب امتصاص، فقد يكون هناك مصفاة واحدة أو أكثر. تكون المصفاة ذات غطاء معدني مثقب حيث إن قطر الفتحة يكون بحدود $0.15mm$ ، ويجب أن تركب بمكان يسهل معه الوصول إليها، حيث يكون بالإمكان القيام بتغيير عناصر المصفاة دون فصل شبكة الأنابيب أو معدات المحرك الأخرى. بالإضافة إلى ذلك يتم تزويد كل مضخة بمقياس حرارة وسخان للزيت للمحافظة على الزيت عند درجة حرارة 30 درجة مئوية.

- **مرشح (فلتر)Filter :** يركب في جانب التصريف في كل مضخة، مع صمام تحرير الضغط لتحويل الزيت إلى حوض الزيت للمحرك عندما يصل المرشح إلى الضغط الأقصى الموصى به من الشركة الصانعة حيث يسمح عندها للزيت المحرر بالدخول إلى الأجزاء المنزلقة من المحرك.

- **مقياس ضغط تفاضلي Differential Pressure Measure :** يجب أن يكون مقياس الضغط من النوع الخاص بالقراءة المباشرة لتسجيل مقدار انخفاض الضغط.

- **جهاز إنذار Alarm Device :**يجب أن يكون جهاز الإنذار من النوع السمعي يعمل عندما يفتح صمام تحرير الزيت وينذر أنه استبدال المرشح أو المصفاة. ويجب أن يعمل جهاز الإنذار أيضاً في أي وقت يبدأ فيه ضغط التحرير في تشغيل نظام التحويل. يجب على الشركة الصانعة للمحرك أن تبين الوقت المسموح به بين الصوت الصادر من جهاز الإنذار وتوقف المحرك وذلك في دليل تعليمات التشغيل. في حال انقطاع الزيت ووصول الضغط إلى حد دون المستوى المسموح به يجب أن يعمل جهاز الإنذار على إيقاف المحرك.

- **مقياس مستوى الزيتOil Level Measure :** مقياس مستوى الزيت يعمل عندما يكون المحرك في حالة التشغيل .

- **حوض زيت جاف بخزان مناسب. Oil Tank**

- **مبرد زيت Oil Cooler:** يتألف مبرد الزيت من خزان وأنبوبة و محلول للتبريد مستمد من نظام التبريد.

- محرر ضغط الزيت Oil Pressure Freer:

يتم تزويد أحواض المحرك ذات القدرة الأكبر من 500Kw بوسائل لتحرير ضغط حوض الزيت.

3":نظام التبريد Cooling System:

يزود المحرك بنظام تبريد محكم مؤلف من مكونات غير قابلة للصدأ وخالية من الرواسب الناتجة عن القشور الصغير المنفصلة عن هيكل المحرك من الداخل. يعمل هذا النظام على دفع مياه التبريد ضمن المحرك بمعدل تدفق ودرجة حرارة متوافقة مع توصيات الشركة الصانعة. كل محرك يزود بجهاز لمعالجة المياه السارية خلال دورة التبريد المغلقة بالإضافة إلى تجهيزات خاصة لتعويض الفقد في المياه. إن جهاز المعالجة يجب أن يكون من النوع الذي يمكن استبداله بسهولة ويجب أن يؤمن الوظائف التالية:

- الترشيح لإزالة الرواسب والأتربة الخشنة.
- إزالة المحتويات المعدنية من الماء العسر بطريقة التبادل الأيوني .
- منع تكوين الصدأ والتآكل والرواسب بواسطة استخدام مواد مانعة للصدأ .
- إزالة الحمضية وزيادة القلوية من خلال التحكم في الرقم الهيدروجيني.
- التحكم في النشاط الكهرو كيميائي لمنع تكوين الصدأ.

تزود دارة التبريد بترموستات تحافظ على درجة حرارة وسيط التبريد أثناء دوران المحرك في المجال بين 70 – 90 درجة مئوية وذلك في ظروف التشغيل المحددة. يستعمل محلول الماء والإيثيلين جليكول كوسيط للتبريد ويسمى بمحلول التبريد ويكون هذا المحلول غير قابل للتجمد حتى 5- درجة مئوية. تعمل دارة التبريد بطريقة أتوماتيكية أثناء تشغيل المحرك مع المحافظة على درجة حرارة جسم المحرك 15 درجة مئوية عند الحمل الكامل حيث يجب أن يتوقف المحرك أوتوماتيكيا في حالة ارتفاع درجة الحرارة عن معدلها نتيجة لفشل دارة التبريد في أداء وظيفتها.

تتكون دارة التبريد من :

- **مضخة دفع المياه للقمصان** : تدار هذه المضخة بواسطة محرك من نوع طارد مركزي.

- **مضخة دفع المياه غير المعالجة:** يجب أن تكون هذه المضخة من النوع الطارد المركزي وهي كهربائية مزودة بجهاز تحكم أتوماتيكي.

- **مبادل حراري لمحلول تبريد القمصان:** يجب أن يكون من النوع ذي الغلاف والمواسير (SHELL AND TUBE).

- **سخان محلول التبريد** : يجب أن يزود بترموستات وبالقدرة الكافية للمحافظة بطريقة أوتوماتيكية على معدل درجة حرارة مبرد القمصان طبقاً لتوصيات الشركة الصانعة لتناسب شروط بدء التشغيل وذلك أثناء فترات توقف محرك الخدمة الاحتياطية.

- **خزان التمدد (SURGE TANK)** : يجب ان يصنع الخزان بطريقة اللحام من ألواح الصلب بسماكة 3mm ومزود بغطاء علوي قابل للفتح وأنبوب بيان زجاجي ومحابس لأجهزة القياس ووصلات للصرف الفائض ويحتوي أيضاً على صمام عوامة للمحافظة على المستوى بالخزان.

- **مشع Radiator** : هذا المشع مصنع من معادن غير حديدية من النوع ذي الزعانف والمواسير (FIN AND TUBE) أو من النوع ذي الألواح المموجة المتراصة (STACKED CORRUGATED SHEET TYPE) ذات التدفق المتعامد. يجب أن يكون حجمه كافياً لتحقيق فروق في درجة حرارة محلول التبريد مقدارها 15درجة خلال عمل مجموعة التوليد بصفة مستمرة عند 110% من الحمل الكامل، ويصمم المشع لتحمل الضغط المعرض له ويزود بصمام ضغط وغطاء مصمم خصيصاً لتخفيف الضغط قبل نزعه. تصمم دارة التبريد لتحمل ضغط قدره 0.5 بار أو أكثر وتجهز كذلك بثقب مسنن مزود بسدادة أو محبس لمحلول التبريد بالدورة عند أسفل نقطة منها.

- **مروحة المشع:** هذه المروحة يجب أن تكون من النوع الدافع (PROPELLER) متعدد الريش أربعة أو أكثر وذات سعة كافية لأداء وظيفتها بصفة مستمرة وتصنع المروحة من الألمنيوم وتدار مباشرة بالمحرك ويتم حمايتها لوقاية الأفراد من الإصابة.

-**جهاز الحماية من ارتفاع درجة الحرارة** : تزود رؤوس الأسطوانات أو الممر العام لخروج محلول التبريد من المحرك بجهاز أمان للحماية من ارتفاع درجة الحرارة. تزود كل من دورات تبريد القمصان وشاحن الهواء والزيت بصمام تحكم ثرموستات

(THERMOSTATIC CONTROL VALVE) للمحافظة على معدل درجة حرارة مبرد القمصان، ودرجة حرارة الهواء والزيت ويكون من النوع الثلاثي المسالك المتكامل المزود بثرموستات بدون بصيلة حساسة ويكون ذا سعة تسمح بالتدفق المحدد بمعرفة الشركة الصانعة. في حالة تركيب المشع خارج المباني يراعى أن يكون مصمماً ليناسب الظروف المناخية ويزود بالمجاري المناسبة وتعمل له الفتحات اللازمة بالمباني.

4"- نظام العادم Exhaust System:

يزود كل محرك بدارة مستقلة للعادم مع وصلاتها المرنة والجلب اللازمة للتركيب بالجدار وخافض الصوت، ومواسير العادم، ولوازم التركيبات الخارجية. يتم تثبيت مواسير العادم بطريقة تقلل من الاهتزازات. تستخدم في تركيبات دورة العادم مواسير من الصلب ذات أوزان معيارية كاملة بملحقاتها من النوع المجهز للتجميع بالرباط أو من النوع المجهز للتجميع باللحام مع مراعاة أن تكون الأكواع المستعملة ضمن هذه الملحقات من النوع المسحوب ذات نصف قطر كبير. تعزل مواسير العادم حرارياً كلما تطلب الأمر ذلك، وتركب بميل للأسفل ابتداء" من نقطة خروج العادم. يجب أن تكون الوصلات المرنة المستخدمة مع مواسير العادم مصنعة من ماسورة غير ملحومة و بدون وصلات أو حشو ومصممة خصيصاً لمحركات الديزل من أجل امتصاص الاهتزازات والسماح بتمدد وتقلص المواسير الناتج عن التغيرات الحرارية في غازات العادم. الملحقات المستخدمة يجب أن تكون بقياس وأبعاد مناسبة لتوافق مخرج العادم للمحرك. يصنع خافض الصوت ذو الحجيرة (Chamber Type) من الصلب الملحوم ويجهز بوسائل للربط والتثبيت، كما يجب أن لا يتجاوز هبوط الضغط في خافض الصوت الحدود الواردة بتوصيات الشركة الصانعة. تطلى خافضات الصوت المركبة خارج المباني بطلاء الزنك أو دهان مقاوم لدرجات الحرارة العالية. يعمل خافض الصوت على تخفيض الطيف الصوتي حيث لا تتجاوز المستويات المبينة بالجدول والمطابق للمواصفة ISO-TC43 وهو الذي يشير إلى الضجيج الناتج عن محرك واحد يعمل على الحمل الكامل وعلى بعد 25m من خافض الصوت الخاص به. يزود كل محرك تزيد استطاعته عن 300 kW بمقياس لدرجات الحرارة العالية (بيرومتر) مع مفتاح اختيار متعدد الأوضاع وأسلاك توصيل معايرة

ومزدوجات حرارية لقياس درجة حرارة العادم في كل أسطوانة ودرجة حرارة عادم المحرك بصورة عامة ودرجة حرارة هواء الاحتراق. يجب أن يكون البيرومتر ذو تدرجات مقدرة بالميللي فولت متر ومزود بنظام إخماد ومجهز من الداخل بمعوض أتوماتيكي. أما مفتاح الاختيار المستخدم مع البيرومتر فيجب أن يكون من النوع المزدوج القطب ذي الوضع المغلق (Off Position) ومزود بمجموعة من نقاط التوصيل لكل مزدوجة حرارية وقرص بيان مناسب. يركب البيرومتر ومفتاح الاختيار في غلاف محكم ضد الأتربة والرطوبة يثبت بلوحة التحكم بطريقة تعزله عن الاهتزازات .

5- بادئ التشغيل Starting System:

يؤمن بادئ التشغيل إقلاع المحرك بطريقة أوتوماتيكية أو يدوية في حالة انقطاع التيار الكهربائي الرئيسي عن الأطوار الثلاثة أو عن إحداها أو حدوث عطل أدى إلى انقطاع التغذية الكهربائية من الشبكة العامة. يتم بدء تشغيل المحركات التي تصل استطاعتها إلى $800kW$ تقريباً بطريقة كهربائية، أما المحركات التي تزيد عن $800kW$ فيتم بدء تشغيلها بالهواء المضغوط. فيما يلي توضيح مبدأ عمل وتجهيزات كل من الطريقتين:

آ- بادئ التشغيل الكهربائي Electric Starting System:

يتم تغذية دارة بدء التشغيل الكهربائية بواسطة بطاريات خاصة 24 فولت ذات قطب سالب مؤرض. تشمل دارة بدء التشغيل على محرك كهربائي لبدء إدارة محور محرك الديزل باستخدام أداة ربط ميكانيكية ودارة تحكم كهربائية. تضم دارة بادئ التشغيل مجموعة البطاريات وشاحن خاص بها. المحرك الخاص ببدء الإدارة هو من النوع المخصص للتشغيل على الحمل ويملك استطاعة كافية لإدارة محور محرك الديزل بصورة متكرر وبالسرعة المناسبة لبدء التشغيل وذلك في درجة حرارة 5- . إن أداة ربط محرك بادئ التشغيل مع محرك الديزل يجب أن تركب حيث لا تؤدي إلى توليد أي حرارة، يجب أن تكون دارة بدء التشغيل جاهزة لبدء إدارة محرك الديزل لأربع مرات متكررة على الأقل تستغرق كل منها 30 ثانية وبفاصل زمني لمدة دقيقتين بين المحاولة والأخرى وذلك عند درجة حرارة 20 درجة مئوية. تزود دارة بدء التشغيل بـ ريليه يحدد

عدد مرات المحاولات المتكررة (Cranking limit relay) وذلك لمنع تجاوز عدد المحاولات المسموح بها في حالة فشل المحرك في بدء حركته.

يجهز محرك الديزل ليبدأ التشغيل على البارد عند درجة حرارة 5- درجة مئوية . لذلك يجب أن تتضمن وسائل بدء التشغيل على البارد ما يلي:

- شمعات توهج لتسخين مياه القمصان في محرك الديزل .
- سخان زيت المحرك.
- سخان مأخذ الهواء.
- بطارية كبيرة السعة، أو تخزين هواء بحجم كبير لبدء الحركة. إن بطاريات التخزين تكون من النوع الحمضي ومجهزة بحامل بطاريات و توصيلات الخلايا الداخلية، و يجب أن تكون سعة البطاريات كافية تستطيع تأمين أربع مرات بدء تشغيل على الأقل مدة كل منها 30 ثانية، يتلوها فاصل زمني لمدة دقيقتين بين كل محاولتين بدون إعادة الشحن وذلك عند 20 درجة مئوية. يجب أن يكون شاحن البطارية من النوع المتين ومن نوع مقوم للتيار ذي موجة كاملة Full Wave Rectifier و قادراً على إعادة شحن البطارية المستنفدة استنفادا" كاملا" خلال مدة لا تزيد عن 8 ساعات، ويجب أن يتحكم الشاحن أوتوماتيكياً في معدل الشحن وتأمين معدل عالٍ لأي بطارية مستنفدة وتقليل شحن التيار عندما تكون البطارية مشحونة بالكامل. يجب تأمين مقياس تيار (Ammeter) لبيان معدل الشحن، ويجب أن يكون معدل الشحن قابلا" للضبط.

ب - بادئ التشغيل بالهواء المضغوط Pneumatic Starting System:

يتم بدء التشغيل وفق هذه الطريقة بإدخال هواء مضغوط عن طريق صمام زمني بغض النظر عن وضع المكابس. يتم تأمين الهواء المضغوط بواسطة محرك خاص يعمل على توليد هواء مضغوط. تشمل الدارة بالإضافة إلى أجهزة بدء التشغيل على خزانات هواء مجهزة بصمام أمان، وصمام فحص، وصمام تفريغ، وصمامات إيقاف بدء التشغيل، ومواسير التوصيل، ووحدتي ضواغط هواء، وتكون جميع هذه المكونات مناسبة لضغط تشغيل قدره 20 بار، علما أن ضغط التشغيل الفعلي للمحرك يحدد من قبل الشركة الصانعة. إن سعة خزانات الهواء يجب أن تكون كافية لإدارة المحرك 4 مرات تستغرق

كل منها 30 ثانية بدون إعادة تعبئتها وذلك عند درجة حرارة 20 درجة مئوية، ويتم التحكم أوتوماتيكياً في تشغيل الضاغط بواسطة مفتاح يعمل بالضغط للمحافظة على الضغط المطلوب بخزان الهواء بدء التشغيل. إن سعة كل ضاغط يجب أن تكون كافية لتعويض الهواء المستخدم في بدء تشغيل محرك واحد وذلك خلال 15 دقيقة. يجب تركيب مرشح هواء في مقدمة كل توصيلة هواء في مجموعات محركات المولدات ويجب أن يتم تصميم المرشحات لضغط تشغيلي أدنى 20 بار بالنسبة للحقن المباشر و 10 بار بالنسبة لبدء تشغيل المحرك بالهواء، ويجب أن تكون المرشحات قادرة على إزالة الجسيمات بقطر 10 ميكرون وأكبر، وكذلك يجب تصميم المرشحات تصميما" تتحمل معه معدلات تدفق تصل إلى 4 متر مكعب من الهواء في الثانية.

6"- نظام الوقود Fuel System: يشمل نظام الوقود التجهيزات التالية:

آ- خزان الوقود الرئيسي Main Fuel Storage Tank:

يتضمن خزان الوقود سعة تخزين تكفي لتشغيل المحرك بصورة مستمرة لمدة لا تقل عن سبعة أيام. تركب الخزانات عادة تحت الأرض ويجب أن تزود بفتحات ملحومة ومقواه من أجل التعبئة والتفريغ، كما ويجب أن يملك الخزان غرفة تفتيش ذات غطاء محكم ضد تسرب المياه. يجب تغطية فتحات الخزان لمنع الحطام و الأوساخ من دخول الخزان أثناء الشحن والتركيب، ويتم تنظيف الجزء الخارجي من الخزان عن طريق الرش الرملي قبل طلائه بالدهان، وكذلك يجب طلاء الأسطح التي تم تحضيرها بطلاء أولي بالسرعة الممكنة قبل البدء في تكوين أي طبقة صدأ. يجب أن يكون نظام الطلاء منتجا" من شركة صانعة واحدة ، ويمكن طلاء الخزانات في المصنع أو في الموقع. يتم اختبار الطلاء بالنسبة إلى التشققات واختبار السماكة والنقاط الضعيفة مع الوسائل والأشخاص ومعدات الاختبار المؤمنة من المتعهد. يتم استخدام مقياس سماكة غشائي تجاري لقياس سماكة الطلاء. قبل وضع مواد الطلاء يجب اختبار الطلاء بالنسبة للثقوب الصغيرة والنقاط الضعيفة والعيوب الأخرى بكشاف تشققات كهربائي مزود بجرس ورنان أو إشارة أخرى سمعية تعمل عند اكتشاف نقطة ضعيفة، ويمكن القيام بالمراجعات المحتملة

بكشاف النقاط الضعيفة من قبل الجهة المشرفة في أي وقت لتحديد صلاحية الكشاف. يجب أن يتم إصلاح المناطق المتضررة، بما في ذلك المناطق المتضررة بواسطة اختبار السماكة باستخدام مواد مطابقة للمواد المستخدمة في الأصل، ويجب إعادة الاختبار بعد التجفيف. يجب أن تتضمن الحفريات طبقة تم تحضيرها بشكل مناسب و تركيب الخزان بأدنى حد من المناولة لمنع وقوع أضرار على الطلاء من جراء التصادم أو الحك. يتم تنظيف الأجزاء الداخلية في الخزانات كافة من المواد الغريبة مثل الأوساخ والحطام والشحم والزيت، والذي قد يشكل لاحقاً مصدر تلوث للوقود الذي سيتم تخزينه في الخزان. يتم اختبار الضغط في الخزان تبعاً للتسربات ويجب تأمين مفتاح حدي منخفض المستوى متشابك مع أجهزة التحكم في مضخة الوقود لحماية المضخة ضد التشغيل الجاف.

ب – الخزانات اليومية Day Tanks:

يتم تركيب الخزانات اليومية من أجل الاستهلاك اليومي بسعة فردية لا تزيد عن 1000 لتر داخل المبنى. كل محرك يملك خزاناً "يومياً" فردياً". يجب تأمين الخزانات اليومية بتوصيلات خاصة مع أنابيب تغذية الوقود وإعادة التدفق الزائد من الوقود(فضال)، التعبئة، القياس، التهوية، والتفريغ كما يزّود كل منها بمفتاح مزدوج الأقطاب بعوامة Float switch يتحكم في صمام ذي ملف مغناطيسي Solenoid Valve مرّكب على خط التعبئة ويعمل على تشغيل مضخة نقل الوقود في حال انخفاض مستوى الوقود إلى الحد الأدنى، ويعمل على إيقافها عند بلوغ مستوى الوقود الحد الأقصى. هذا وتزّود دارة الوقود بوسائل فعّالة لمنع تسرب الوقود من الخزّان اليومي إلى الأسطوانات عن طريق المضخة في حالة توقف المحرك، ويراعى تغطية فتحات الخزان اليومي أثناء الشحن والتركيب لمنع دخول الحصى والرمل إليه.

ج – مضخة نقل الوقود Fuel Transfer Pump:

مضخة نقل الوقود تعمل بمحرك كهربائي وهي من نوع مضخات الإزاحة الإيجابية، وأيضاً يجب أن يكون هناك مضخة احتياطية يدوية التشغيل لضخ الوقود من الخزان العام إلى الخزان اليومي .

د- مضخة وقود المحرك Engine Fuel Pump:

تكون هذه المضخة من نوع مضخات الإزاحة الإيجابية، ويجب أن تزود بصمام تحرير لمنع حدوث الضغط الزائد في حالة انسداد خط التفريغ حيث يتم إرجاع الوقود الزائد إلى الخزّان اليومي.

هـ - الأنابيب والصمامات و متممات الأنابيب Piping, Valves and Fittings:

يتم تركيب الأنابيب داخل المباني على شكل وصلات بطريقة يمكن معها تفكيك النظام بالكامل إلى أجزاء لا يتجاوز طولها 6m. يجب تصنيع الوصلات بطريقة تؤمن جريان سهل وتسمح بالتصريف الكامل. يجب قص الأنابيب بدقة حسب القياسات المقررة في موقع المشروع و تركيبها في الموقع بدون أي قوة قسرية. عند تركيب الأنابيب يجب عدم تخريب البيتون وخصوصا" الأعمدة، حتى لا يتم إحداث ضعف في بنية المبنى، ويجب إزالة الحواف الناتئة من الأنابيب عن طريق إعادة الجزء المتمم، ويجب عزل الأنابيب للسماح بالتمدد والتقلص الحر دون الإضرار بالوصلات أو المفاصل. من أجل ضرورة التركيب يسمح بانحناءات الأنابيب شريطة أن يتم استخدام وحدة ثني(آلة خاصة تستخدم في ثني الأنابيب). بعد التركيب يتم تغطية الأنابيب الممددة أسفل السقف بواسطة طبقة رقيقة. يجب أن تتجه أنابيب الهواء الأفقية الرئيسية إلى الأسفل في اتجاه التدفق بانحناء لا يقل عن 25 mm لكل 15 m، وتتم تغطية الأطراف المفتوحة في خطوط الأنابيب أو المعدات بشكل محكم، أو يتم سدها أثناء التركيب لمنع الأتربة والمواد الغريبة الأخرى من الدخول إلى النظام. يتم تزويد الأنابيب المعدنية المركبة تحت الأرض بطبقة طلاء وتغطية بالقطران أو الزفت أو غلاف بولي إيثيلين. يتكون الطلاء من طبقة أساسية من القطران وطبقة ثانية من الخيش المشبع بالقطران، وغلاف من أوراق (كرافت)، وبعد إجراء الاختبار يتم لف الوصلات يدوياً بشريط من الخيش المشبع بالقطران بحيث تتساوى التغطية اليدوية مع الطلاء المطبق في المصنع. يتم تنفيذ توصيلات الأنابيب إلى محرك ديزل أو المعدات المساعدة للمحرك بواسطة خطوط الأنابيب الثابتة في المبنى وبشرط أن تكون توصيلات مرنة. تصنع أنابيب الهواء و متمماتها من الفولاذ

المغلفن. يتم تدعيم التمديد الأفقي للأنابيب تدعيما" محكما"، حيث يتم حمل الأنابيب المعلقة بواسطة حوامل أنابيب قابلة للضغط مزودة بعروات وشدادات مثبتة بواسطة براغي ملولبة أو أي أدوات أخرى معتمدة. يجب أن تتضمن الأنابيب التي قطرها 50 mm وما دون والمثبتة بالجدران الجانبية صفائح لخطافات التمدد، ويجب تزويد الأنابيب الأكبر حجماً بعوارض وقطع تدعيم ذات أسطوانات دوارة. يجب تقديم مخططات تفصيلية لقطع تثبيت الأنابيب إلى الجهة المشرفة للموافقة عليها قبل التركيب.

و- متممات أنابيب الوقود وأنابيب زيت التزييت Fuel and Lubricating Oil Pipe and Fittings:

تصنع أنابيب الزيت من الفولاذ ، وتصنع متممات أنابيب الوقود والزيت من النحاس.

ل- وصلات التمدد Expansion Joints, Bellows Type:

يجب توفير وصلات تمدد من النوع المرن والمعتمد وموجهة داخلياً Expansion joints, bellows types، كما ويجب تأمين المعدات الضرورية للحماية من سوء تراصف الأنابيب التي تم توصيلها بحيث تشكل الأجزاء المتمددة قطعة واحدة.

7"- أجهزة القياس Instrumentation:

يجب تصميم لوحة تحوي الأجهزة التالية:

- جهاز قياس ضغط الوقود.
- جهاز قياس ضغط زيت التزييت.
- مقياس درجة حرارة مياه التبريد (دخول).
- مقياس درجة حرارة مياه التبريد (خروج).
- مقياس درجة حرارة زيت التزييت (دخول).
- مقياس درجة حرارة زيت التزييت (خروج).
- مفتاح إيقاف للطوارئ.
- جهاز قياس عدد ساعات التشغيل.
- جهاز قياس عدد الدورات دورة/ الدقيقة (سرعة الدوران).

- بيرومتر لقياس درجة حرارة العادم مع مفتاح اختيار (للمحركات أكبر من 300kW).
- عداد لحساب الوقود الكلي المستهلك.
- بوق بمفتاح فصل ومبينات ضوئية للإنذار في حالات الارتفاع المتزايد في درجة حرارة المبرد، وانخفاض ضغط الزيت، وفتح صمام الإعادة الخاص بالمرشح وزيادة السرعة عن معدلها.

8- دارة الأمان Safety Circuit:

تؤمن دارة الأمان إيقاف الوحدة عند تجاوز السرعة والحرارة الزائدة لمحلول التبريد الحدود المسموح بها، أو وصول ضغط زيت التزييت إلى مستوى منخفض. تضم الدارة مصابيح إشارة تدل على الأجهزة التي أدت إلى إيقاف المحرك. تغذى هذه الدارة من منبع كهربائي مستقل عن دارة بدء الحركة.

9- منظم السرعة Governor:

نميز من الناحية العملية بين الأنواع التالية من منظمات السرعة:

- منظم سرعة تناسبي.
- منظم سرعة تناسبي متكامل.
- منظم سرعة تفاضلي متكامل تناسبي.

لكل وحدة مولد - محرك يجب اختيار منظم سرعة ذي دورة زمنية ثابتة قابل للضبط. يجب أن يكون المنظم من النوع الهيدروليكي المزود بعناصر حساسة للسرعة الطاردة المركزية والأحمال الكهربائية أو من النوع الكهروهيدروليكي المزود بعنصر كهربائي حساس للسرعة. يتم التحكم في المنظم كهربائياً بواسطة مجموعة مفاتيح تشغيل المولد المرتبطة مع مفتاح التحكم في المنظم. يجب أن يكون المنظم قادراً على المحافظة على الترددات ثابتة ضمن $\pm 0.25\%$، كما ويجب أن لا يتجاوز انحراف الترددات بعد أي تغيير مفاجئ في الحمل 25% عند الحمل الاسمي نسبة 0.5%، وأيضا يجب أن يعود المنظم لحالة التشغيل المستقرة في مدة لا تتجاوز 0.5 ثانية. يعرف التشغيل المستقر بأنه

التشغيل عند تردد ثابت ضمن مجال $\pm 0.5Hz$. إضافة إلى ذلك يجب تزويد كل محرك بآلية منع تجاوز السرعة والتي تقوم أوتوماتيكياً بالإيقاف المؤقت للوقود أو بخلاف ذلك أي إيقاف المحرك في حالة تشغيله عند سرعة تتجاوز 110% من السرعة الاسمية.

10- المولد وملحقاته Generator and Accessories:

يربط المولد مباشرة مع المحرك ويجب أن يحقق المولد المواصفة IEC 60034-22. يجب أن تكون درجة حماية الغلاف المحيط IP23 على الأقل. عند تركيب المولد يجب إخراج جميع نواقل الأطوار إلى صندوق طرفي مصنوع من شرائح معدنية ثقيلة ذي درجة حماية IP 44. يجب عند أي حمل متوازن أن لا يزيد الفرق في التوتر بين الأطوار الثلاثة عن نسبة واحد في المائة من متوسط توتر الخط. يجب عند أي حمل غير متوازن يبلغ 1/4 الخرج الاسمي عند عامل استطاعة يساوي الواحد موصل على أي طور و بين الحيادي وحمل صفر على الطورين الاثنين الآخرين أن لا يتجاوز الفرق بين توتر الخطوط الثلاثة وتوتر الطور الحيادي نسبة 5%. يجب أن لا يتجاوز عامل الانحراف في التوتر من خط إلى خط عند حمل صفر وحمل كامل متوازن عند عامل استطاعة 0.8 نسبة 10%. يجب أن لا يقل تنظيم التوتر اللازم للمولد عن نسبة 34% عند عامل استطاعة 0.8. وتحت ظروف الحمل الكامل يجب أن لا يزيد فرق التيار المسموح به بين أي طورين اثنين عن نسبة 2%. يجب أن تكون وحدات المولدات قادرة على التشغيل المتوازي على التفرع بعضها مع بعض ومع وحدات المولدات التي تتوفر فيها المواصفات نفسها .

11- منظم التوتر Voltage Regulator:

يكون منظم التوتر عادة من النوع ثابت الحالة أي الذي لا يشتمل على مكثفات كيميائية، ويمكن أن يكون المنظم موحداً مع المحرض ومناسبا" للتشغيل الأحادي وعلى التوازي. يمكن أن يتم ضبط توتر الخرج أوتوماتيكياً أو يدوياً إلى $\pm 10\%$ من التوتر الاسمي فوق مجال الحمل صفر إلى 110%، وفي حالة التشغيل على التوازي يجب أن يكون الحمل الردي موزعا" بالتساوي بين وحدات المولدات. يجب أن لا يزيد الفرق في الاستطاعة الردية بالكيلو فولت أمبير لأي وحدة توليد ولمتوسط الوحدات عن نسبة 5% .

12"- لوحة التحكم الأوتوماتيكي Automatic Control Panel:

إن مهمة لوحة التحكم الأوتوماتيكي هي تشغيل مولد الديزل بالسرعة والتوتر الاسميين لتغطية الحمل الكامل. على لوحة التحكم تأمين إقلاع المجموعة خلال فترة زمنية تتراوح من10إلى15 ثانية بعد انقطاع التغذية الكيربائية الرئيسية، ويجب أن تتضمن تأخيرا" زمنيا" قصيرا" للسماح بإعادة التغذية الكهربائية الرئيسية بعد أي عطل عابر.

تنحصر وظائف لوحة التحكم بما يلي :

- تزويد جميع أجهزة التحكم بالطاقة.
- تزويد جميع الأجهزة المساعدة المتممة بالطاقة.
- مراقبة توتر المولد.
- تحويل الحمل من التغذية الرئيسية (الشبكة العامة)إلى المولد.
- مراقبة مستوى توتر التغذية الرئيسية.
- تحويل الحمل من المولد إلى الشبكة الرئيسية بتأخير زمني قصير.
- استمرار تشغيل المولد بدون حمل لأغراض التبريد وكمصدر احتياطي لأي عطل إضافي في الشبكة الرئيسية.
- السماح بالتحكم اليدوي الكامل بالنسبة لبدء الحركة و الإيقاف للتشغيل بما في ذلك تحويل الحمل بين الشبكة الرئيسية والمولد وبين المولد والشبكة الرئيسية.
- الإيقاف المؤقت للوحدة أوتوماتيكياً في حالات الأعطال الخطرة أثناء التحكم اليدوي.
- تأمين وظيفة عدم التشغيل أثناء الصيانة.

بالإضافة إلى المكونات المذكورة أعلاه يتم تزويد اللوحة بما يلي:

- حاكمة Relay ثلاثي الطور لمراقبة توتر الشبكة الرئيسية من أجل إجراء بدء التشغيل بعد ثانية واحدة تقريباً من انخفاض توتر الشبكة الرئيسية دون نسبة 85% وانخفاض تردد الشبكة الرئيسية لأكثر من 5%.
- مفتاح انتقاء للتشغيل "الاختباري" ومع وبدون التحويل الأتوماتيكي.
- زر انضغاطي لاختبار مصابيح الإشارة في اللوحة.

- أجهزة إنذار سمعيه محلية مع إمكانية إعادة الضبط Reset.
- يجب تزويد وحدات الإنذار بملامس احتياطي واحد "مفتوح عادة" وملامس احتياطي واحد "مغلق عادة" بتيار اسمي 10A عند توتر 220V.

يتم تركيب أجهزة القياس التالية في اللوحة الأمامية:

- مقياس جهد خاص بجهد البطاريات.
- مقياس تيار خاص بتيار شحن البطاريات .
- مقياس القدرة بالوات ساعة خاص بنظام التيار المتناوب ثلاثي الطور بأربعة موصلات.
- مقياس معامل الاستطاعة .
- عداد لساعات التشغيل.
- عداد مرات بدء التشغيل.
- مقياس جهد خاص بتوتر المولد.
- مقاييس أمبير خاصة بقياس أحمال المولد.
- اثنان من مبينات الأعطال خاصة بالمولد والمحرك الديزل.
- جهاز إنذار يعمل عند بلوغ منسوب الوقود الحد الأدنى له بالخزان الرئيسي.
- مجزئ تيار Potentiometer خاص بالاختيار المسبق لتوتر التوليد.

في حالة تركيب أكثر من مولد ديزل ضمن نظام واحد، يجب تأمين الأجهزة التالية في لوحة التحكم:

- وحدة تزامن أوتوماتيكية لتشغيل وربط عدة مجموعات توليد معاً على التوازي (التفرع) بطريقة أوتوماتيكية مع موازنة أوتوماتيكية للاستطاعة الردية تتكون من مقياس توتر، وجهاز لقياس التردد، وسينكروسكوب Synchro-scope ومفاتيح اختيار، ولا تزود المجموعات المفردة بهذا النظام.
- حاكمات تشغيل مجموعات التوليد على التسلسل Sequential start اعتماداً على عامل الطلب للحمل، بحيث تكون درجة دقة أجهزة القياس المستعملة من فئة 1.5 وإطاراتها ذات أبعاد 96×96 mm كحد أدنى. تركب جميع أجهزة التحكم في لوحة مناسبة للتركيب

قائمة على الأرض مزودة بباب أمامي ودرجة حمايتها IP 42. تحدد مستندات المشروع عادة أماكن تركيب قاطع المولد وحمايات زيادة الحمل وقصر الدائرة ومفتاح التحويل. يركب قاطع المولد إما باللوحة الرئيسية الخاصة بالمبنى أو في لوحة التحكم الأوتوماتيكية لمجموعة التوليد ويجب أن يتوافق مع المواصفة IEC 60946.

ثانياً-وحدات التوليد المتنقلة ذات الاستطاعة المنخفضة :

Low Power, Portable Generating Sets

تتوافق المولدات العاملة بمحركات احتراق داخلي ترددية بخرج يصل إلى حوالي 10kW مع المواصفة ISO 8528-8:96، وتكون هذه الوحدات في العادة متنقلة ومصممة للاستخدام من أشخاص غير مؤهلين كهربائياً.

3-3 نظم مدخرات القدرة Power System Battery :

في هذا المجال نجد العديد من الاستخدامات أهمها :

آ- أنظمة المدخرات المركزية (لإنارة الطوارئ): Central Battery Systems (For Emergency Lighting)

يجب أن تتطابق أنظمة البطاريات الخاصة بإنارة الطوارئ مع المواصفة IEC 60686، حيث يكون الخرج تياراً متناوباً، أو مع المواصفة IEC 60478-2 حيث يكون الخرج تياراً مستمراً. يتراوح التغير في التوتر المسموح به في حالة التيار المستمر مقاساً عند توصيلات الخرج في وحدة تغذية الطوارئ من 10%+ إلى 10%-، وتكون الوحدة معدة للتشغيل المستمر والتشغيل المتوازي الاحتياطي لمصابيح الفلورسنت والمصابيح المتوهجة. يجب أن تكون بطاريات التخزين المخصصة لأنظمة إنارة الطوارئ إما حمضية رصاصية وفقاً للمواصفة رقم IEC 60896-1، أو بطاريات نيكل-كادميوم وفقاً للمواصفة رقم IEC 60285-1، ويتم تركيبها على إطار خشبي متعدد الرفوف. يتم تصميم شاحن المدخرة لأغراض الشحن الكثير المتكرر بعد تفريغ البطارية. أثناء الخدمة العادية يقوم الشاحن بتأمين تيار حمل كامل إضافة إلى تيار احتياطي كافٍ للمحافظة على المدخرة في وضع الشحن الكامل وفقاً للمواصفة رقم IEC 60335-2-29.

4-3 أنظمة عدم الانقطاع Uninterruptible Power Supply Systems (UPS)

تؤمن وحدات عدم انقطاع التغذية الكهربائية تغذية مستمرة لأحمال مخصصة بدون انقطاع عند حدوث أعطال في مصدر التغذية الرئيسي أو عمليات التحويل من مصدر تغذية إلى آخر. يجب أن تكون أنظمة عدم الانقطاع ذات تصميم قياسي وتتكون من:

- وحدة مقوم / شاحن أحادية أو ثلاثية الطور.
- وحدة بطارية بحمض رصاصي.
- وحدة معرج أحادية أو ثلاثية الطور.
- وحدة تحكم Controller من أجل التحكم بعملية الشحن.
- وحدة قاطع ساكن ووحدة إخراج مؤقت عن العمل للصيانة الميكانيكية ويجب أن تتطابق مع المواصفة IEC 60146-1-1.

يتم تركيب هذه الوحدات في صناديق معدنية ذات فتحات تهوية كافية. ويجب تركيب مكيفات للتبريد في حال كانت الغرفة التي تركب فيها وحدة عدم الانقطاع ذات حرارة مرتفعة. تصمم وحدات UPS للعمل عند درجات حرارة محيطة تتراوح من5- درجة مئوية و 40+ درجة مئوية وعند رطوبة نسبية 95% ونسبة تشويش على بعد 1m لا تتجاوز 65 db. في وحدات UPS معدل تغير التوتر لا يزيد عن $\pm 10\%$ والتردد عند 50Hz $\pm 0.5\%$، أما عند توتر العمل المستقر يجب أن لا يزيد تغيير التوتر عن $\pm 1\%$ وتغير التردد عند 50Hz $\pm 0.5\% Hz$. وفيما يلي شرح لهذه المكونات:

آ- **المقوم / الشاحن Rectifier/Charger**: الشاحن هو عبارة عن جسر متحكم فيه لتقويم التيار المتناوب وتحويله إلى تيار مستمر من أجل شحن البطاريات. يجب أن يتم تصميم شواحن البطاريات بشكل محدد و خاص بنوع البطارية المركبة، ويجب أن تكون الشواحن قادرة على استعادة الشحن الكامل من وضع التفريغ الكامل خلال 12 ساعة، ويجب أن تؤمن أوتوماتيكياً شحناً "بطيئاً" لإبقاء البطارية بحالة جيدة.

ب-مدخرات التخزين Storage Battery: يجب أن تحقق مدخرة التخزين ما يلي :

- أن تكون من النوع الذي لا يحتاج إلى صيانة حمضية رصاصية.
- مسبقة الشحن والتوصيل.
- أن تكون من النوع حمضي - رصاصي ومتطابقة مع المواصفة IEC 60896-1. وعند ما لا يتم تحديد زمن عمل البطاريات في المخططات أو جداول الكميات يجب أن لا يقل زمن العمل عن 15 دقيقة تحت الحمل الكامل. يجب أن تكون البطاريات مزودة بأجهزة تحكم كاملة داخل وحدة التحكم والمراقبة الخاصة لبيان حالة الشحن وجهد ومستوى الخرج. يجب أن يتم تزويد البطارية بحمايات مستقلة للحماية من زيادة الحمل حرارياً وحالات القصر، ويجب أن يتم تأمين تهوية لغرفة البطاريات .

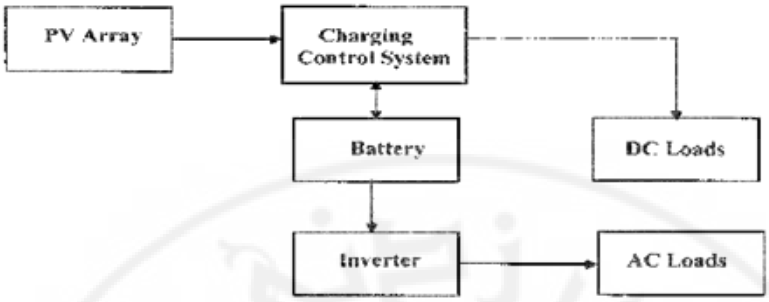
ج-المعرج Inverter: يتم تصميم المعرج الساكن بوصفه مبدلاً" الكترونيا" يرتكز على أنصاف النواقل(ثيرستور، ترانزستور) لتحويل التيار المستمر إلى تيار متناوب. يجب أن يتم التحكم ومراقبة توتر خرج المعرج بواسطة معالج صغري microprocessor، ويجب أن يستقر عمله ضمن $\pm 1\%$ من توتر الخرج الاسمي.

د-مبدل التمرير الساكن Static Bypass Switch : يتم تصميمه كقاطع فصل وصل يعتمد على استخدام ثيرستورين على التفرع لتحويل الحمل إلى الشبكة الرئيسية في حالة تعطل نظام التغذية الكهربائية بسبب عطل ما.

هـ-قاطع التمرير للصيانة الميكانيكية Mechanical Maintenance Bypass: تتكون من ثلاثة قواطع فصل معزولة بالكامل وقابلة للقفل في وضع "التشغيل" و"الإيقاف" وهي خاصة بنظام التغذية الكهربائية للسماح بإجراء عمليات الصيانة كافة دون قطع التيار عن الحمل.

3-5 نظم توليد الطاقة الكهرو شمسية: PV Solar Systems

لن نناقش في هذه الفقرة المبادئ النظرية لتوليد الطاقة الكهربائية من الإشعاع الشمسي ، بل سنركز الشرح على خطوات تصميم نظام شمسي منزلي والتصميم الميكانيكي للشبكة المعدنية الحاملة للألواح الشمسية .الشكل (3-1) يبين الهيكل العام لأجزاء هذا النظام .



الشكل (3-1) نموذج نظام توليد طاقة كهربائية من الخلايا الشمسية

آ- الخطوات الحسابية لنظام شمسي منزلي مبسط :

1"- حساب القدرة التي سوف يصرفها الحمل مقدرة بـ Wh.

$$P_{Load} = p_1.h_1 + p_2.h_2 + ...p_n.h_n \qquad (3-1)$$

P_{Load} : قدرة الحمل الكلية مقدرة بـ wh .

p_1, h_1 : استطاعة الحمل الأول وعدد ساعات تشغيله.

2"- احتساب مفاقيد نظام التوليد ويتم بإحدى طريقتين ،إما تكبير استطاعة الحمل بالمقدار 1.3 مرة أو القسمة على المردود العام للنظام ويقدر بـ 0.7 وفي كلتا الحالتين نحصل على النتيجة نفسها.

$$P_{Load,total} = P_{Load} \times 1.3 \qquad (3-2)$$

3"- حساب استطاعة الألواح الشمسية:

يتم حساب استطاعة الألواح الشمسية اللازم بناء" على عدد ساعات الإشعاع الشمسي اليومي n_h ويختلف عدد ساعات الإشعاع الشمسي من منطقة إلى أخرى :

$$P_{Array} = P_{Load\,total} / n_h \qquad (3-3)$$

ملاحظة1: يتم اختيار عدد ساعات الإشعاع الشمسي اليومي في أسوأ الحالات، فمثلا في الصيف يبلغ عدد ساعات الإشعاع 10ساعات، بينما في الشتاء لا يتجاوز 5 ساعات، لذلك عند حساب استطاعة الألواح الشمسية نعتبر عدد ساعات الإشعاع الأقل .

4"- حساب عدد الألواح اللازمة:

$$N_p = \frac{P_{Array}}{P_{panel}} \qquad (3-4)$$

ويقرب العدد الكسري إلى أعلى .

ملاحظة2: تربط الألواح على التسلسل والتفرع لتشكيل مصفوفة وذلك بهدف رفع قيمة التوتر والتيار الناتجين من الألواح .

5"- حساب عدد المدخرات اللازمة:

يتم حساب سعة نظام المدخرات اللازمة حسب العلاقة التالية :

$$C_{battery} = \frac{W_{Load,total}[wh]}{0.85 \times 0.6 \times V_{battery}} \qquad (3-5)$$

حيث:

0.85 : عامل الفقد في المدخرة .

0.6 : عامل يتعلق بعدد مرات الشحن والتفريغ ، إذ إن المدخرة ينخفض أداؤها بزيادة عدد مرات الشحن والتفريغ .

$V_{battery}$: توتر البطارية الاسمي.

$C_{battery}$: سعة نظام البطاريات ويقدر بـ Ah .

ثم بعد ذلك يتم حساب عدد المدخرات اللازمة من العلاقة :

$$N_{battery} = \frac{C_{battery}}{c_{nominal}} \qquad (3-6)$$

حيث :

$c_{nominal}$: سعة البطارية الواحدة.

يتم تدوير الرقم الناتج من العلاقة إلى سعة المدخرة الأعلى الموجود في الأسواق.

ملاحظة3: في أيام الشتاء قد لا يصدر اشعاع شمسي لمدة يوم كامل أو يومين، وبناء" على ذلك لن تولد الألواح الشمسية قدرة كهربائية مع استمرارية الحمل من المدخرات خلال الأيام الغائمة هذه . لذلك عند حساب سعة المدخرات يجب أن نأخذ بعين الاعتبار سعة احتياطية كافية لتشغيل الحمل خلال فترة عدم التوليد . السعة الاحتياطية هذه يقدرها المصمم حسب أهمية الحمل وضرورة استمرار تغذيته بالطاقة الكهربائية ، ومهما يكن فيجب عدم المبالغة في السعة الاحتياطية لأن كلفة المدخرات مرتفعة .

ملاحظة4:مجموعة البطاريات توصل على التسلسل والتفرع للحصول على توتر موافق للتوتر الناتج عن الألواح الشمسية حسب نظام ربط الألواح وأيضا توتر يتوافق مع توتر دخل المعرج .

6"- حساب قدرة الشاحن [A]:

تحسب قدرة الشاحن من العلاقة التالية :

$$P_{charger} = N_{p.parallel} \times I_{p.sh} \times 1.3 \qquad (3-7)$$

حيث:

$P_{charger}$: استطاعة الشاحن ويقدر بـ A .

$N_{p.parallel}$: عدد الألواح على المربوطة على التفرع.

$I_{p.sh}$:تيار القصر للوح الواحد .

1.3 : مكافئ المردود العام للنظام.

7"- استطاعة المعرج أو الـ Inverter [W]:

نختار استطاعة المعرج مساوية إلى استطاعة الحمل أو أكبر قليلا حسب طبيعة الحمل.

تطبيق 1 :

ليكن لدينا حمل كهربائي استطاعته مبينة بالجدول (3-1).

جدول(3-1) معطيات الأحمال

نوع الحمل	استطاعة الحمل[w]	عدد ساعات التشغيل[h]
لمبة موفرة للطاقة عدد 4	18	5
شاشة	110	4
جهاز حاسوب وتوابعه	100	2

والمطلوب تصميم نظام تغذية كهربائية بالطاقة الشمسية.

1- $W_{Load,tota} = (4\times18\times5+110\times4+100\times2)\times1.3 = 1300[wh]$

2- استطاعة الألواح الشمسية :

بفرض عدد ساعات اشعاع شمسي يومي 5 ساعات فيكون :

$$P_{Array} = \frac{1300}{5} = 260[w]$$

بفرض تم اختيار لوح شمسي استطاعته [W]250 فيكون عدد الألواح :

$$N_p = \frac{260}{250} = 1.04$$

نلاحظ من الحسابات أن لوحا" واحدا" يفي بالغرض ،لكن ولاعتبارات توسع الحمل وانخفاض عدد ساعات الإشعاع الشمسي يمكن اختيار لوح عدد 2.الجدول (3-2) يبين مواصفات اللوح الشمسي حسب الشركة الصانعة :

جدول (3-2) مواصفات اللوح الشمسي



لنفرض أنه تم ربط هذه الألواح على التفرع ، ومن الجدول (3-2) نجد :

أ- التوتر على خرج الألواح $[V]30.7$.

ب- التيار الأعظمي $8.63\times 2=17.26[A]$.

الربط على التفرع يضاعف قيمة التيار وهذا يعني الحصول على تيار أعلى من أجل الشحن الأمر الذي يؤدي إلى التقليل من عدد ساعات الشحن. من المفيد التركيز عليه عند توصيل الألواح أن التيار هو من النوع المستمر وأن كبر قيمة هذا التيار يتطلب استخدام كابلات ذات مقطع كبير، كما أن قيمة هبوط التوتر ستكبر أيضا" وخصوصا عند وجود الألواح في مكان بعيد عن مرصف المدخرات والمعرج. لذلك يجب الموازنة بين التوتر والتيار (أي الموازنة في الربط التسلسلي والتفرعي للألواح) لأن هذه القيم ستترك أثرها لاحقا في اختيار الشاحن .

3"- سعة البطاريات :

$$C_{battery}=\frac{1300}{0.85\times 0.6\times 12}=213[Ah]$$

نختار بطاريات ذات سعة اسمية :

$$c_{nomin al}=200[Ah]$$

فيكون عدد المدخرات المطلوبة :

$$N_{battery}=\frac{213}{200}=1.065$$

لنفترض أن عدد ساعات الإشعاع انخفضت عن 5 ويجب على النظام تشغيل الحمل ، لذلك سوف نزيد عدد المدخرات إلى 2.يتم ربط هذه المدخرات على التسلسل فيكون توتر نظام البطاريات [V] 12.

4"- استطاعة الشاحن [A]:

$$P_{charger}=8.63\times 2\times 1.3=22.438[A]$$

يمكن اختيار شاحن $40\,A$. يجب الانتباه إلى أن دخل الشاحن مستمر وخرجه مستمر DC-DC وأن دخل الشاحن يجب أن يكون متوافقا" مع خرج الألواح، وكذلك خرج الشاحن يجب أن يكون متناسبا" مع دخل المدخرات .أي إن دخل الشاحن يجب أن يكون أكبر

من $61.4V\,DC$ ، ويجب أن يكون خرجه $12V$، كما يجب أن يكون تيار الشحن لا يقل عن $40A$.

5" – استطاعة المعرج :نختار معرج باستطاعة $1Kw$ وفقا" لاستطاعة الحمل . طبعا إن توتر دخل المعرج هو توتر خرج المدخرات أي 12V DC اوتوتر خرجه متناوب 220V أو 380 V حسب استطاعة النظام .

"6- اللوحات والقواطع: تستخدم اللوحات الكهربائية والقواطع كما في التمديدات الكهربائية العادية وبنفس مواصفات التصنيع ورقمي IP . الشكل (3-2) يبين علبة توصيل الأسلاك إلى لوحة تحكم .



الشكل(3-2) لوحة توصيل الأسلاك .

7"- الأسلاك والكابلات :

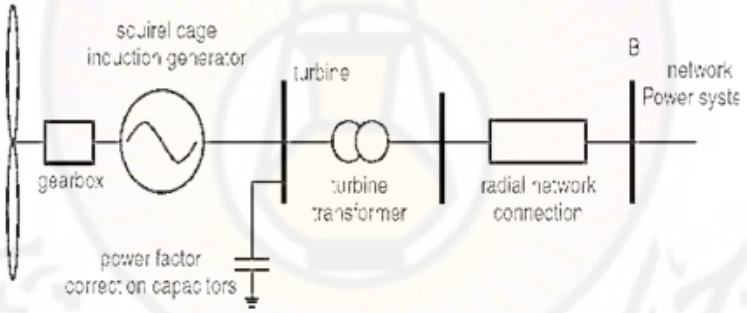
تستخدم في توصيل الأجزاء الكهربائية لنظام توليد الطاقة الكهربائية الشمسي نواقل من النحاس وأحيانا" من الألمنيوم ذات نوى مشكلة من أسلاك شعرية مجدول بعضها مع بعض. تصنع هذه النواقل بمقاطع بدءا" من $1\,mm^2$ وحتى $300mm^2$. الجدول(A-7) يبين الخواص الكهربائية ومقاطع الكابلات المستخدمة في توصيل الألواح بعضها مع بعض وتوصيلها مع المعرج والبطاريات .

8"- الحماية من الصواعق والتأريض:

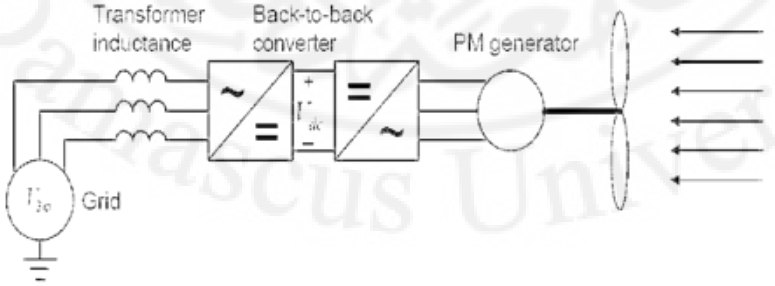
في أي منشأة توليد أو تحويل طاقة كهربائية يجب تأريض الهياكل المعدنية للمنصات الحاملة للألواح المعدنية ، ويجب تصميم شبكة لحمايتها من الصواعق . تفاصيل تصميم شبكتي التأريض والحماية من الصواعق مستعرضة بالتفصيل خلال فصول هذا الكتاب .

3-6 نظم توليد الطاقة الكهربائية الريحية:Wind Turbine Systems

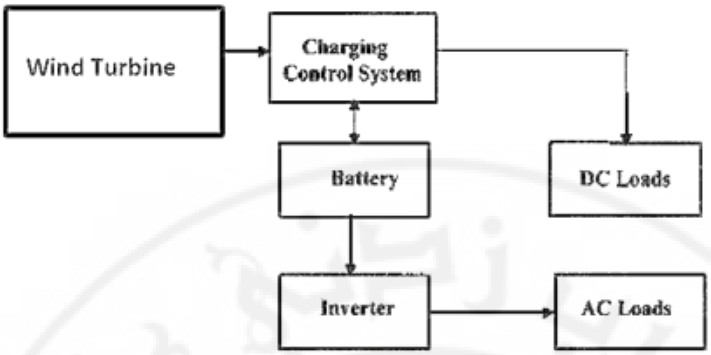
تستخدم هذه النظم في توليد الطاقة الكهربائية كمجموعات توليد احتياطية داعمة للشبكة الرئيسية أو بشكل منفصل لتغذية أحمال كهربائية منفصلة عن الشبكة. من الناحية العملية يوجد نوعان من هذه النظم، أولاها ذو خرج متناوب وثانيها ذو خرج مستمر وذلك تبعا لاستطاعة العنفات الريحية . العنفات الريحية حتى 1kw تعطي توتر خرج مستمر إما12 VDC أو24 VDC، أما العنفات أعلى من 1kWفتعطي خرج متناوب . الشكلان (3-3) و(3-4) يبينان نموذج توليد الطاقة الكهربائية باستخدام العنفات الريحية التي تعطي خرجا" متناوبا"، أما الشكل (3-5) فيبين مخطط صندوقي لنموذج توليد طاقة كهربائية باستخدام عنفات ريحية ذات خرج مستمر .



الشكل(3-3)نموذج توليد طاقة كهربائية بواسطة عنفة ريحية يستخدم فيها مولد تحريضي ذو سرعة ثابتة .



الشكل(3-4)نموذج توليد طاقة كهربائية بواسطة عنفة ريحية يستخدم فيها مولد ذو المغناطيس الدائم .



الشكل(3-5) نموذج توليد طاقة كهربائية بواسطة عنفة ريحية ذات خرج مستمر

لسنا معنيين في هذا الكتاب بشرح التفاصيل الفنية للعنفات الريحية وأنواعها، لكن بحسب اهداف هذا الكتاب سوف نركز الاهتمام على المسألة التصميمية لنظام توليد طاقة كهربائية منزلي باستخدام العنفات الريحية . في الحقيقة أيا" كان النظام المستخدم في توليد الطاقة الكهربائية باستخدام العنفات الريحية فإن المذكرة الحسابية لمشروع منزلي يعنى بالتغذية بالطاقة الكهربائية تتألف من المراحل التالية :

1"- حساب الطاقة الكهربائية للحمل خلال عام كامل مقدرة بـ KWh.

2"- تجهيز إحصائيات عن سرعات الرياح في المنطقة .

3"- تصميم جدول يبين عدد أيام وعدد ساعات تكرار كل مستوى من سرعات الرياح خلال عام كامل .

4"- اختيار العنفة الريحية المناسبة بحساب كمية الـ KWh التي تعطيها خلال عام . هذه القيمة يجب أن تكون مساوية أو أكبر من الطاقة المطلوبة للحمل .

5" - اختيار كل من الشاحن وسعة البطاريات والمعرج في أنظمة التوليد المنزلية ذات استطاعة أصغر أو تساوي 1kW .

6"- اختيار مقاطع الكابلات المناسبة وتصميم لوحات التحكم .

7"- اختيار عمود مناسب بطول لا يقل عن 8m لأن مقاييس سرعات الرياح تركب على ارتفاعات لا تقل عن 8m.

8"- تصميم القاعدة اللازمة للعمود وكذلك دارة التأريض .

تطبيق2:

المطلوب تصميم نظام تغذية باستخدام العنفات الريحية للحمل الذي ورد في المثال1، أي باستطاعة قدرها 1000 W ولعدد ساعات تشغيل يومي قدره 5 ساعات .

1"- القدرة المطلوبة للحمل خلال عام هي:

$$1000 \times 5 \times 365 = 1825[wh]$$

بأخذ عامل مردود العنفة (Power Coefficient factor) (Cp)بعين الاعتبار، إذ إن قيمته تساوي0.59. هذا العامل يعني أن العنفة في واقع الأمر تزود الحمل بـ 59% فقط من استطاعتها الإسمية ، لذلك يجب تكبير قدرة الحمل بالمقدار 1.5 تقريباً أي :

$$1825 \times 1.5 = 2737.5[wh]$$

ومن ثم يتم اختيار استطاعة العنفة الإسمية على أساس القيمة الأخيرة للحمولة .

2"- لنعتبر منطقة ذات إحصائيات ريحية كما في الجدولين (3-4) و (3-5).

الجدول (3-3) يبين المعدل الأصغري والأعظمي اليومي وكذلك المعدل السنوي لسرعة الرياح مقدرة بـ m/s وعلى ارتفاعات m 5- 10- 15-25 .

الجدول (3-3) المعدل الأصغري والأعظمي لسرعة الرياح اليومية والمعدل السنوي.

	5 Meters	10 Meters	15 Meters	25 Meters
Minimum Daily Average (m/s)	0.54	0.68	0.77	0.88
Maximum Daily Average (m/s)	6.29	8.02	8.88	10.31
Yearly Average (m/s)	2.20	2.81	3.16	3.61

الجدول (3-4) يبين عدد أيام تكرار كل معدل سرعة رياح خلال عام كامل على ارتفاعات m 5- 10- 15 – 25.

الجدول (3-4) عدد أيام تكرار كل معدل سرعة رياح خلال عام كامل على ارتفاعات 5- 10- 15 – 25 متر.

DailyAvg.Wind Speed(m/s)	5[m]	10[m]	15 [m]	25 [m]
0.0-0.5	0	0	0	0
0.5-1.0	35	15	11	4

1.0-1.5	80	47	33	21
1.5-2.0	81	65	48	43
2.0-2.5	51	62	61	53
2.5-3.0	43	45	55	41
3.0-3.5	23	35	34	49
3.5-4.0	20	27	31	81
4.0-4.5	17	18	22	45
4.5-5.0	10	17	17	47
5.0-5.5	3	14	13	45
5.5-6.0	1	12	18	48
6.0-6.5	2	4	8	85
6.5-7.0	0	3	6	93
7.0-7.5	0	1	5	63
7.5-8.0	0	1	2	70
8.0-8.5	0	0	0	15
8.5-9.0	0	0	1	16
9.0-9.5	0	0	1	20
9.5-10.0	0	0	0	0
10.0-10.5	0	0	0	2

من الجدولين (3-3) و (3-4) نلاحظ أن المنطقة ريحية وأن سرعات الرياح العالية التي تؤدي إلى توليد طاقة كهربائية عالية وخصوصا عند ارتفاع 25 m حسب ما هو مبين في الجدول (3-4)، لذلك سوف نختار عنفه ريحية باستطاعة 1kw تركب على ارتفاع 25m. الشكل (3-6) يبين منحني التوليد لهذه العنفة، والجدول (3-5) يبين الاستطاعة المولدة عند كل سرعة وهذا الجدول مستنتج من منحني توليد العنفة .

الشكل(3-6) منحني توليد العنفة الريحية .

الجدول(3-5) الاستطاعة المولدة عند كل سرعة .

m/s	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
w	0	62	169	291	415	587	875	1300	1450	1530	1520	1430	1360	1220	1130	1000	930	820

من الجدول (3-4) العمود الخامس والجدول (3-5) نصمم الجدول (3-6) التالي الذي يبين كمية الـ kwh المولدة عند كل سرعة رياح حسب أيام حدوثها. قيم العمود الأول والثاني من هذا الجدول مستنتجة من الجدول (3-4) والعمود الثالث من الجدول (3-5)، أما العمود الرابع فهو حاصل جداء العمود الثالث بـ 24 ساعة، والعمود الخامس هو حاصل جداء العمود الرابع بالعمود الثاني .

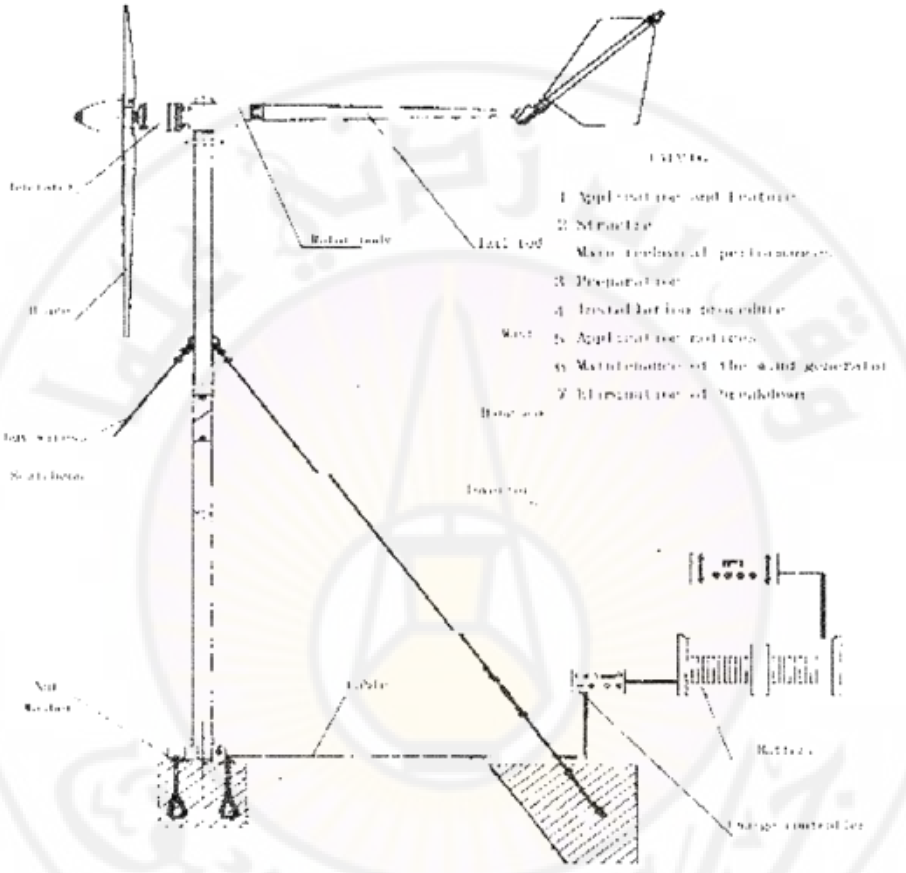
الجدول (3- 6) الطاقة المولدة بواسطة العنفة الريحية خلال عام واحد .

Wind Speed(m/s)	P Kw)	day	hour	P[KWh]
3-4	0.052	81	1944	101.8
4-5	0.169	47	1128	190.6
5-6	0.261	48	1152	300.7
6-7	0.415	93	2232	926.28
7-8	0.587	70	1680	986.16
8-9	0.875	20	480	420
9-10	0-1.13 كيج	0	0	0
10-11	0-1.45كيج	0	0	0
11-12	0-1.53كيج	0	0	0
12-13	0-1.53كيج	0	0	0
13-14	0-1.43كيج	0		0
14-15	0-1.36كيج	0		0
15-16	0-1.22كيج	0		0
		359	616	2925.6

من الجدول (3-6) نجد أن الطاقة المولدة هي 2925.65 kwh سنويا" وهذه القيمة كافية لتغطية الحمل 2737.5 kwh بنسبة :

$$\frac{2925.65}{2737.5}=1.07$$

5"-العمود :يبين الشكل (3-7) مخطط العمود وتوصيلاته مع المتممات .



الشكل(3-7) مخطط عمود العنفة

5"-تأريض العمود يتم باستخدام وتد أرضي طوله 2m مصنوع من أنبوب من الحديد المغلفن يغرس بجانب العمود، ويوصل بسلك نحاسي إلى جسم العمود .

الباب الثالث

تصميم خطوط نقل القدرة الهوائية

Overhead Electrical Lines Design

سنتناول في هذا الباب خواص الكابلات والنواقل الكهربائية، وسنشرح أسس التصميم الميكانيكي لعناصر شبكات التوزيع وخطوط النقل الكهربائية من خلال الفصول التالية :

الفصل الأول : مبادئ أساسية في تصميم خطوط نقل القدرة الكهربائية

الفصل الثاني : كابلات القدرة الكهربائية منخفضة ومتوسطة التوتر.

الفصل الثالث: النواقل المستخدمة في خطوط نقل القدرة الهوائية.

الفصل الرابع : الدراسة الميكانيكية للنواقل وسلاسل العوازل.

الفصل الخامس : تصميم الحوامل.

الفصل السادس : تصميم قواعد الحوامل

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الأول

مبادئ أساسية في تصميم خطوط نقل القدرة الهوائية
Basics in Designing of Overhead Transmission Lines

1-1 مقدمة: Introduction

إن إعداد إضبارة مشروع تنفيذ خط نقل قدرة يتم على ثلاث مراحل:

- مرحلة ما قبل إعداد الدراسة التصميمية للخط.
- مرحلة إعداد الدراسة التصميمية للخط.
- مرحلة ما بعد الانتهاء من الدراسة التصميمية للخط.

وفيما يلي شرح الأعمال التي يجب تنفيذها في كل مرحلة .[60],[90],[103]

1-2 أعمال المرحلة الأولى: First Stage works

قبل البدء بدراسة التصميم الميكانيكي لخطوط نقل القدرة الكهربائية هناك مجموعة من الأعمال يجب القيام بها من أهمها:

1- معرفة المعطيات الكهربائية للحمولة :

إذ لابد بداية من معرفة المعطيات الأساسية الكهربائية عن المنطقة التي سيقوم الخط بتغذيتها ودراسة تطور الحمولات ولفترات زمنية لا تقل عن 15 عاماً. إن دراسة الحمولات وتطورها يتم من خلال منحنيات الحمولة للمنطقة المدروسة وأيضاً من خلال الكودات وطرائق تقدير الحمولة المختلفة المتعارف عليها. إن هذه الأفكار تمت مناقشتها في مقررات مختلفة كالمحطات ونظم القدرة الكهربائية والاقتصاديات.

2- تحديد نوع ومستوى التوتر الذي سيعمل عليه الخط:

وهذا يتعلق بطول الخط والاستطاعة المنقولة عليه، وعملياً تستخدم عدة علاقات في خطوط نقل القدرة الهوائية تمكننا من حساب التوتر الأساسي بصورة تقريبية من أهمها:

آ-معادلة ستيل:

$$V = 4.34\sqrt{L_{line} + 0.016p} \qquad (1-1)$$

حيث:

V: توتر الخط $[kv]$.

L_{line} : طول الخط $[km]$.

P: الاستطاعة المنقولة $[kW]$.

تستخدم هذه المعادلة من أجل الاستطاعات الصغيرة المنقولة لمسافات قصيرة أي بحدود 60 MW ولطول لا يزيد على 250 km.

ب- معادلة زالسكي:

$$V = \sqrt{P + 0.015\sqrt{L_{line}}} \qquad (1-2)$$

حيث:

V : توتر الخط [kv].

L_{line} : طول الخط [km].

P : الاستطاعة المنقولة [kw].

وتستخدم هذه المعادلة من أجل المسافات البعيدة والإستطاعات الكبيرة . أما تحديد نوع التوتر الذي سيعمل عليه الخط فيما إذا كان مستمراً أم متناوباً فيحدده العزم الكهربائي فإذا كان:

$$MT = P.L_{Line} \le 1000 \times 10^3 \left[MW.km\right] \qquad (1-3)$$

فإن النقل بالتوتر المتناوب أفضل.

أما إذا كان:

$$MT = P.L_{Line} \ge 1000 \times 10^3 \left[MW.km\right] \qquad (1-4)$$

فإن النقل بالتوتر المستمر يكون اقتصادياً أكثر. إن العلاقات السابقة تعطينا قيمة تقريبية للتوتر الاسمي، لذلك وبعد انتهاء الحساب وفق هذه العلاقات يجب تقريب النتيجة إلى أقرب توتر اسمي معروف تعمل عليها الشبكة المدروسة.

3- مسح طبوغرافي للمسار:

عادةً تشكل فرقة استطلاع المسار من مهندس مختص ذي خبرة مع طبوغرافي ومساعد، إذ تقوم هذه الفرقة باستطلاع المسار على الطبيعة بعد أن يكون قد حدد مبدئياً على الخريطة الطبوغرافية للمنطقة المدروسة. على ضوء هذا الاستطلاع للمسار يتم تعديل

المسار على الخريطة الطبوغرافية حيث يأخذ شكله النهائي. ويراعى عند تحديد المسار أن يكون قريباً من الطرقات العامة والأماكن التي يسهل الوصول إليها بوساطة السيارات إذ يساعد ذلك على أعمال الصيانة وإنشاء الخط، وأن يبتعد المسار ما أمكن عن المناطق المأهولة بالسكان، والمناطق الصناعية التي تحوي خاصة مواد قابلة للاشتعال، كما يجب أن نتحاشى مرور الخط في المناطق ذات التضاريس القاسية (وديان وهضاب) لأن ذلك يرفع من الكلفة الاقتصادية لإنشاء الخط.

4- إعداد المخططات الطبوغرافية للمسار :

بعد أن يجري اعتماد المسار المناسب للخط، يتم إعداد مخطط طبوغرافي يبين عليه مقطع طولي لكامل مسار الخط .هذا المخطط يظهر جميع التضاريس التي يمر فيها الخط وأيضا مناسيب مختلف النقاط بالنسبة لنقطة أساس محددة. بالإضافة إلى ذلك يجب أن يبين على المخطط الطبوغرافي مسافة تقارب خمسمئة متر عن يمين ويسار الخط لمعرفة ما يحيط بالخط من عوائق.

3-1 أعمال المرحلة الثانية :Second Stage Works

بعد القيام بتحضير المعلومات الواردة في الفقرة (1-2)، نبدأ بدراسة التصميم الميكانيكي لخط النقل الذي يتم وفق التسلسل التالي:

1- تحديد نوع الناقل كابل أم ناقل هوائي حسب نوع المسار (يابسة – مسطحات مائية)

2"- بناء على التوتر الذي سيعمل عليه الخط والاستطاعة المنقولة يتم تحديد مقطع الناقل، وعدد الدارات اللازمة لنقل الاستطاعة المطلوبة.

3"- الدراسة الميكانيكية للخط:

وهنا نميز حالتين :

آ- خط أرضي :

في هذه الحالة تشمل الدراسة الميكانيكية تشمل الأعمال التالية :

- تحديد طريقة تمديد الكابل على المسار.
- تحديد طريقة تنفيذ الوصلات عند بداية الخط ونهايته .
- تحديد طريقة دخول الكابلات إلى محطات التحويل أو خروجها منها.

ب- خط هوائي :

في هذه الحالة تشمل الدراسة الميكانيكية ما يلي:

- دراسة تدلي النواقل (معادلة السليسلة)، ورسم منحنيات التدلي للنواقل لحالات تصميمية مختلفة (قيم مختلفة للوسيط والفتحات بين الأعمدة).
- دراسة ورسم المنحنيات التصميمية للخط، وهذا يتم وفق معادلة تسمى معادلة تغير الحالة: تفيد المنحنيات التصميمية في معرفة قيمة الإجهاد الذي يتعرض له الناقل عند فتحة محددة بين الأعمدة محددة وفي فرضية مناخية معينة ولوسيط تصميمي محدد أيضاً. إن الإجهاد الذي يتعرض له الناقل يجب أن يكون أقل من الإجهاد المسموح به بصورة دائمة. حتى يكون التصميم سليماً.
- دراسة تأرجح سلسلة العوازل والتباعد بين النواقل مع بعضها وبين النواقل والحامل: إن تأرجح سلسلة العوازل يجب أن يتم ضمن حدود معينة، كما أن البعد بين النواقل مع بعضها وبين النواقل والحامل يجب أن يكون أكبر من قيم محددة، وذلك تحاشياً لحدوث انهيار أو قصر بين الناقل والحامل.
- اختيار الحوامل والأبراج المناسبة للخط: من الناحية العملية يمكن استخدام الحوامل الخشبية والإسمنتية والأبراج المعدنية في مدّ خطوط نقل القدرة الهوائية.
- تصميم قواعد الأبراج: بعد اختيار الحوامل أو الأبراج المناسبة تتم دراسة قواعد الأبراج إذ يمكن أن نميز من الناحية العملية بين طريقتين، الأولى طريقة عوامل رانكن والثانية طريقة القوى النازعة.

4-1 أعمال المرحلة الثالثة: Third Stage Works

بعد تنفيذ التصميم الميكانيكي للخط هناك أعمال لابد من القيام وهنا نميز أيضاً حالتين:

آ- خط أرضي :

- رسم مقاطع مختلفة في قناة المسار تبين بوضوح طريقة مد الكابل في القناة .
- رسم مقاطع مختلفة عند كل عبور لعائق يبين طريقة مد الكابل فيه.
- إعداد جداول النورمات التي اعتمدت في تصميم الخط.
- تقديم كل ما من شأنه أن يبين للمنفذ طريقة التنفيذ .

- إعداد دفاتر الشروط الفنية وجداول الكميات .
- إعداد الكشف التقديري.

ب- خط هوائي :

-توقيع الأبراج أو الحوامل على مسار الخط على المقطع الطولي للخط. حيث يتم ذلك بشكل هندسي مدروس باستخدام الحوامل المناسبة والمحددة بالدراسة الميكانيكية للخط. إن توقيع الأبراج والحوامل يتم على أساس الوسيط التصميمي للخط أما توقيع الناقل فيتم بواسطة مساطر خاصة مصممة بناءً على دراسة معادلة السليسلة. عند توقيع الأبراج والحوامل على مسار الخط يجب مراعاة عدة أمور من أهمها:

-إن الفتحة بين حاملين يجب أن تكون ضمن الحدود المسموح بها، أي أصغر أو تساوي الفتحة الوسطية التي صمم عليها الخط، وأن تؤمن ارتفاع آمن للناقل عن الأرض في منتصف المسافة بين حاملين، إذ إن مقدار ارتفاع أخفض نقطة من الناقل عن الأرض يختلف باختلاف توتر الخط.

-أن تكون الإجهادات على النواقل ضمن الحدود المسموح بها. إن مراعاة هذين الأمرين يستدعي من المصمم أن يقوم بالكثير من المحاولات والمناورات للحصول على حل اقتصادي وفني أمثل. بالإضافة إلى ذلك توقيع الأبراج يجب الانتباه إلى مواقع أبراج الشد والزاوية، إذ إن وضعها في أماكن غير مناسبة يمكن أن يعرض الخط للانهيار .

-إعداد دفاتر الشروط الخاصة وجداول الكميات والكشف التقديري. بعد الانتهاء من تصميم الخط يتم وضع دفاتر الشروط الفنية العامة والخاصة. في هذه الدفاتر تبين معلومات تفصيلية عن شروط تركيب وتنفذ جميع الأعمال الميكانيكية والمدنية، وهي التي تتعلق بمدّ النواقل وتعليق العوازل وصب وتنفيذ قواعد الأبراج والحوامل، حيث توضح للجهة المنفذة جميع ما يلزم بهذا الشأن. بعد ذلك يجري إعداد جداول تفصيلية بكميات المواد المستخدمة ، فتعطى مثلاً النواقل بالطن والأبراج بالطن والأعمدة الخشبية والإسمنتية والعوازل بالعدد، وكذلك كميات البيتون والحفريات اللازمة بالمتر المكعب. بعد تنظيم جداول الكميات نقوم بتنظيم جداول أخرى إذ يتم وضع سعر لتنفيذ كل بند من بنود جداول الكميات ثم يحسب الكشف التقديري للمشروع.

1-5 إعداد إضبارة المشروع:

تشمل الاضبارة ما يلي:

- المخططات التنفيذية للمشروع.
- دفاتر الشروط الفنية العامة والخاصة.
- جداول الكميات وجداول الأسعار.
- الكشف التقديري.

في فصول هذا الباب سنقدم مايلزم من مواصفات فنية للكابلات والنواقل الهوائية ،بالإضافة إلى معلومات وطرق من أجل إنجاز بنود الدراسة الميكانيكية لعناصر الخطوط الهوائية، أما طريقة ومراحل دراسة مشروع متكامل لخط هوائي أو أرضي فسيتم شرحه في الباب الرابع .

الفصل الثاني

كابلات القدرة الكهربائية منخفضة ومتوسطة التوتر

Medium and Low Voltage Power Electrical Cables

2-1 مقدمة: Introduction

تستخدم كابلات القدرة الكهربائية في شبكات توزيع القدرة الكهربائية منخفضة ومتوسطة التوتر، وتستخدم الكابلات في توزيع القدرة الكهربائية ضمن المنشآت العامة والصناعية. في هذا الفصل سوف نشرح طريقة حساب واختيار مقطع الكابل، بالإضافة إلى استعراض جداول مقاطع الكابلات وعوامل تصحيح مقاطعها كما وردت في النظم العالمية .[4],[9],[16],[19],[81],[84]

2-2 حساب مقطع كابل: Cross cable Calculation

تستخدم في شبكات التوزيع الكهربائية الأرضية المقاطع mm^2 240-185-120-70. يتم تحديد المقطع بناء" على استطاعة الأحمال حيث يحقق شروط هبوط التوتر والتحميل الحراري وتحمل تيار القصر. إن حساب مقطع كابل أو ناقل هوائي يتم وفق الخطوات التالية :

آ- حساب مقطع الكابل حسب التحميل الحراري :

تحقيق شرط التحميل الحراري يعني تحمل الكابل للتيار المار به بصورة مستمرة بدون انهيار. يتم حساب التيار من العلاقة(2-1) :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U_L \times \cos\phi} \qquad (2-1)$$

حيث :

I :تيار الحمل [A].

P :استطاعة الحمل [kW].

U_L : توتر الخط [kV].

$\cos\phi$:عامل الاستطاعة للحمل.

ب- تحقيق شرط هبوط التوتر :

بعد تحديد مقطع الكابل على أساس التحميل الحراري يجب التحقق من أن مقطع الكابل المختار يحقق شرط هبوط التوت.إن حساب هبوط التوتر يتم من العلاقة(2-2) :

$$\frac{\Delta U}{U} = \sqrt{3} \times I \times (R.\cos\phi + X \sin\phi) \times 100 \leq 3-5\% \qquad (2-2)$$

هبوط التوتر النسبي يجب أن يكون أقل من 3% في شبكات التوتر المنخفض، وأن لايتجاوز 5% في شبكات التوتر المتوسط. إذا ماحقق المقطع شرط هبوط التوتر يتم اعتماده وإلا يجب اختيار مقطع أكبر ثم يعاد التحقق من شرط هبوط التوتر وهكذا حتى يتم تحديد المقطع المناسب .

ج- تحقيق شرط تحمل تيار القصر :

يحسب مقطع الناقل على أساس تيار القصر الذي يتحمله الكابل لفترة زمنية أقل من ثانية واحدة من العلاقة (3-2).

$$S = \frac{\sqrt{t}}{K} I_{sc} \qquad (2-3)$$

حيث :

S: مقطع الناقل [mm2].

Isc: تيار القصر [kA].

t: زمن الدارة القصيرة ويقدر 0.5 S 0.4-.

K: ثابت يتعلق بنوع معدن وعازلية الكابل ، ويأخذ القيم التالية :

$$Cu/PVC = 0.115$$
$$Cu/XLPE = 0.143$$
$$Al/PVC = 0.076$$
$$Al/XLPE = 0.094$$

يتم حساب تيار القصر بعد تحديد استطاعة قصر الشبكة $S_{net-short}$ وتحدد لشبكة التوزيع $20kV$ في الشبكة الحلية بـ $500MVA$ ، ثم تحديد استطاعة قصر المحولة من العلاقة:

$$S_{tr-short} = \frac{S_n}{X_{pu}} \qquad (2-4)$$

حيث :

$S_{tr-short}$: استطاعة قصر المحولة MVA .

S_n : الاستطاعة الإسمية للمحولة MVA .

X_{pu} : مفاعلة المحولة مقدرة بـ pu وتؤخذ قيمتها من جدول مواصفات المحولة .

ثم تطبق العلاقة :

$$\frac{1}{S_{short}} = \frac{1}{S_{net-short}} + \frac{1}{S_{tr-short}}$$

$$\Rightarrow S_{short} = \frac{S_{net-short} \cdot S_{tr-short}}{S_{net-short} + S_{tr-short}} \qquad (2-5)$$

بعد ذلك يتم حساب تيار القصر :

$$I_{sh} = \frac{S_{short}}{\sqrt{3}.U_L} \qquad (2-6)$$

I_{sh} : تيار القصر kA .

S_{short} :استطاعة القصر MVA .

U_L : توتر الخط kV .

ثم تطبق العلاقة (2-3) لحساب المقطع ، أو يمكن الرجوع إلى جداول توضح العلاقة بين المقطع وتيار القصر ، إذ يمكن تحديد المقطع مباشرة .

ملاحظة :

عند اختيار القاطع للكابل يجب حساب استطاعة قصر الكابل وإضافتها إلى العلاقة (2-5) من أجل حساب استطاعة قصر المسار من المحولة حتى القاطع. تحسب استطاعة قصر الكابل من العلاقة :

$$S_{cable-short} = \frac{(U_L)^2}{X_{c-cable}(\Omega)} \qquad (2-7)$$

بعد ذلك تعدل العلاقة (2-5) لتصبح :

$$\frac{1}{S_{short}} = \frac{1}{S_{net-short}} + \frac{1}{S_{tr-short}} + \frac{1}{S_{cable-short}} \qquad (2-8)$$

من العلاقة(2-8) يحسب تيار القصر الذي سيتم حسب قيمته اختيار القاطع .

$$I_{breaker-short} = \frac{S_{short}}{\sqrt{3}.U_L} \qquad (2-9)$$

$I_{breaker-short}$: تيار القصر الذي يجب أن يتحمله القاطع لفترة زمنية قصيرة يقدر بـ kA .

إن المقطع المحدد بعد هذه الإجراءات الحسابية ليس نهائياً، إذ يجب ضرب قيمة هذا المقطع بعوامل تسمى عوامل التصحيح. لأن طريقة توضع الكابلات وعددها في الخندق تؤدي دورا في ارتفاع وانخفاض درجة الحرارة المحيطة بالكابل وبذلك تؤثر على كثافة التيار المار في الكابل، لذلك يجب تصحيح قيمة المقطع آخذين بعين الإعتبار أثر تجاور الكابلات على المقطع. أثر التجاور هذا سنعبر عنه رياضيا بعوامل تسمى عوامل التصحيح. تعطى عوامل التصحيح بجداول خاصة في الفقرات القادمة من هذا الفصل .

3-2 المواصفات الفنية لكابلات القدرة الكهربائية :Cables Specification

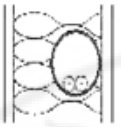
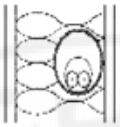
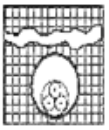
لقد حددت النظم العالمية المواصفات الفنية لكابلات القدرة الكهربائية. من أهم هذه النظم النظام العالمي IEC 60364-5 .

2-3-1 : المواصفات الفنية لكابلات التوتر المنخفض : Low Voltage cables

آ – مقاطع الكابلات :

الجدولان (2-1) و(2-2) يبينان قيمة التيار الإسمي ومقطع الكابل المناسب له لنوعين من أنواع الكابلات حسب العازلية PVC و XLPE. هذه الجداول تعود لشركة SCC، وإن الشركة قد صنعت هذه الكابلات وفق المواصفة IEC 60364-5-52 . في هذين الجدولين نبين مواصفات الكابلات ثلاثية أو رباعية النوى نحاسية ذات عزل XLPE تعمل على توتر 0.6/1kV. وإذا مالزم الأمر إلى مواصفات أخرى فيمكن الرجوع إلى منتجات الشركات العالمية واختيار المناسب. إن ما أوردناه من مواصفات للكابلات كان على سبيل المثال لتوضيح طريقة اختيار مقطع كابل على أساس التحميل الحراري .

جدول(2-1) المواصفات الفنية لكابلات التوتر المنخفض PVC.

Nominal cross-sectional area of conductors (mm^2)	Installation methods					
	A1	A2	B1	B2	C	D
						
1	2	3	4	5	6	7
Copper						
1.5	13.5	13	15.5	15	17.5	18
2.5	18	17.5	21	20	24	24
4	24	23	29	27	32	31
6	31	29	36	34	41	39
10	42	39	50	46	57	52
16	56	52	68	62	76	67
25	73	68	89	80	96	86
35	89	83	110	99	119	103
50	108	99	134	118	144	122
70	136	125	171	149	184	151
95	164	150	207	179	223	179
120	188	172	239	206	259	203
150	216	196	-	-	299	230
185	245	223	-	-	341	258
240	286	261	-	-	403	297
300	328	298	-	-	464	336
Aluminium						
2.5	14	13.5	16.5	15.5	19.5	18.5
4	18.5	17.5	22	21	25	24
6	24	23	29	27	32	30
10	32	31	39	36	44	40
16	43	41	53	49	59	52
25	57	53	70	62	79	66
35	70	65	86	77	90	82
50	84	78	104	92	110	94
70	107	98	133	116	140	117
95	129	116	161	139	170	138
120	149	135	186	160	197	157
150	170	155	-	-	227	178
185	194	176	-	-	259	200
240	227	207	-	-	305	230
300	261	237	-	-	351	260

جدول(2-2) المواصفات الفنية لكابلات التوتر المنخفض PVC, XLPE ممددة في الأرض أو الهواء بدرجة حرارة 70للناقل و30 درجة حرارة الهواء في حال التمديد في الهواء و20 درجة حرارة الأرض في حال تمديدها في الأرض.

ب- عوامل التصحيح :

الجداول التالية تبين قيم عوامل التصحيح حسب توضع وعدد الكابلات في الخندق الواحد.علما أن كل عوامل التصحيح هي وفق المواصفة العالمية IEC60364-5-52.

- عوامل تصحيح درجة الحرارة K1.K2 :

الجداول (2-3 أ- ب) يبينان عامل التصحيح في حال تمديد الكابل في الهواء K1 جدول (أ) إذ درجة الحرارة التصميمية هي30، بينما الجدول(ب) يخص عامل تصحيح تمديد الكابل في الأرض K2 إذ إن درجة الحرارة 20 درجة.

جدول(2-3) عوامل التصحيح K1,K2.

(أ)عامل التصحيح K1

Ambient temperature °C	Insulation	
	PVC	XLPE and EPR
10	1.22	1.15
15	1.17	1.12
20	1.12	1.08
25	1.06	1.04
30	0.94	0.96
35	0.87	0.91
40	0.79	0.87
45	0.71	0.82
50	0.61	0.76
55	0.50	0.71
60	-	0.65
65	-	0.58
70	-	0.50
75	-	0.41

(ب)عامل التصحيح K2

Ground temperature °C	Insulation	
	PVC	XLPE and EPR
10	1.10	1.07
15	1.05	1.04
20	0.95	0.96
25	0.89	0.93
30	0.84	0.89
35	0.77	0.85
40	0.71	0.80
45	0.63	0.76
50	0.55	0.71
55	0.45	0.65
60	-	0.60
65	-	0.53
70	-	0.46
75	-	0.38

-عامل تصحيح ناتج عن سعة الكابل K3:

هذا العامل تابع لقيمة مقاومة الأرض ،الجدول (2-4 -أ-ب) يبين قيم هذا العامل .

جدول (2-4-أ) عامل التصحيح K3.

Thermal resistivity, K.m/W	1	1.5	2	2.5	3
Correction factor	1.18	1.1	1.05	1	0.96

إن قيمة المقاومة الحرارية للتربة تتعلق بنوع التربة والجدول التالي يبين ذلك.

جدول (2-4-ب) عامل التصحيح K3.

Nature of soil	k3
Very wet soil (saturated)	1.21
Wet soil	1.13
Damp soil	1.05
Dry soil	1.00
Very dry soil (unbaked)	0.86

- **عامل التصحيح ناتج عن توضع الكابلات مع بعضها حسب عدد الدارات K4:**

الجدول (2-5-أ-ب-ج) يبين عامل التصحيح الناتج عن وضع عدة دارات من الكابلات جنبا إلى جنب في الهواء .

جدول (2-5-أ) عامل التصحيح K4

Arrangement (cables touching)	Number of circuits or multi-core cables												Reference methods
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20	
Bunched in air, on a surface, embedded or enclosed	1.00	0.80	0.70	0.65	0.60	0.57	0.54	0.52	0.50	0.45	0.41	0.38	Methods A to F
Single layer on wall, floor or unperforated tray	1.00	0.85	0.79	0.75	0.73	0.72	0.72	0.71	0.70	No further reduction factor for more than nine circuits or multi-core cables			Method C
Single layer fixed directly under a wooden ceiling	0.95	0.81	0.72	0.68	0.66	0.64	0.63	0.62	0.61				
Single layer on a perforated horizontal or vertical tray	1.00	0.88	0.82	0.77	0.76	0.73	0.73	0.72	0.72				Methods E and F
Single layer on ladder support or cleats etc.	1.00	0.87	0.82	0.80	0.80	0.79	0.79	0.78	0.78				

جدول (2-5-ب) عامل التصحيح K4

Number of circuits	Cable to cable clearance (a)[a] Nil (cables touching)	One cable diameter	0.125 m	0.25 m	0.5 m
2	0.75	0.80	0.85	0.90	0.90
3	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85
4	0.60	0.60	0.70	0.75	0.80
5	0.55	0.55	0.65	0.70	0.80
6	0.50	0.55	0.60	0.70	0.80

[a] Multi-core cables



[a] Single-core cables



جدول (2-5-ج) عامل التصحيح K4

Method of installation			Number of tray	Number of three-phase circuits 1	2	3	Use as a multiplier to rating for
Perforated trays	31	Touching ≥ 20 mm	1	0.98	0.91	0.87	Three cables in horizontal formation
			2	0.96	0.87	0.81	
			3	0.95	0.85	0.79	
Vertical perforated trays	31	Touching ≥ 225 mm	1	0.96	0.92		Three cables in vertical formation
			2	0.95	0.91		
Ladder supports, cleats, etc.	32	Touching ≥ 20 mm	1	1.00	0.97	0.96	Three cables in horizontal formation
	33		2	0.98	0.93	0.89	
	34		3	0.97	0.90	0.86	
Perforated trays	31	≥ 2D, ≥ 20 mm	1	1.00	0.98	0.96	Three cables in trefoil formation
			2	0.97	0.93	0.89	
			3	0.96	0.92	0.86	
Vertical perforated trays	31	Spaced ≥ 2D, ≥ 225 mm	1	1.00	0.91	0.89	
			2	1.00	0.90	0.86	
Ladder supports, cleats, etc.	32	≥ 2D, ≥ 20 mm	1	1.00	1.00	1.00	
	33		2	0.97	0.95	0.93	
	34		3	0.96	0.94	0.90	

2-3-2 المواصفات الفنية لكابلات التوتر المتوسط: Medium Voltage Cables

آ- مقاطع الكابلات :

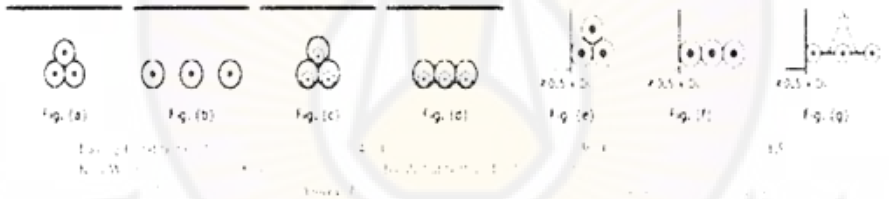
الجداول التالية تبين مقاطع كابلات التوتر المتوسط من مختلف الأنواع .

جدول(2-6) خواص كابل وحيد النواة نحاسي XPLE غطاء خارجي 12/20 kv PVC

جدول(2-7) خواص كابل ثلاثي النوى نحاسي عازل XPLE غطاء خارجي 12/20 kv PVC .

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

جدول(2-8) خواص كابل وحيد النواة المنيوم عازل XPLE غطاء خارجي 12/20 kv PVC



جدول(2-9) خواص كابل ثلاثي النوى المنيوم عازل XPLE غطاء خارجي 12/20 kv PVC .

ب- عوامل التصحيح :

الجداول من (2-10)حتى (2-20) تبين قيم هذه العوامل .

جدول(2-10) درجة حرارة الكابل والهواء المحيط به

90°C	1.14	1.10	1.05	1.00	0.95	0.89	0.84

جدول(2-11) عامل تصحيح مقطع كابل ممدة مباشرة على أرض القناة وحسب عمق القناة

Derating factors for depth laying for buird cables

0.9	1.14	1.16	1.18
0.8	1.12	1.14	1.15
0.7	1.10	1.11	1.11
1.0	0.98	0.97	0.95
1.5	0.96	0.95	0.96
1.9	0.95	0.93	0.94
1.5	0.92	0.91	0.92
2.0	0.91	0.90	0.93
2.5	0.91	0.90	0.91
3.0	0.90	0.88	0.90

جدول(2-12) عامل تصحيح مقطع كابل ممد في أنبوب وحسب عمق القناة

جدول (2-13) عامل تصحيح مقطع كابل وحيد النواة ممدد مباشرة على أرض القناة حسب المقاومة الحرارية للتربة

جدول (2-14) عامل تصحيح مقطع كابل ثلاثي النوى ممدد مباشرة على أرض القناة حسب المقاومة الحرارية للتربة

جدول (2-15) عامل تصحيح مقطع كابل في حال توضع مجموعة كابلات ثلاثية النوى ممددة بشكل أفقي على أرض القناة مباشرة

جدول (2-16) عامل تصحيح مقطع كابل مجموعة دارات ثلاثية الطور ذات كابلات أحادية النوى ممددة مباشرة في الأرض

جدول(2-17) عامل تصحيح مقطع كابل في حال توضع مجموعة كابلات ثلاثية النوى في أنابيب بشكل أفقي

جدول(2-18) عامل تصحيح مقطع كابل في حال مجموعة كابلات ثلاثية النوى متوضعه في الهواء

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

ج- تيارات القصر :

جدول (2-19) تيار القصر للكابلات النحاسية

kA Short circuit current - Copper conductor - XLPE Insulated

25	113	80	65	57	51	36	25	21	18	16
35	158	112	91	79	71	50	35	29	25	22
50	226	160	131	113	101	72	51	41	36	32
70	317	224	183	158	142	100	71	58	50	45
95	430	304	248	215	192	136	96	78	68	61
120	543	384	313	271	243	172	121	99	86	77
150	679	480	392	339	304	215	152	124	107	96
185	837	592	483	419	374	265	187	153	132	118
240	1086	768	627	543	486	343	243	198	172	154
300	1357	960	784	679	607	429	304	248	215	192
400	1810	1280	1045	905	809	572	405	330	286	256
500	2262	1600	1306	1131	1012	715	506	413	358	320
630	2851	2016	1646	1425	1275	901	637	520	451	403
800	3620	2560	2090	1810	1619	1145	809	661	572	512
1000	4525	3199	2612	2262	2024	1431	1012	826	715	640
1200	5430	3839	3135	2715	2428	1717	1214	991	859	768
1400	6335	4479	3657	3167	2833	2003	1416	1157	1002	896
1600	7240	5119	4180	3620	3238	2289	1619	1322	1145	1024
1800	8144	5759	4702	4072	3642	2576	1821	1487	1288	1152
2000	9049	6399	5225	4525	4047	2862	2024	1652	1431	1280
2500	11312	7999	6531	5656	5059	3577	2529	2065	1789	1600

جدول(2-20) تيار القصر لكابلات الألمنيوم

kA Short circuit current - Aluminum conductor - XLPE Insulated

25	75	53	43	37	33	24	17	14	12	11
35	105	74	60	52	47	33	23	19	17	15
50	149	106	86	75	67	47	33	27	24	21
70	209	148	121	105	94	66	47	38	33	30
95	284	201	164	142	127	90	63	52	45	40
120	359	254	207	179	160	113	80	65	57	51
150	446	317	259	224	200	142	100	82	71	63
185	553	391	319	276	247	175	124	101	87	78
240	717	507	414	359	321	227	160	131	113	101
300	896	634	518	448	401	283	200	164	142	127
400	1195	845	690	598	534	378	267	218	189	169
500	1494	1056	863	747	668	472	334	273	236	211
630	1882	1331	1087	941	842	595	421	344	298	266
800	2390	1690	1380	1195	1069	756	534	436	378	338
1000	2988	2113	1725	1494	1336	945	668	546	472	423
1200	3585	2535	2071	1793	1604	1134	802	655	567	507
1400	4183	2958	2415	2091	1871	1323	935	764	661	592
1600	4781	3380	2760	2390	2138	1512	1069	873	756	676
1800	5378	3803	3105	2688	2405	1701	1203	982	851	761
2000	5976	4225	3450	2988	2672	1890	1336	1091	945	845
2500	7470	5282	4313	3735	3341	2362	1670	1364	1181	1056

Damascus University

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل الثالث

النواقل المستخدمة في خطوط نقل القدرة الهوائية
Conductors for overhead Transmission Lines

3-1 مقدمة: Introduction

تستخدم في تصنيع نواقل خطوط نقل القدرة الهوائية المعادن أو خلائط المعادن التي تتوفر فيها الناقلية الكهربائية العالية والمتانة الميكانيكية الكبيرة وخاصة مقاومة الشد.
بالإضافة إلى ذلك هناك عوامل إضافية تؤدي دوراً في اختيار معدن الناقل من أهمها :

- رخص الثمن .
- خفة الوزن التي تخفف نفقات النقل وتسهل عمليات التركيب.
- مقاومة معدن الناقل للعوامل الجوية والكيماوية.
- مقاومة معدن الناقل للعطب أثناء التركيب.
- قابلية الاستخدام مرة أخرى بعد تنفيذ عمليات صيانة .
- عدم انخفاض متانة الناقل انخفاضاً محسوساً بعد ارتفاع درجة حرارته.

هذه العوامل المختلفة تتوفر في معدن النحاس وخلائطه كالبرونز ومعدن الألمنيوم وخلائطه مثل الألمليك، كما تتوفر في الفولاذ الذي يدخل في تصنيع النواقل المركبة مثل نواقل الألمنيوم فولاذ التي تحتوي على نواة من أسلاك الفولاذ يحيط بها طبقات من أسلاك الألمنيوم، إذ يستفاد من الفولاذ في تأمين المتانة الميكانيكية العالية ومن الألمنيوم في تأمين الناقلية الكهربائية العالية [8],[13],[103].

3-2 أنماط النواقل حسب بنيتها Type of conductors:

تستخدم في خطوط نقل القدرة عدة أنماط (نماذج) من النواقل من أهمها :

- النواقل الوحيدة السلك wires.
- الأمراس Stranded conductors.
- النواقل المفرغة Hollow conductors .

- النواقل الحزمية Bundle conductors.

وفيما يلي تعريف بكل نوع من أنواع هذه النواقل.

آ- الأسلاك:wires

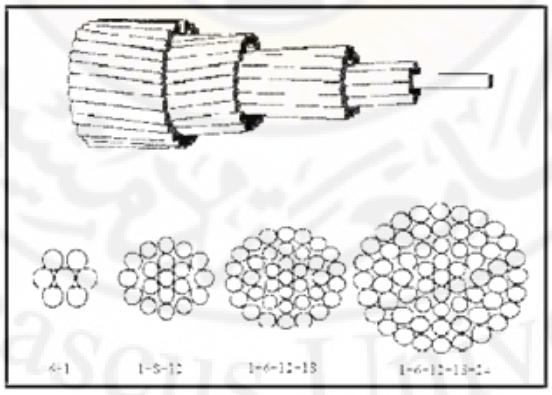
تستخدم الأسلاك في خطوط نقل القدرة ذات المقاطع الصغيرة، فقد سمحت بعض النظم العالمية استخدام أسلاك النحاس وخلائطه فقط للمقاطع التي لا تتجاوز $25\ mm^2$ في بعض الدول و $16\ mm^2$ في دول أخرى، كما يمنع في غالبية الدول استخدام نواقل الألمنيوم في المقاطع الكبيرة على شكل أسلاك ويعود سبب ذلك لعدم مرونتها وقابليتها للتصدع والتشقق.

ب- الأمراس:Stranded Conductors

تصنع غالبية النواقل على شكل أمراس مركبة من أسلاك رفيعة مجدولة في طبقات، تتراوح أقطار هذه الأسلاك بين 1.4–4mm حسب قطر الناقل، ويعطى عدد الأسلاك N بدلالة عدد الطبقات n (يعد السلك المركزي الذي يشكل النواة طبقة) بالعلاقة:

$$N = 3n(n-1)+1 \qquad (3-1)$$

والشكل (3-1) يبين بنية هذا النوع من النواقل في نظام الطبقات المتوضعة توضعاً مركزياً (concentric- Lay cable).



الشكل (3-1) الأمراس في نظام الطبقات المتوضعة مركزياً

من العلاقة (1-3) نستنتج أن عدد الأسلاك بدلالة عدد الطبقات يعطى كما في الجدول(3-1).

جدول(3-1)عدد الأسلاك بدلالة عدد الطبقات

عدد الطبقات	2	3	4	5	6
عدد الأسلاك	7	19	37	61	91

إذا افترضنا أن الأسلاك الخارجية توازي السلك المركزي وأن قطر السلك الواحد d فإن القطر الخارجي النظري للناقل (D) المؤلف من n طبقة يعطي بالعلاقة التالية:

$$D=(2n-1)d \qquad (3-2)$$

إن الأسلاك المشكلة للمرس تكون عادة مجدولة بشكل حلزون خطوته تساوي من 14 إلى 16 مرة قطر السلك الواحد حيث تكون خطوات الجدل لمختلف الطبقات متعاكسة مما يؤدي إلى جعل القطر الحقيقي الخارجي D_r أقل من القطر النظري المحسوب من العلاقة السابقة، ويطلق على النسبة (K) بين القطر الحقيقي D_r (بعد الجدل) والقطر النظري D (بدون جدل) بعامل الجدل وهو أقل من الواحد. يحسب المقطع الحقيقي للناقل من مجموع مقاطع الأسلاك المركبة للناقل، ويحسب المقطع الظاهري حسب العلاقة :

$$\frac{\pi D_r^2}{4} \qquad (3-3)$$

تسمى النسبة بين المقطع الحقيقي والمقطع الظاهري عامل التمريس أي:

$$C_n=\frac{nd^2}{4}.N/\frac{\pi D_r^2}{4}=\frac{d^2N}{D_r^2} \qquad (3-4)$$

ولما كان:

$$K=\frac{D_r}{(2n-1)d} \qquad (3-5)$$

$$N=3n(n-1)+1 \qquad (3-6)$$

نجد:

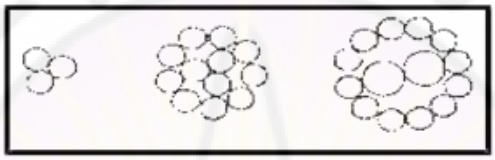
$$C=\frac{3n(n-1)+1}{K^2(2n-1)^2} \qquad (3-7)$$

يمكن انطلاقاً من القوانين السابقة تنظيم الجدول (3-2):

جدول (3-2) عدد الطبقات ، عامل التمريس ،عامل الجدل

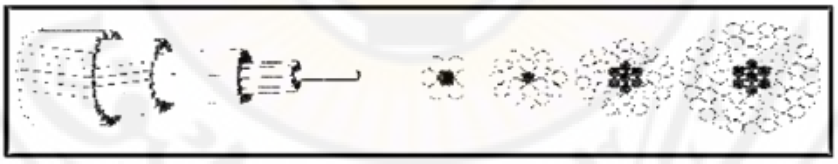
عدد الطبقات (n)	1	2	3	4	5
عامل التمريس (c)	1	0.788	0.760	0.74	0.61
عامل الجدل (k)	1	0.6	0.714	0.778	0.913

يمكن أيضاً أن توزع الأسلاك على طبقات متوضعة بصورة لا مركزية (Non-Concentric-Lay cables) . والشكل (3-2) يبين هذا النوع من التوضع الذي يعطي للناقل مقاومة جيدة ضد الاهتزاز الناتج عن تأثير الرياح.

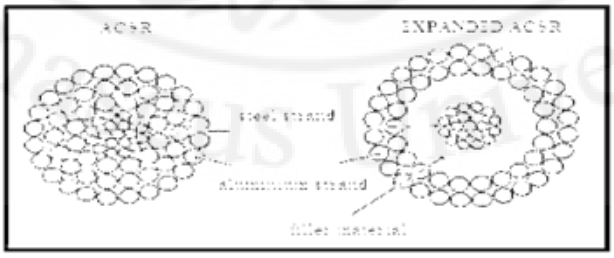


الشكل (3-2) أمراس في نظام التوضع اللامركزي للطبقات

تصنع النواقل على شكل أمراس من معدن وحيد صافٍ وليس خليطة معدنية كنواقل الألمنيوم، نواقل النحاس، نواقل الفولاذ ، أو تكون من النوع المركب Composite، إذ يصنع الناقل من ناقلين مثل نواقل الألمنيوم- فولاذ ، حيث توضع أسلاك الفولاذ في النواة وأسلاك الألمنيوم على السطح. الشكل (3-3-آ-ب) يبين هذا النوع من النواقل.



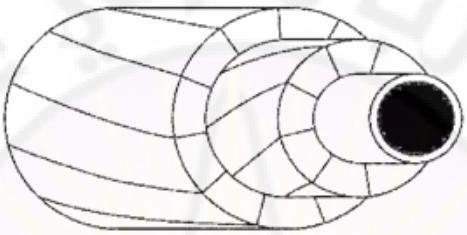
الشكل (3-3-آ) مرس مركب من الألمنيوم- فولاذ



الشكل (3-3-ب) مرس مركب من الألمنيوم- فولاذ

ج-النواقل المفرغة النواة Hollow Care Conductors :

تستخدم النواقل المفرغة في خطوط التوتر العالي، إذ يمكن بزيادة القطر الخارجي للناقل التخفيف من أثر ظاهرة الكورونا وتخفيف الوزن. تصنع هذه النواقل بعدة أشكال، فمنها النوع المدعوم من الداخل بوساطة دعامة على شكل قضيب I أو بوساطة دعامة حلزونية أو غير ذلك. الشكل (3-4) يبين نموذج من هذه النواقل .



الشكل (3-4) النواقل المفرغة

د- النواقل الحزمية:Bundle Conductors

تستخدم هذه النواقل في خطوط التوتر العالي جداً $V \geq 400kV$. تتكون هذه النواقل عادة من مجموعة نواقل (ناقلين، ثلاثة، أو أربعة) لكل طور مفصولة عن بعضها بوساطة فواصل خاصة، الشكل (3-5) يبين نمط ترتيب هذه النواقل.

الشكل (3-5) النواقل الحزمية

هذا النوع من الترتيب يؤدي إلى التقليل من مفاعلة الخط والضياع الناتج عن ظاهرة كورونا، كما يساهم في تبريد النواقل ويسهل عملية تركيبها.

3-3 الخواص الكهربائية العامة للنواقل:

Electrical Specification of Conductors

يقصد بالخواص الكهربائية الخواص الأساسية للناقل مثل المقاومة النوعية، الناقلية النوعية وعامل تغير المقاومة بتغير درجة الحرارة. الجدول (3-3) يبين تلك الخواص لكل من النحاس والبرونز والألمنيوم والألمليك، إذ أعطيت قيم المقاومة والمفاعلة النوعية عند حرارة c° 20 .

جدول (3-3) الخواص الكهربائية للنواقل

Description	$\chi\ 20c^{\circ}$	$\rho\ 20c^{\circ}$	τ
Copper	56	0.0176	0.00393
Bronze BzI	50.5	0.0198	0.004
Bronze BzII	36	0.0278	0.004
Bronze BzIII	23.6	0.0423	0.004
Aluminum	34.8	0.0287	0.004
Aldrey	30	0.0333	0.0036

ρ : المقاومة النوعية عند c° 20.

χ : الناقلية النوعية عند c° 20.

τ : عامل تغير المقاومة بتغير درجة الحرارة.

3-4 أنواع النواقل المستخدمة في شبكات توزيع وخطوط نقل القدرة الكهربائية:

تستخدم في خطوط نقل القدرة أنواع متعددة من النواقل مثل نواقل النحاس والألمنيوم وخلائطها كالبرونز والألمليك ونواقل الفولاذ ونواقل الألمنيوم فولاذ وهو الأكثر شيوعاً، كما يوجد أنواع أخرى من النواقل تستخدم لأغراض خاصة في حالة الفتحات الكبيرة.

آ- النواقل النحاسية: copper Conductors

يعد النحاس من أقدم المعادن التي استخدمت في خطوط نقل القدرة نظراً لناقليته الكهربائية العالية ومتانته الميكانيكية الجيدة وقد تضاءل استخدامه في الآونة الأخيرة نظراً لارتفاع ثمنه واقتصر استخدامه على بعض شبكات التوتر المنخفض وشبكات التيار الضعيف . أهم خصائص هذا المعدن مبينة على الجدول (3-4):

جدول(3-4) خصائص معدن النحاس

متانة الشد العظمى للنحاس القاسي السحوب	$40-45\,kg/mm^2$.
الإجهاد المسموح به	$19-14\,kg/mm^2$.
عامل المرونة	$12100-13000\,kg/mm^2$.
عامل التمدد الخطي	$15{,}9\times10^{-6}=17{,}0\times10^{-6}$.
المقاومة النوعية الكهربائية	$0.0176\,ohm-mm^2/m$.
الوزن النوعي	$8.95\,kg/mm^2/km$.

ب- خلائط النحاس: Copper medley

من أهم خلائط النحاس البرونز وهو خليطة من النحاس والقصدير مع بعض المعادن الأخرى كالفوسفور والسيليكون، يتمتع البرونز بناقلية كهربائية مماثلة للنحاس ولكن يتميز عنه بمتانته الميكانيكية العالية إذ تصل متانته الأعظمية إلى $50\,Kg/mm^2$ للبرونز I $70\,Kg/mm^2$ للبرونز III. يستخدم البرونز في المجازات الكبيرة التي تتطلب متانة ميكانيكية عالية كاجتيازات الأنهار الكبيرة، وعقد السير. من الخلائط الأخرى للنحاس الكادميوم cadmium copper وهو خليطة تحتوي1%-0.8 كادميوم ، متانته الميكانيكية أعلى من النحاس بـ 50% وناقليته تعادل 83% من ناقلية النحاس أي $\rho=0.0208\,ohm-mm^2/m$ ، وعامل المرونة $E=13000\,kg/mm^2$ ، وعامل التمدد الخطي 16.6×10^{-6} حتى 17×10^{-6}. تمتاز خليطة النحاس- الكادميوم بمقاومته الكبيرة للعوامل الجوية ويمكن تحميلها بتيارات كبيرة إذ لا يؤثر ارتفاع درجة حرارتها على متانتها الميكانيكية.

ج- نواقل النحاس الملحومة Copper weld:

هذه النواقل هي نواة من الفولاذ مكسوة بطبقة من النحاس إذ يلتحم المعدنان بعضهما مع بعض ليشكلا هذا الناقل. يمتاز هذا النوع من النواقل بمتانته الميكانيكية العالية ومقاومته للعوامل الجوية، تبلغ ناقليته الكهربائية 40% من الناقلية الكهربائية للنحاس وفي بعض الأنواع الخاصة تكون 30% أو 60% من ناقلية النحاس، أما متانته الميكانيكية تتراوح بين 50% إلى 170% من المتانة الميكانيكية للنحاس المسحوب القاسي، عامل مرونته $16200-16900\,kg/mm^2$ ، عامل تمدده الخطي 13×10^{-6} ، وزنه

$0.00815 - 0.00825\, kg/mm^2$. يستخدم هذا النوع من النواقل في المجازات الكبيرة و يمكن استخدامه في الخطوط التي تتعرض لحمولات جليد كبيرة، لكن غالي الثمن. الجدول(3-5-آ-ب-ج) يبين خصائص نواقل النحاس وخلائطه.

جدول (3-5-آ) خصائص نواقل النحاس الخالص

جدول(3-5-ب) جدول خصائص نواقل خلائط النحاس

جدول(3-5-ج) جدول خصائص نواقل خلائط النحاس

د- نواقل الألمنيوم: Aluminum Conductors

حلّت نواقل الألمنيوم في الوقت الحاضر محل النحاس في كثير من المجالات نظراً لتوفر فلزات هذا المعدن وعدم تعرضه بصورة كبيرة لتقلبات الأسعار العالمية، إن أهم خصائص هذا المعدن مبينة في الجدول (3-6).

جدول(3-6) خصائص معدن الألمنيوم

متانة الشد العظمى	$15-17\,kg/mm^2$.
الإجهاد المسموح به	$6-8\,kg/mm^2$.
عامل المرونة	$6200-6800\,kg/mm^2$.
عامل التمدد الخطي	23×10^{-6}.
المقاومة النوعية الكهربائية	$\rho=0.0248\,ohm-mm^2/m$.
الوزن النوعي	$2.7\,kg/mm^2/km$.

تستخدم نواقل الألمنيوم في شبكات التوتر المنخفض نظراً لمتانتها الميكانيكية المنخفضة. الجدول(3-7-آ-ب) يبين خصائص نواقل الألمنيوم حسب المواصفتين IEC - DIN.

جدول(3-7-آ) خصائص نواقل الألمنيوم حسب IEC.

جدول(3-7-ب)خصائص نواقل الألمنيوم حسب DIN.

Damascus University

هـ- نواقل الألمليك أو الألدري (Almelec-Aldrey):

الألمليك هو خليطة من الألمنيوم وبعض المعادن الأخرى. يحتوي الألدري على ألمنيوم 98.7% ومغنيزيوم بنسبة 0.5% وسيليكون بنسبة 0.5% وحديد بنسبة 0.3%. هذه الخليطة تتمتع بصفات ميكانيكية ممتازة تقارب الألمنيوم فولاذ 1/6 وناقلية كهربائية جيدة تقارب الألمنيوم، أهم خصائص هذه الخليطة مبينة في الجدول (3-8):

جدول(3-8) خصائص خليطة الآلدري

متانة الشد العظمى	$30-35\,kg/mm^2$.
الأجهاد المسموح به	$9-12\,kg/mm^2$.
عامل المرونة	$5600-7000\,kg/mm^2$.
عامل التمدد الخطي	23×10^{-6}.
المقاومة النوعية الكهربائية	$0.0333\,ohm-mm^2/m$.
الوزن النوعي	$2.78\,kg/mm^2/km$.

تستخدم نواقل الألمليك في خطوط نقل القدرة إما على شكل نواقل عادية أو نواقل مسلحة بنواة فولاذية وتمتاز نواقل الألمليك بخفة وزنها وقساوة سطحها وهذا يعني أن مدها على الأرض لا يحتاج إلى احتياطات كبيرة كما هي الحال في نواقل الألمنيوم- فولاذ.

و- نواقل الفولاذ: Steel Conductors

تصنع النواقل الفولاذية من أسلاك من الفولاذ المغلفنة لمقاومة العوامل الجوية وتستخدم هذه النواقل كنواقل حماية في خطوط نقل القدرة وتستخدم كنواقل عادية في المجازات الكبيرة جداً 1900m-2000، وقد جرى استخدامها لمجازات وصلت إلى 3250m. تختلف المتانة الميكانيكية لنواقل الفولاذ حسب نوع الفولاذ المستخدم وتتراوح المتانة العظمى بين $35-185\,kg/mm^2$. من مساوئ النواقل الفولاذية مقاومتها الكهربائية العالية ومفاعلتها الكبيرة، يضاف إلى ذلك أن هذا النوع من النواقل يتآكل في الأجواء الملوثة.

ل- نواقل الألمنيوم- فولاذ A C S R Conductors:

تستخدم هذه النواقل استخداماً كبيراً في خطوط نقل القدرة نظراً لكلفتها المعتدلة. تتمتع هذه النواقل بناقليتها العالية ومتانتها الميكانيكية العالية. تتألف هذه النواقل من نواة فولاذية مكونة من أسلاك فولاذية مجدولة على شكل مرس يحيط بها عدة طبقات من

أسلاك الألمنيوم، كما هو مبين في الشكل (3-3). يوجد في الحياة العلمية عدة نسب للفولاذ إلى الألمنيوم (التي هي نسبة المقطع الحقيقي لأسلاك الفولاذ إلى المقطع الحقيقي لأسلاك الألمنيوم). من أكثر النسب شيوعاً هي 1/6، 1/5، 1/4، 1/3 وقلما تستخدم النسب 1/8، 1/7، 1/2 إلا في حالات خاصة. تحسب المتانة الميكانيكية لنواقل الألمنيوم- فولاذ بموجب النظم الألمانية إذ يؤخذ 90% من مجموع المتانات الإفرادية لكل سلك من الأسلاك المؤلفة للناقل. تختلف خصائص هذه النواقل حسب نسبة الفولاذ إلى الألمنيوم. تبين القيم في الجدول(3-9) تبين الخصائص الرئيسة لناقل ألمنيوم فولاذ 1/6 تعد هذه النسبة من النسب المستخدمة كثيراً.

جدول(3-9) خصائص نواقل الألمنيوم – فولاذ .

المتانة الميكانيكية الأعظمية	$30.9\,kg/mm^2$.
الإجهاد المسموح به	$10-12\,kg/mm^2$.
عامل المرونة	$7500\,kg/mm^2$.
عامل التمدد الخطي	19.5×10^{-6} .
المقاومة الكهربائية	$0.034\,ohm.km^2/mm$.
الوزن النوعي	$0.00345\,kg/m.mm^2$.

استخدمت أيضاً نواقل الألمنيوم فولاذ في المجازات الطويلة. الجدول (3-10) تبين المواصفات الفنية لنواقل Al-St المستخدمة في خطوط نقل القدرة الهوائية حسب النظم الألمانية DIN والمصنعة في Alfanar company.

جدول (3-10) المواصفات الفنية لنواقل Al-St

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل الرابع

الدراسة الميكانيكية للنواقل وسلاسل العوازل

Mechanical study of Conductors and strain Insulators

4-1 مقدمة: Introduction

في هذا الفصل سندرس الإجهادات الميكانيكية على كل من النواقل وسلاسل العوازل في الظروف المناخية المختلفة. أهمية المعلومات التي سترد من هذا الفصل تكمن في معرفة قوى الشد والإجهادات التي تتعرض لها النواقل وهي التي تدعو الحاجة إليها عند تصميم و تنفيذ خط النقل .[6],[15],[21],[60],[94],[96],[103]

4-2 الخواص الميكانيكية للنواقل: Mechanical Specification of Conductors

1"- مخطط الإجهاد- انفعال: Stress-strain diagram

تحدد خواص الشد للنواقل بواسطة اختبارات تسمى اختبارات الشد، تعطى نتائج هذه الاختبارات إما على شكل جدول، أو على شكل مخطط يطلق عليه اسم مخطط الإجهاد- الانفعال (Stress-strain diagram).

يعطى الانفعال ε بالعلاقة:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \qquad (4-1)$$

l : طول العينة في بداية الاختبار(m) .

Δl : مقدار تغير الطول(m).

بينما يعطى الإجهاد (σ) بالعلاقة :

$$\sigma = \frac{F}{A}\left(kg/mm^2\right) \qquad (4-2)$$

F : قوة الشد المطبقة(kg) .

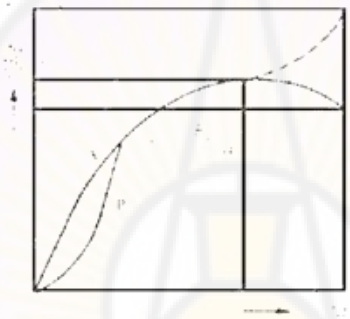
A : مساحة مقطع العينة m^2 .

الشكل (4-1) يبين مخطط الإجهاد -انفعال لناقل. نميز على المخطط منطقتين أساسيتين، المنطقة الأولى (المنحني A) تتميز بأن الإجهاد σ يكون خطياً بدلالة تغير التطاول النسبي ε (الانفعال) ، يطلق على هذه المنطقة اسم منطقة المرونة وفيها:

$$\sigma = \varepsilon E \qquad (4-3)$$

E : عامل يونغ (المرونة).

أما المنطقة الثانية فتتميز بوجود علاقة لا خطية بين الإجهاد والانفعال ونطلق على هذه المنطقة اسم منطقة اللدونة.



الشكل (4-1) مخطط الإجهاد- الانفعال

عند النقطة σ_u تكون قوة الشد أعظم ما يمكن ويسمى إجهاد الشد في هذه الحالة الإجهاد الأعظمي (Ultimate Stress) ويمثل F_{ult} / A . بعد ذلك يمكن أن ينهار المعدن في أي نقطة. إن قوة الشد الدائمة يجب أن تكون أقل من قوة الشد الأعظمية. يعطى إجهاد الانهيار بالنسبة F_{rup} / A ، وتعرف نقطة اللدونة من المنحني B وهي التي تمثل الإجهاد الذي يسبب تطاولاً دائماً قيمته 0.20%.

ب-الإجهادات المسموح بها في النواقل:

في المنشآت الميكانيكية المعرضة لأحمال دائمة تعد متانة الشد الدائمة Permanent Strength tensile البارامتر التصميمي الأهم، وهي تمثل إجهاد الشد الأعظمي الذي يمكن تطبيقه على الناقل بصورة دائمة لفترات طويلة (أكثر من سنة) دون أن ينهار، وعادة يكون هذا الإجهاد أقل من الإجهاد الأعظمي الاختباري ويصل إلى نحو 70%

منه، وقد حددت بعض النظم مثل النظم الألمانية إجهاد الشد الأعظمي المسموح به مثلاً للنحاس $30kg/mm^2$ والألمنيوم $12kg/mm^2$. من ناحية أخرى لا تكون النواقل واقعة دوماً تحت الإجهاد الأعظمي، في الواقع لا يظهر هذا الإجهاد إلا خلال ساعات محددة خلال السنة، وهذا يعني عدم الاهتمام كثيراً، في الحالة هذه بالإجهاد الدائم. تصمم النواقل عادة على إجهاد أقل من متانتها الأعظمية، وقد حددت نظم السلامة (Safety code) في معظم الدول هذا الإجهاد، فمثلاً في روسيا يؤخذ الإجهاد المسموح به في الحالة الطبيعية 5% من المتانة الأعظمية وفي حالات خاصة مثل اجتياز السكك الحديدية وخطوط الاتصالات يخفض إلى 33%، أما في أمريكا فيؤخذ الإجهاد المسموح به 50-60% من المتانة الأعظمية، وفي سويسرا يؤخذ الإجهاد المسموح به 2/3 من المتانة الأعظمية للناقل عند درجة حرارة 5- ووجود جليد .

ج- تأثير تغير درجة الحرارة والإجهاد في النواقل:

يترك تغير درجة الحرارة أثراً في النواقل، إذ يؤدي إلى تغيير طولها ومن ثم الإجهادات المطبقة عليها، ويتغير طول الناقل تبعاً لتغير درجة حرارته وفقاً للعلاقة:

$$L_2 = L_1[1+\alpha(\vartheta_2 - \vartheta_1)] \qquad (4-4)$$

ϑ : درجة الحرارة.

L: طول الناقل.

α : عامل التمدد الطولي.

يمكن كتابة العلاقة بصورة أخرى تدل على تغير الطول النسبي للناقل بتغير حرارته:

$$\frac{\Delta L}{L} = \alpha . \Delta \vartheta \qquad (4-5)$$

أما تغير الإجهاد فيكون تأثيره في الطول النسبي للناقل وفقاً للعلاقة:

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta . \delta}{E} \qquad (4-6)$$

عندما يحدث تغير في كل من درجة الحرارة والإجهاد معاً فإن الطول النسبي للناقل يتغير تبعاً للعلاقة التالية:

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta . \sigma}{E} + \alpha . \Delta \vartheta \qquad (4-7)$$

د- تأثير الريح في النواقل Wind loading:

تؤثر الرياح في النواقل والأبراج وجميع مكونات خط النقل بقوى تؤدي إلى إحداث إجهادات في جميع هذه العناصر، كما تؤدي الرياح إلى انحراف النواقل عن وضعية التعليق الشاقولية. حركة النواقل هذه تسمى التأرجح البسيط (Simple Swinging) وهو من الأنواع غير الضارة طالما أن التباعد بين الناقل والحامل كافياً بطريقة لا تسمح المسافة المتبقية بعد ميلان الناقل حدوث انفراغ بين الناقل وبين جسم البرج أو الحامل. تسبب الرياح أيضاً في النواقل ظاهرة أخرى هي ظاهرة الاهتزاز (Vibration) والتي تحدث عادة عند سرعة رياح منخفضة حيث يهتز الناقل بمطال موجة اهتزاز صغير وترددات عالية نسبياً تؤدي إلى صدور صوت على شكل دندنة، كما تسبب الرياح نوعاً آخر من الاهتزاز بتردد منخفض ومطال موجة اهتزاز كبير يطلق عليه اسم رقص النواقل dancing Conductor. تقاس قوة الرياح أو شدة الرياح باستخدام مقياس بوفورت Beaufort. يبين الجدول (A-8) العلاقة بين شدة بوفورت وسرعة الريح وأثرها الظاهر في المعالم الطبيعية.

هـ- قوى الضغط الناتجة من الرياح:

تؤثر الرياح في النواقل والأجسام الأسطوانية والمستوية بقوى ضغط مختلفة، وقد أثبتت التجارب في جميع الحالات أن قوة ضغط الريح تتناسب مع مربع السرعة أي:

$$P_o = C_o V_o^2 \; Kg/m^2 \qquad (4-8)$$

V_o : سرعة الريح مقدرة بـ km/h (كيلو متر بالساعة) و تقاس على ارتفاع 10 m.

P_o : قوة الضغط على واحدة السطوح kg/m^2 .

C_o : ثابت يختلف حسب شكل السطح (مستوٍ أو اسطواني) ويأخذ القيم التجريبية :

- سطح مستوٍ : 0.0064 (الأبراج المعدنية).
- سطح أسطواني : 0.00384 (سلاسل العوازل).
- سطح النواقل: 0.00248 (النواقل).

في الحسابات العملية تعتبر سطوح الأعمدة والأبراج سطوح مستوية ، بينما تعتبر سطوح سلاسل العوازل سطوح اسطوانية ، أما سطح الناقل فيعتبر سطحاً أسطوانياً لكن الريح لا

تؤثر بقوى ضغط متساوية في جميع أجزاء الناقل، لذلك تؤخذ قوة ضغط الريح على الناقل بحدود 2/3 من قوة الضغط على السطوح الأسطوانية. لحساب قوة ضغط الريح على سطح ما، يتم إيجاد جداء هذه القوة P_ω بمساحة السطح العمودي على اتجاه الريح. في السطوح الأسطوانية مثلاً ذات الطول l والقطر d تحسب قوة ضغط الريح F_w كما يلي:

$$F_w = p_w l d \left(kg/m^2, m, m\right) \qquad (4-9)$$

العلاقة (4-9) تعطي قوة ضغط الريح على واحدة السطوح مقاسة على ارتفاع 10m، ولحساب هذه القوة على ارتفاعات مختلفة أعلى من 10m تستخدم العلاقة (4-10) حسب النظم الفرنسية:

$$p_\omega = 2.5 P_{10}(h+18)/(h+60)\left(Kg/m^2, m\right) \qquad (4-10)$$

حيث:

P_ω : تمثل قوة الضغط عند ارتفاع h.

P_{10} : تمثل قوة الضغط على ارتفاع 10 m عن سطح الأرض.

أما المواصفات الألمانية فتعطى سرعة الريح بدلالة الارتفاع بموجب العلاقة (4-11):

$$V_h = V_{10}\left(\frac{H_h}{10}\right)g \qquad (4-11)$$

حيث:

V_h : السرعة عند الارتفاع المطلوب.

V_{10} : السرعة على ارتفاع 10 m فوق سطح الرض.

g: ثابت ويكون ذا قيمة 0.143 لحالة الرياح العادية و 0.085 لحالة العواصف.

في المواصفات الألمانية تعطى القوة الضاغطة للريح بالعلاقة:

$$F_\omega = C_\omega P_\omega A_\omega \qquad (4-12)$$

A_w : مساحة السطح المعرض للريح (m^2).

p_w : قوة الضغط $\left(Kg/m^2\right)$ وتعطى بالجدول (4-1).

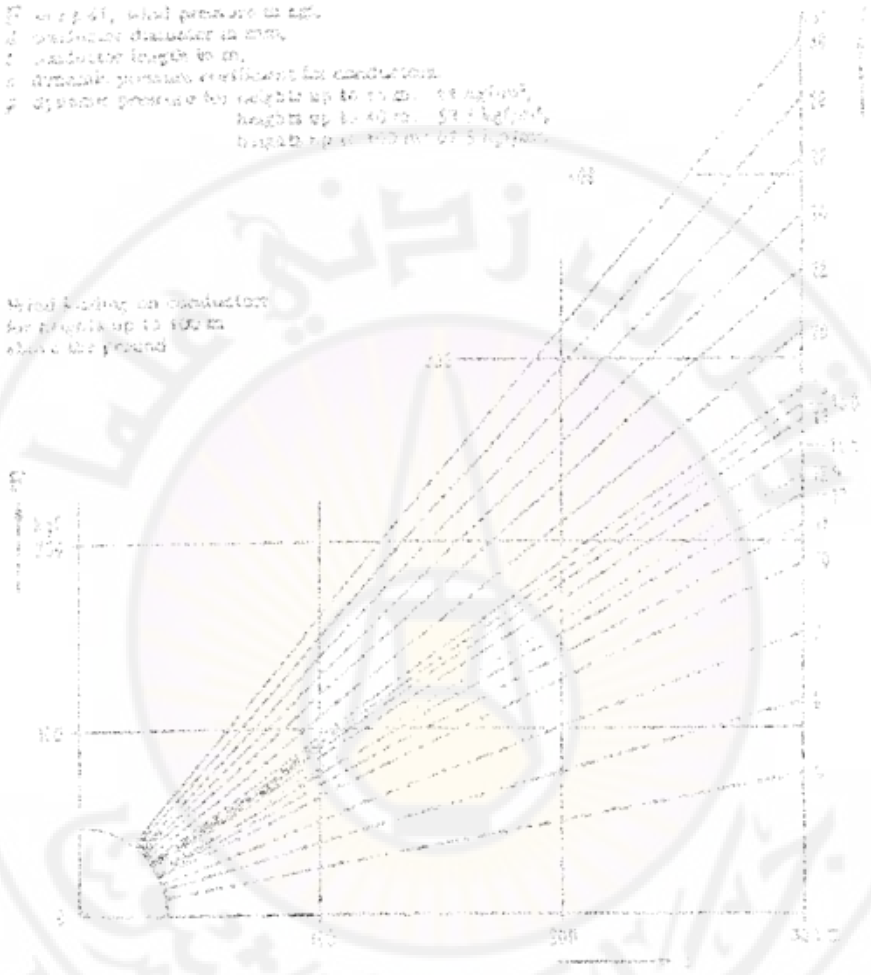
c_w : عامل الضغط الديناميكي.

يؤخذ عامل الضغط الديناميكي مساوياً 2.6 بالنسبة للأبراج المستطيلة مأخوذاً بالحسبان الضغط على الوجه المقابل، و 0.70 للأعمدة ذات المقطع الدائري ، و 1.2 للنواقل ذات القطر 12.5 mm وما دون، و 1.1 للنواقل التي تتراوح أقطارها بين 12.5-15.8mm و 1.0 للنواقل التي أقطارها أكبر من 15.8.

جدول (4-1) قيمة العامل p_w على عناصر خط النقل

	Dynamic pressure p_w		
Height of the area m	At a height of M	Towers, poles, across-arms, insulators Kg /m²	Conductors Kg/m²
15	15-0	-55	44
20	15-0	55	44
	20-15	70	52.5
40	40-0	70	52.5
100	4 -0	70	52.5
	40-100	90	67.5
150	0-40	70	52.5
	40-100	90	67.5
	100-150	115	86
200	0-40	70	52.5
	40-100	90	67.5
	100-150	115	86
	150-200	125	95

يبين الشكل (4-2) القوى الضاغطة على النواقل لغاية ارتفاع 100 m.



الشكل (4-2) القوى الضاغطة على النواقل لغاية ارتفاع 100 m
فوق سطح الأرض بموجب المواصفات الألمانية

و- اهتزاز النواقل:

يحدث اهتزاز النواقل بتردد عالي (7-100c.p.s) بمطال صغير لا يتجاوز بضع سنتيمترات. إن المسافة بين عقدتي موجة الاهتزاز أو عقدتي طرفي الموجة تتراوح بين 0.6-10m عند هبوب نسيم خفيف بسرعة تتراوح بين (0.8-6m/sec)، ويصادف هذا النوع من الاهتزاز كثيراً في النواقل صغيرة المقطع والنواقل الفارغة وخاصة في الفتحات

الكبيرة بين الأعمدة وعند تركيب الخطوط على الهضاب بشكل متعامد مع اتجاه الرياح. يعود ذلك إلى تشكل تيارات رياح إعصاريه على الجانب الخلفي لخط النقل ناتجة عن مرور النسيم فوق الناقل وتحته بسرعات مختلفة وفي لحظات زمنية مختلفة تؤدي إلى اهتزاز الناقل شاقوليا إلى الأعلى والأسفل كما في الشكل (4-3). يعطى تردد الاهتزاز بالعلاقة التجريبية(4-13):

$$f = 5.15 v/d \ (C.P.S, Km/Cm) \qquad (4-13)$$

Cycle Per Second: $C.P.S$

f : تردد الإهتزاز .

v : سرعة الريح.

d :قطر الناقل.

الشكل (4-3) تيارات الرياح الإعصارية المسببة لاهتزاز النواقل

هذا الاهتزاز يؤثر تأثيراً كبيراً في النواقل وخاصة عند الوصلات ونقاط الاستناد ، إذ يعاني الناقل من التلف والتحطم التدريجي مع مرور الزمن. تتم حماية النواقل بواسطة مانعات الاهتزاز و المخمدات التي تخفف من وطأة هذه الاهتزازات، وهناك أنواع متعددة منها مثل مخمدة ستوك بريدج (stock bridge) التي تتألف من ثقلين مشدودين بقطعة من كابل خاص طولها يتراوح بين 0.25-0.5m. تصنع هذه المخمدات بأحجام مختلفة حيث تتراوح أوزانها بين 1- 6.5 kg. الشكل (4-4) يبين نموذج هذه المخمدة.

الشكل(4-4) مخمدة اهتزاز

يمكن أيضاً التخفيف من أثر الإجهادات الناتجة عن الاهتزاز بتصميم النواقل لتعمل على إجهادات دائمة منخفضة نسبياً. يوجد أيضاً نوع آخر من الاهتزاز يحدث على الخطوط عند سرعات رياح تتراوح بين 20-60km/h باتجاه زوايا تتراوح بين 70- 20 مع النواقل. في هذه الحالة ترقص النواقل (conductor dance) وتصل سعة الاهتزاز في بعض الحالات إلى 10m، هذا النوع من الاهتزازات خطر جداً ويؤدى في غالب الأحيان إلى تحطيم الخط. يعود سبب حدوث هذه الاهتزازات إلى تشكل جليد تشكيلاً غير متناظر على الخط أو تعرض الخط إلى رياح إعصاريه دورانية.

ل - توضع الجليد على النواقل (Ice loading):

في شروط مناخية معينة وفي درجات حرارة منخفضة تتراوح بين 10-0 درجات وجو رطوبته النسبية عالية يتوضع الجليد على النواقل على شكل طبقات وسماكات تزداد تدريجياً، وفي بعض البلاد يصل الجليد إلى سماكات كبيرة تشكل وزناً إضافياً على الناقل يصل أحياناً إلى 8 أو 16 وحتى 200kg/m على المتر الطولي من الناقل، هذه الأحمال الإضافية يمكن أن تؤدي إلى تحطم النواقل وأحياناً إلى انهيار الأبراج الحاملة لهذه النواقل. الجدول (4-2) يبين فرضيات الجليد المعتمدة في روسيا، أما الجدول (4-3) يبين فرضيات الجليد المعتمدة في الولايات المتحدة الأمريكية.

جدول (4-2) فرضية الجليد في روسيا.

	I	II	III	IV
	25	25	25	

Note: a) d is the diameter of the conductor, b) up to a height of 30 m

جدول(4-3) فرضية الجليد في الولايات المتحدة الأميركية

Zone	L	M	H
Ice coating, in inches (cm)	0 (0)	0.25 (0.75)	0.5 (1.27)
Temperature in °F (in °C)	90 (+32)	15 (-9.45)	0 (-17.78)
Wind pressure, in lbf/ft² (kg/m²)	9 (39.38)	4 (19.5)	8 (39.5)
Factor to be added to the diameter of the resistant for copper conductors, in lbf/ft (kg/m)	0.05 (.74)	0.15 (.2232)	0.2 (.3-.130)
Ice weight, in lbf/ft (kg/m)	0.05 (.74)	0.22 (.326)	0.31 (.460)
Ice coating, in mm	-	6.35 (16.1)	6.60 (16.76)
Wind, in mm	0 (load	337 (19.5)	494 (29.5)

ي- التأثير المشترك للريح والجليد في النواقل:

لدراسة تأثير الرياح والجليد على الناقل نفرض وجود ناقل قطره D ومحاط بطبقة منتظمة من الجليد سماكتها e. إن القوى المؤثرة في الناقل وفي وحدة الطول هي وزنه الذاتي $\omega_c\,(Kg/m)$، ووزن الجليد $\omega_i\,(Kg/m)$ كقوى عمودية، وقوة ضغط الريح $F_\omega\,(Kg/m)$ كقوى أفقية، وعليه تعطى محصلة القوى السابقة R لوحدة الطول

$$F_\omega = (D+2e)p_\omega \Rightarrow R_{total} = \sqrt{(\omega_c+\omega_i)^2 + F_\omega^2}\ \ kg/m \qquad (4-14)$$

بالعلاقة:

إن النسبة بين المحصلة R_{total} والوزن الذاتي للناقل في وحدة الطول ω_c تدعى بعامل الحمولة (m):

$$m_i = \frac{\sqrt{(\omega_c+\omega_i)^2 + F_\omega^2}}{\omega_c} \qquad (4-15)$$

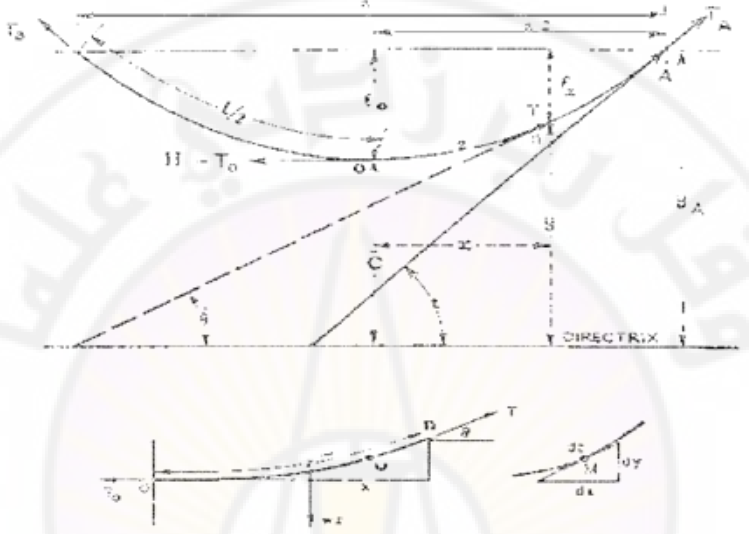
من هذه العلاقة نرى أنه في حالة وجود جليد وقوة ضغط ريح على الناقل يصبح عامل الحمولة يساوي الواحد.

4-3 التصميم الميكانيكي للنواقل: Mechanical design of conductors

4-3-1 معادلة السليسلة الأفقية: Horizontal Chain Equation

عند تعليق ناقل له وزن ذاتي بين نقطتين على منسوب واحد يتدلى هذا الناقل ويأخذ شكلاً قريباً من القطع المكافئ يسمى السليسلة. تفيد دراسة السليسلة في تحديد السهم العظمي الذي يتدلى فيه الناقل حيث يمكن تحديد بعد أخفض نقطة من الناقل عن سطح

الأرض، إضافة إلى ذلك نستطيع حساب الإجهادات المطبقة على الناقل في نقاط التعليق والإجهاد الأفقي عند أخفض نقطة من الناقل. الشكل (4-5) يبين ناقلاً مدلى معلقاً بين نقطتين A,B. النقطتان واقعتان على منسوب واحد يشكل ما يسمى بالسليسلة.



الشكل (4-5) شكل الناقل المدلى أو السليسلة

على الشكل نميز المتحولات التالية :

حيث:

T_A : قوة الشدة في النقطة A وتقدر بـ[kg].

T_B : قوة الشدة في النقطة B وتقدر بـ[kg].

T_O : قوة الشد الفقية عند أخفض نقطة من الناقل ويرمز لها بـ H وتقدر بـ[kg].

f_o : السهم الأعظمي ويرمز أيضاً بالرمز f_{max} ويقدر بـ [m].

a: الفتحة هي المسافة الفاصلة بين موقعي حاملين وتقدر بـ [m] .

c_w : ثابت السليسلة ويرمز أيضاً بالرمز P.

L_{Line} : طول الناقل بين نقطتي التعليق ويقدر بـ [m].

W: الوزن لوحدة الطول من الناقل ويقدر بـ[kg].

T_n : قوة الشد في أي نقطة مثل n وتقدر بـ[kg].

f_x : السهم في أية نقطة ويقدر بـ[m].

من أجل استنتاج معادلة السلسلة نأخذ جزءاً صغيراً من السلسلة Z، إن القوى المؤثرة في هذا الجزء هي $\omega z, H$ و T وبنسب السلك إلى محورين متعامدين (ox.oy) وتحليل القوى يمكن كتابة الآتي:

$$T\sin\theta = WZ \qquad (4-16)$$

$$T\cos\theta = H \qquad (4-17)$$

لنفرض أن $H = c.\omega$ فإن:

$$\tan\theta = \frac{WZ}{H} = \frac{z}{c} \qquad (4-18)$$

لنأخذ عنصراً صغيراً من الناقل طوله dz عند النقطة M نجد:

$$(dz)^2 = (dy)^2 + (dx)^2 \qquad (4-19)$$

$$\therefore \left(\frac{dz}{dy}\right)^2 = 1 + \left(\frac{dx}{dy}\right)^2 \qquad (4-20)$$

$$ton\,\theta = \frac{dy}{dx} = \frac{z}{c} \qquad (4-21)$$

$$\therefore \left(\frac{dz}{dy}\right)^2 = 1 + \left(\frac{c}{z}\right)^2 \qquad (4-22)$$

$$= \frac{c^2 + z^2}{z^2} \qquad (4-23)$$

$$\therefore \frac{dz}{dy} = \frac{\sqrt{c^2 + z^2}}{z} \qquad (4-24)$$

$$dy = \frac{z\,dz}{\sqrt{c^2 + z^2}} \qquad (4-25)$$

$$\Rightarrow y = \sqrt{c^2 + z^2} + A \qquad (4-26)$$

حيث A هو ثابت التكامل، وعندما $Z = o$ فإن $Y = c$ أي $A = o$ ومنه:

$$y = \sqrt{c^2 + z^2} \qquad (4-27)$$

هذه المعادلة تمثل العلاقة بين المسافة العمودية Y والمسافة Z على الناقل ولإيجاد العلاقة بين z, x نقوم بما يلي:

$$y^2 = c^2 + z^2 \qquad (4-28)$$

وبأخذ التفاضل بالنسبة إلى X:

$$2y\frac{dy}{dx} = 2z\frac{dz}{dx} \qquad (4-29)$$

$$\sqrt{c^2+z^2}\,\frac{dy}{dx} = z\frac{dz}{dx} \qquad (4-30)$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{z}{c} \quad \Rightarrow \quad \sqrt{c^2+z^2}\,\frac{z}{c} = z\frac{dz}{dx} \qquad (4-31)$$

$$dx = \frac{c\,dz}{\sqrt{c^2+z^2}} \qquad (4-32)$$

بإجراء التكامل:

$$x + B = c\log_e\left(z + \sqrt{c^2+z^2}\right) \qquad (4-33)$$

والآن عندما:

$$x = 0, z = 0, \therefore B = c\log_e c \qquad (4-34)$$

$$\Rightarrow \quad \frac{x}{c} = c\log_e\frac{\left(z+\sqrt{c^2+z^2}\right)}{c} \qquad (4-35)$$

$$\Rightarrow z + \sqrt{z^2+c^2} = c.e^{x\,c} \qquad (4-36)$$

أو:

$$\frac{1}{z+\sqrt{z^2+c^2}} = \frac{1}{c}.e^{-x\,c} \qquad (4-37)$$

لنضرب البسط والمقام للجانب الأيسر من المعادلة الأخيرة بالحد $\sqrt{z^2+c^2}-z$ نحصل على:

$$\sqrt{z^2+c^2} - z = ce^{-x\,c} \qquad (4-38)$$

وبجمع العلاقتين (4-36) و (4-38) ينتج:

$$2\sqrt{z^2+c^2} = ce^{x\,c} + ce^{-x\,c}$$

ومن المعادلة (4-28) نجد

$$\Rightarrow \quad y = \frac{c}{2}\left(e^{x/c} + e^{-x/c}\right) \qquad (4-39)$$

$$y = c\cosh\frac{x}{c} \qquad (4-40)$$

بطرح المعادلة (4-39) من المعادلة (4-38) ينتج:

$$2z = ce^{x/c} - ce^{-x/c} \qquad (4-41)$$

$$z = \frac{c}{2}\left(e^{x/c} - e^{-x/c}\right) \qquad (4-42)$$

$$\therefore z = c\sinh\frac{x}{c} \qquad (4-43)$$

إن المعادلتين (4-40) و (4-43) تسميان معادلتي السليسلة ولكن يمكن استخدامهما أيضاً لحساب السهم الأعظمي وطول الناقل. في الحياة العملية هناك صيغ مقربة لحساب السهم العظمي وطول الناقل تستنتج من معادلة السليسلة.

4-3-2 السهم الأعظمي Maximum Sag:

يعرف السهم في سليسلة أفقية بالمسافة العمودية بين نقطة ما من نقاط السليسلة والنقطة الموافقة لها على المستقيم الواصل بين نقطتي التعليق (مستوي التعليق)، أما السهم الأعظمي هو المسافة العمودية العظمى بين منتصف الناقل المدلى ومنتصف التباعد بين نقطتي التعليق. لنأخذ معادلة السليسلة:

$$y = c\cosh\frac{x}{c} \qquad (4-44)$$

ولنفرض أن السهم في أي نقطة هو f_x ومنه:

$$f_x = c\cosh\frac{x}{c} - c \qquad (4-45)$$

$$f_x = c\left[\cosh\frac{x}{c} - 1\right] \qquad (4-46)$$

ولإيجاد صيغة مقربة للسهم الأعظمي ننشر التابع القطعي لمعادلة السليسلة كما يلي:

$$y = \frac{c}{2}\left\{\left(1 + \frac{x/c}{1!} + \frac{(x/c)^2}{2!} + \ldots\right) + \left(1 + \frac{-x/c}{1!} + \frac{(-x/c)^2}{2!} + \ldots\right)\right\}$$

$$= \frac{2}{c}\left\{2 + \frac{2(x/c)^2}{2!} + \frac{2(x/c)^4}{4!} \ldots\right\} \qquad (4-47)$$

وبإهمال الحدود كافة بعد الحد الثاني:

$$y = c\left\{1 + \frac{x^2}{2c^2}\right\} = c + \frac{x^2}{2c} \qquad (4-48)$$

$$y - c = \frac{x^2}{2c} \quad \rightarrow \quad f_x = \frac{x^2}{2c} \qquad (4-49)$$

لحساب السهم الأعظمي نجعل $x = \frac{a}{2}$ فنجد:

$$f_{\max} = \frac{a^2}{8c} \qquad (4-50)$$

باستبدال الثابت c بالرمز P إذ يسمى P الوسيط وقيمته $P = \frac{H}{\omega}$ يصبح لدينا:

$$f_{\max} = \frac{a^2}{8P} = \frac{a^2\omega}{8H} \qquad (4-51)$$

هذه العلاقة المقربة صحيحة طالما أن الفتحة لا تتجاوز 350 m والسهم لا يتجاوز 5% من طول الفتحة. من معادلة السلسلة(4-43) يمكن حساب طول الناقل بعد تبسيط العلاقة كما يلي:

$$z = c \sinh\frac{x}{c} \qquad (4-52)$$

$$= \frac{c}{2}\left\{e^{x/c} - e^{-x/c}\right\} \qquad (4-53)$$

$$= \frac{c}{2}\left\{\left(1 + \frac{x/c}{1!} + \frac{(x/c)^2}{2!} + \ldots\right) - \left(1 + \frac{(-x/c)}{1!} + \frac{(-x/c)^2}{2!} + \ldots\right)\right\}$$

$$= c\left(1 + \frac{(x/c)}{1!} + \frac{(x/c)^2}{3!} + \ldots\right) \qquad (4-54)$$

وبأخذ الحد الأول والثاني فقط:

$$z = c\left\{\frac{x}{c} + \frac{x^3}{6c^3}\right\} \qquad (4-55)$$

عندما تصبح $X = \frac{a}{2}$ ، تصبح $Z = \frac{L}{2}$ (حيث L/2 طول نصف الناقل في الفتحة).

وبالتعويض في العلاقة الأخيرة بعد استبدال الثابت c بالوسيط p نحصل على:

$$L = a + \frac{a^3}{24p^2} \qquad (4-56)$$

4-3-3 قوى الشد عند نقاط التعليق: Tension Force at suspense points

إن قوة الشد T في أي نقطة من الناقل مثل النقطة M على الشكل (4-5) يمكن تحليلها إلى مركبتين T_x ، T_y ومنه:

$$T^2 = T_x^2 + T_y^2 = H^2 + w^2 z^2 \qquad (4-57)$$

$$= H^2 + H^2 \sinh^2(wx/H)$$

$$= H^2 sosh^2(wx/H)$$

$$T = H\cosh(wx/H) \qquad (4-58)$$

هذه العلاقة الأخيرة تمكننا من حساب الشد في أي نقطة من نقاط الناقل وإذا أردنا معرفة قوتي T_s عند نقاط التعليق نعوض x بالقيمة $\frac{a}{z}$ فنجد:

$$T_s = H\cosh\frac{\omega a}{2H} \qquad (4-59)$$

أو بدلالة الوسيط:

$$T_s = H\cosh\frac{a}{2P} \qquad (4-60)$$

وبنشر التابع القطعي في العلاقة الأخيرة وأخذ الحدين الأول والثاني فقط وإهمال بقية الحدود:

$$T_s = H\left(1 + \frac{a^2}{2\times 4P^2}\right) \qquad (4-61)$$

ولما كانت $H = \omega p$ و $f_o = \frac{a^2}{8p}$ ، بالتعويض تصبح العلاقة الأخيرة:

$$T_s = H + \omega f_o \qquad (4-62)$$

وعندما يكون السهم صغيراً فإن الحد of_0 في العلاقة الأخيرة يمكن إهماله بالمقارنة مع قوة الشد الأفقية H، في هذه الشروط يصبح الشد متجانساً على أجزاء الناقل كافة.

4-3-4 السلسلة المائلة: Slope Chain

تعتبر السلسلة مائلة عندما لا تكون نقطتا تعليقهما في منسوب واحد ، بينما تكون السلسلة أفقية عندما تكون نقطتا التعليق في منسوب واحد . يعرف السهم الأعظمي في السلسلة المائلة بأنه المسافة الشاقولية الحاصلة بين أخفض نقطة من الناقل المدلى والنقطة الموافقة لها من مستقيم التعليق، والشكل (4-6) يبين ناقلاً مدلى معلقاً من النقطتين B,A الواقعتين على منسوبين مختلفين، المسافة الشاقولية بينهما h وتسمى بفرق المنسوب، إذا افترضنا أن الأرض غير منحدرة انحداراً شديداً فسوف يكون هنالك نقطة من الناقل مثل O يكون فيها الناقل أفقياً، وهذا يسمح لنا بافتراض أن الناقل مؤلف من نصفي سليسلتين كاملتين نصف السليسلة الأولى من O إلى A، ونصف فتحتها x_1 والثانية من O إلى B ونصف فتحتها x_2 وتكون: $x_2 = a - x_1$.



الشكل (4-6) السليسلة مائلة

يمكن تطبيق القوانين السابقة لكتابة القيم المميزة لكل سليسلة على النحو التالي:

السهم لكل سليسلة:

$$f_1 = (H/w)\left[\cosh\left(wx_1/H\right) - 1\right] \qquad (4-63)$$

$$f_2 = (H/w)\left[\cosh(wx_2/H) - 1\right] \qquad (4-64)$$

قوتا الشد عند نقطتي التعليق مع افتراض $T_B = T_2$, $T_A = T_1$ فنجد:

$$T_1 = H\cosh(wx_1/H), H + \omega f_1$$
$$T_2 = H\cosh(wx_2/H), H + \omega(f_1 + h) \qquad (4-65)$$

قوة رد الفعل عند نقاط التعليق:

$$V_1 = \omega x_1 \qquad (4-66)$$
$$V_2 = \omega x_2 = \omega(a = x_1)$$

إن الشد الأعظمي يظهر عند نقطة التعليق العالية أي المنسوب B وذلك لأن $x_2 \succ x_1$.

تعطى عادة معلومات كوزن الناقل لوحدة الطول ω وفرق المنسوب h والمسافة الأفقية بين نقطتي التعليق أي $(x_1 + x_2)$ والشد الأعظمي المسموح به أي تعطى:

$$f_2 - f_1 = (H/w)\left[\cosh(wx_2/H) - \cosh(wx_1/H)\right] = h \qquad (4-67)$$
$$x_2 + x_1 = a$$
$$T_2 = H\cosh(wx_2/H)$$

هذه المعادلات الثلاث كافية لحساب القيم المجهولة x_2, H و x_1 وهي التي يمكن بواسطتها يمكن حساب السهم وقوى الشد ويمكن حل هذه المعادلات باستخدام طريقة التقريب المتعاقب (Successive approximation method)، وإذا افترضنا أن منحني السليسلة هو قطع مكافئ يمكن استبدال الصيغ المقربة للسليسلة بالصيغ السابقة كما يلي:

$$f_1 = wx_1^2/2T \qquad (4-68)$$
$$f_2 = wx_2^2/2T$$
$$T = H$$
$$f_2 - f_1 = h = (w/2T)(x_2^2 - x_1^2) \qquad (4-69)$$
$$= (w/2T)(x_2 + x_1)(x_2 - x_1)$$
$$= (wa/2T)(x_2 - x_1)$$

ومنه:

$$x_2 - x_1 = 2Th/wa \qquad (4-70)$$

$$x_2 + x_1 = a$$

$$\Rightarrow x_2 = \frac{1}{2}a + Th/wa \qquad (4-71)$$

$$x_1 = \frac{1}{2}a + Th/wa$$

$$h = \frac{\omega a^2}{2\pi} - \frac{\omega.a}{T}\, z_2 = \frac{\omega.a^2}{2T} + \frac{\omega.a}{T}x_1 \qquad (4-72)$$

وبمعرفة x_1, x_2 يمكن حساب كل من f_1, f_2 .يمكن أيضاً كتابة الصيغ السابقة بدلالة الفتحة a والوسيط p وفرق المنسوب h وبتطبيق ذلك على الصيغ المقربة بعد استبدال قوة الشد T بالقيمة $P\omega$ نحصل على تلك الصيغ بدلالة الفتحة والوسيط كما يلي:

$$f_1 = \frac{x_1^2}{2P} = \frac{\left(\frac{a}{2} - \frac{ph}{a}\right)^2}{2p} \qquad (4-73)$$

$$f_2 = \frac{x_2^2}{2P} = \frac{\left(\frac{a}{2} - \frac{ph}{a}\right)^2}{2p}$$

$$x_1 = \frac{a}{2} - \frac{p.h}{a} \qquad (4-74)$$

$$x_2 = \frac{a}{2} - \frac{p.h}{a}$$

$$h = \frac{a^2}{2p} - \frac{ax_1}{p} = \frac{a^2}{2p} + \frac{2x_2}{p}$$

يتم حساب السهم المميز وطول السليسلة المائلة كما يلي:

أ- السهم المميز: Definitive Sage

السهم المميز للسليسلة المائلة p هو المستقيم mn الواصل بين منتصف مستقيم نقطتي التعليق والسليسلة ويمكن حسابه كما يلي بالاستعانة بالشكل (4-7).

$$f = \frac{y_A + y_B}{2} - y_n \qquad (4-75)$$

$$= \frac{(p + f_A) + (p + f_b + h)}{2} - \left(1 + \frac{(a/2 - x_A)^2}{2p^2}\right)$$

حيث:

f_A هو سهم النقطة A، f_b هو سهم النقطة B:

$$f = p + f_A + \frac{h}{2} - p\frac{(a/2 - x_A)^2}{2p}$$

$$= \frac{x_A^2}{2p} - \frac{(a/2 - x_A)^2}{2p} + \frac{h}{2}$$

$$= -\frac{a^2}{8p} + \frac{ax_A}{2p} + \frac{h}{2}$$

من العلاقة (4-74):

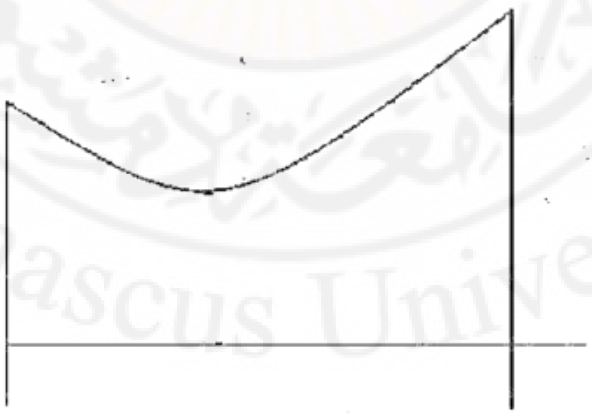
$$h = \frac{a^2}{8p} - \frac{ax_1}{p} \qquad (4-76)$$

وبالتعويض عن h في المعادلة السابقة ينتج:

$$f = \frac{a^2}{8p} \qquad (4-77)$$

ويمكن أيضاً كتابة العلاقة السابقة بدلالة $\tan\beta = \left(\frac{h}{a}\right)$ وفرق المنسوب h:

$$f = \frac{h^2}{8p} Co\tan^2\beta \qquad (4-78)$$



الشكل (4-7) السهم المميز للسليسلة المائلة

ب- طول السلسلة: Chain Length

$$L = p\left(\sinh\frac{x_A}{p} + \sinh\frac{x_B}{p}\right) \qquad (4-79)$$

$$= 2c\ Sinh\frac{a}{2p}.Cosh\frac{h}{2a}$$

$$= 2c\left(\frac{a}{2p} + \frac{a^3}{48p^3}\right)\left(1 + \frac{h^2}{8a^2}\right)$$

$$= ac\left(1 + \frac{a^2}{24c^3}\right)\left(1 + \frac{h^2}{2a^2}\right)$$

لنفرض $K = \frac{a}{4p}$ وبالتعويض في العلاقة الأخيرة:

$$L = a\left(1 + \frac{2k^2}{3}\right)\left(1 + \frac{\tan^2\beta}{2}\right) = a\left(1 + \frac{2}{3}k^2 + \frac{\tan^2\beta}{2} + \frac{k^2\tan^2\beta}{3}\right) \qquad (4-80)$$

ويلاحظ أنه بالنسبة لقيم k الصغيرة وكذلك $\tan\beta$ فإن الصيغة المقربة للطول هي:

$$L = a \qquad (4-81)$$

$$L = a + \frac{2}{3}ak^2 + \frac{a\tan^2\beta}{2} \qquad (4-82)$$

4-4 الفرضيات المناخية التصميمية: Designing Supposal Climatic

عند تصميم خطوط النقل الهوائية يجب حساب الإجهادات التي تتعرض لها النواقل في الظروف المناخية المختلفة، إذ إن الأحوال المناخية التي تحيط بالناقل تؤدي مهمة أساسية في تشكيل إجهادات عليه، لكي يشمل التصميم الأحوال المناخية المختلفة يجب اعتماد فرضيات مناخية معينة، هذه الفرضيات تختلف من بلد لآخر. في القطر العربي السوري تعتمد الفرضيات المناخية التالية:

آ- فرضية السهم لأعظمي (فرضية الصيف):

- درجة الحرارة العظمى +55c°.
- سرعة الريح يساوي 0 .
- ضغط الريح يساوي 0 .

ب- فرضية الربيع:

- درجة الحرارة الوسطية $+15c^{o}$.
- ضغط الريح على النواقل $48kg/m^{2}$.
- وزن الجليد المتشكل 0.

جـ- فرضية الشتاء:

- درجة الحرارة الدنيا $-10\,c^{o}$.
- ضغط الريح على النواقل $18kg/m^{2}$.
- وزن الجليد المتشكل 0 .

د- فرضية الجليد:

- درجة الحرارة $-5\,c^{o}$
- ضغط الريح على النواقل 0
- وزن الجليد المتشكل $0.54kg/m$

في هذه الفرضية يجرى أيضاً التحقق من قيمة السهم الأعظمي.

هـ- فرضية الاهتزاز:

- درجة الحرارة $-15-20C^{o}$.
- ضغط الريح على النواقل 0 .
- وزن الجليد المتشكل 0.

5-4 معادلة تغير الحالة State equation:

إن متغيرات هذه المعادلة تشمل مختلف متحولات الفرضيات المناخية بالإضافة إلى متحولات عن خط النقل كالتباعد بين الأعمدة أو الفتحة وكذلك مواصفات الناقل الفنية . إن نتيجة حل معادلة تغير الحالة نحصل على قيم الإجهاد على الناقل في ظروف مناخية مختلفة وعدد مختلف من الفتحات. سوف نستخدم في معادلة تغير الحالة الرموز التالية:

L_{line} : طول الناقل [m]

E_L :عامل المرونة للناقل ويسمى أيضا بعامل يونغ kg/m^2، وهو عامل يتعلق بنوع معدن الناقل المستخدم.

ϑ_L : درجة الحرارة .

α_L : عامل التمدد الخطي للناقل ، ويتعلق أيضاً بمعدن الناقل .

a_L : طول الفتحة [m]

a_{mL} :الفتحة الوسطية[m]

p_L :الوسيط

m_L :عامل الحمولة.

γ_L : الوزن النوعي للناقل ويتعلق بنوع معدن الناقل $kg/m.mm^2$.

t_L : إجهاد الشد kg/mm^2

يعطى التغير في طول السليسلة من جراء تغير درجة الحرارة والإجهاد معاً بالعلاقة:

$$\frac{\Delta L_{Line}}{L_{Line}} = \alpha L \Delta\vartheta + \frac{\Delta t_L}{E_L} \qquad (4-83)$$

إن الطول التقريبي للسليسلة L_{Line} هو:

$$L_{Line} = a_L + \frac{a^2 L}{24 p_L^2} \qquad (4-84)$$

ومنه فإن تغير الطول $\frac{\Delta L_{Line}}{L_{Line}}$ بدلالة تغير الوسيط ولفتحة ثابتة يكون:

$$\frac{\Delta L_{Line}}{L_{Line}} = \frac{a^2 L}{24 L_{Line}} \Delta\left(\frac{1}{p_L^2}\right) \qquad (4-85)$$

لنفرض أن الناقل المدلى موجود في فرضية مناخية محدداتها $(\vartheta_i . t_i . p_i)$ ثم تغيرت الفرضية المناخية المطبقة عليه فأصبحت $(\vartheta_f . t_f . p_f)$، هذا التغير يسمح لنا بكتابة العلاقة التالية:

$$\frac{\Delta L_{Line}}{L_{Line}} = \alpha_L (\vartheta_i - \vartheta_f) + \frac{1}{E_L}(t_i - t_f) \qquad (4-86)$$

$$\Rightarrow \alpha_L(\vartheta_i-\vartheta_r)+\frac{1}{E_L}(t_i-t_f)=\frac{a_L^2}{24L}\left(\frac{1}{p_i^2}-\frac{1}{p_f^2}\right) \qquad (4-87)$$

على فرض أن $L_{Line}=a_L$ نحصل:

$$a_L(t_i+E_L.\alpha_L.\vartheta_i)-\frac{E_L}{24}.\frac{a_L^3}{p_i^2}=a(t_f+E_L\alpha_L\vartheta_f)-\frac{E_L}{24}.\frac{a_L^3}{p_f^2} \quad (4-88)$$

لنفرض أن:

$$p_i=\frac{t_i}{m_i\gamma} \qquad p_f=\frac{t_f}{m_f\gamma} \qquad (4-89)$$

بالتعويض في المعادلة السابقة:

$$a_L(t_i+E\alpha\vartheta_i)-\frac{E_L\gamma_L^2m_i^2a_L^3}{24t_i^2}=a_L(t_f+E_L\alpha_L\vartheta_f)-\frac{E_L\gamma_L^2m_f^2a_L^3}{24t_f^2} \quad (4-90)$$

حيث:

m_f . m_i : يمثلان عاملي الحمولة في الفرضيتين المناخيتين f.i .

هذه المعادلة هي معادلة تغير الحالة لناقل مدلى بين نقطتين . من هذه المعادلة يمكن معرفة الإجهاد t_f بدلالة t_i وبالعكس ، وهذا يعني إمكانية حساب الإجهاد في فرضية مناخية معينة بعد معرفة الإجهاد في فرضية مناخية أخرى. في معادلة تغير الحالة تعتبر فرضية الصيف الفرضية المعيارية لأن جميع قيم متحولاتها معلومة، إذ يحسب الإجهاد في فصل الصيف من العلاقة :

$$P_L=\frac{t_L}{\gamma_L} \qquad (4-91)$$

P_L : الوسيط ، كما هو واضح من العلاقة (4-91) هو نسبة بين الإجهاد والوزن النوعي للناقل واحدته المتر ولكنه ليس طولاً، ويعد متحولاً تصميمياً مهماً جدا". في الحياة العملية تجرى معالجة شريحة كاملة من الخط تمثل ناقلاً معلقاً على عدة أبراج تعليقٍ بوساطة عوازل تعليق وتثبت من بدايته ونهايته بوساطة عوازل شد ثابتة (مجموعة

فتحات التعليق بين برجي شد تشكل ما يسمى بفتحة شد). الشكل(4-8) يبين نموذج برجي تعليق واستقامة.

(أ) برج تعليق أو استقامه (ب) برج شد وزاوية بآن واحد

الشكل(4-8) نماذج أبراج تعليق واستقامة

إن نقاط التعليق الحر في أبراج التعليق تسمح في توازن الإجهادات على طرفي عازل التعليق مهما اختلفت الفتحة بين هذه النقاط، انطلاقاً من ذلك يمكن القول إن t_f, t_i يبقيان ثابتين مهما اختلفت a ضمن مجال برجي نهاية أو برجي زاوية وهذا يسمح لنا بأن نعيد كتابة معادلة تغير الحالة لشريحة من الخط تحتوي K فتحة على النحو التالي:

$$\left(t_i + E_L\alpha_L\vartheta_i\right) - \frac{E_L\gamma_L^{\,2}\, m_i^{\,2} a_m^{\,2}}{24 t_i^{\,2}} = \left(t_f + E_L\alpha_L\vartheta_f\right) - \frac{E_L\gamma_L^{\,2}\, m_f^{\,2}\, a_m^{\,2}}{24 t_f^{\,2}} \quad (4-92)$$

a_m : هي الفتحة الوسطية، أي مجموع أطوال الفتحات مقسوما على عددها .

وهي الصيغة النهائية لمعادلة تغير الحالة والتي يمكن منها معرفة تغير الإجهاد في أي فرضية مناخية بدلالة تغير الفتحة مع إبقاء الوسيط ثابتاً، هذه المعادلة هي معادلة من الدرجة الثالثة من الشكل:

$$\frac{B}{t^2} = t \pm A \qquad (4-93)$$

إذ B,A هما ثابتان و t الإجهاد، يمكن حل هذه المعادلة بيانياً بمعرفة تقاطع مستقيم مع قطع زائد كما يمكن استخدام الآلة الحاسبة في حلها بشكل تقريبي.

تعريف مستقيم الفتحات الحرجة:

الفتحة الحرجة a_c هي الفتحة التي يتساوى عندها الإجهاد في الفرضيتين i, f أي:

$$t_i = t_f = t_c \qquad (4-94)$$

وبالتعويض في العلاقة (4-92) $t_i = t_f = t_c \;,\; a_m = a_c$

$$\Rightarrow t_c = a_c / \sqrt{E_L \alpha_L (\vartheta_i - \vartheta_f) / \frac{E_L \gamma_L^{\,2}}{24} (m_i^{\,2} - m_f^{\,2})} \qquad (4-95)$$

هذه العلاقة تبين أن الإجهاد الحرج t_c يتغير بدلالة الفتحة a_c تغيراً خطياً وتمثل هذه العلاقة مستقيماً يدعى مستقيم الفتحات الحرجة والذي يمكن بوساطته معرفة أي فرضية مناخية من الفرضيتين هي الأقسى عن طريق مقارنة الفتحة a بالفتحة الحرجة a_c .

4-6 المنحنيات المميزة للنواقل: Definitive Curves of Conductors

آ- المنحنيات التصميمية للنواقل في فرضيتي الربيع والشتاء:

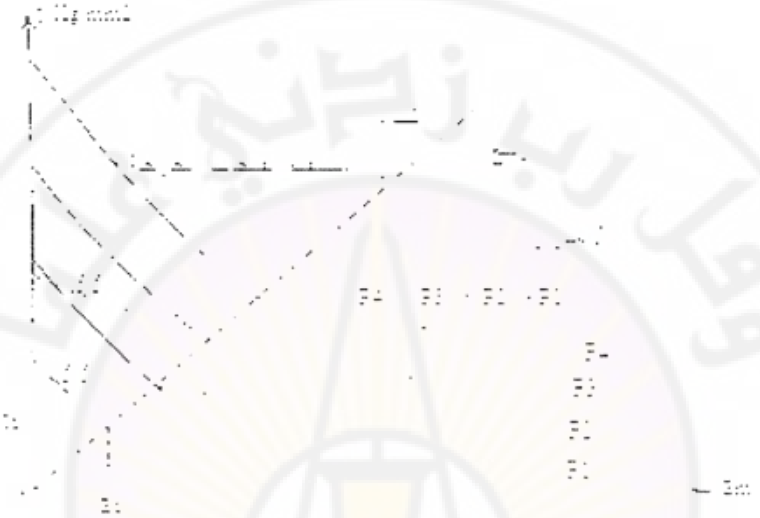
تستنتج المنحنيات التصميمية للنواقل من معادلة تغير الحالة، إذ تعد فرضية الصيف هي الفرضية المعيارية و فرضية الربيع أو الشتاء بجليد أو بدون جليد هي الفرضية الثانية، ويتم حل معادلة تغير الحالة بموجب هذه الفرضيات، ولعدة قسم للوسيط، فنحصل على عدة قيم للإجهاد على الناقل بدلالة تغير الفتحة عند وسيط معين وثابت. من أجل كل وسيط نحصل على منحنى من المنحنيات التصميمية، نرسم المنحنيات البيانية لكل الوسطاء فنحصل على ما يسمى بالمنحنيات التصميمية للناقل المدروس. الشكل (4-9) يوضح هذه المنحنيات بما في ذلك مستقيم الفتحات الحرجة الواصل بين نقاط تقاطع منحني الإجهاد في فصل الشتاء مع منحنيات الإجهاد في فصل الربيع، يتضح من الشكل أيضاً أنه من أجل $a > a_c$ فإن فرضية الربيع هي الفرضية الأقسى بينما عندما يصبح $a < a_c$ فإن فرضية الشتاء ستكون هي الأقسى .

ب- المنحنيات التصميمية للناقل في فرضية الاهتزاز :

في هذه الحالة تعد فرضية الاهتزاز هي الفرضية المعيارية وتكون شروطها كما يلي:

- إجهاد الاهتزاز $\frac{1}{6}$ أو $\frac{1}{5}$ الإجهاد الأعظمي.
- درجة الحرارة $\vartheta = 15 - 20$ وضغط الريح يساوي الصفر.

وتعد فرضية الربيع أو الشتاء هي الفرضية الثانية التي تدخل مع فرضية الاهتزاز في معادلة تغير الحالة، توقع منحنيات الاهتزاز والمنحنيات التصميمية للنواقل على مخطط واحد وتعد جزءاً لا يتجزأ منها كما هو مبين في الشكل (4-9-آ).



الشكل (4-9-آ) المنحنيات التصميمية للنواقل

ملاحظة1:

يجب أن تكون قيمة الإجهاد الذي سوف يصمم عليه الخط غير واقعة على منحنيي الاهتزاز أو ضمن المجال بين هذين المنحنيين، أي يجب أن تكون نقطة العمل خارج منطقة الاهتزاز .

ملاحظة2:

تستخدم المنحنيات في رسم وتصنيع مساطر لكل وسيط مسطرة خاصة، حيث يرسم منحني كل وسيط على حدة بحيث يأخذ شكل قطع مكافئ وذلك بأخذ مرآة للشكل(4-9-آ) ليصبح كما في الشكل(4-9-ب)، إذ إن الخطين العموديين يمثلان برجين على المقطع الطولي لمسار الخط. يرسم هذا الشكل لكل منحني من المنحنيات والذي يمثل وسيط محدد، ثم تلصق هذه الرسومات على ألواح بلاستيكية شفافة ويحفر البلاستيك مكان المنحني فنحصل على ما يسمى بمساطر المنحنيات التصميمية . تفيد هذه

المنحنيات في رسم سلسلة الناقل على المقطع الطولي للمسار، الشكل (4-9-ج) يوضح ذلك.



الشكل(4-9-ب) توقيع الناقل بين برجين

الشكل(4-9-ج) يبين مقطع طولي لمسار خط نقل.

الشكل(4-9-ج) مقطع طولي لمسار خط نقل.

ج - منحنيات العمل للنواقل:

تسمح هذه المنحنيات بتعيين الإجهاد بدون هواء بدلالة الفتحة ودرجة الحرارة المحيطة بالناقل المراد تركيبه، وذلك بالنسبة لوسيط محدد سلفاً. هذه المنحنيات واحدة لجميع المقاطع طالما أن E, α, γ ثابتة بالنسبة لهذه المقاطع. يجرى استنتاج هذه المنحنيات من معادلة تغير الحالة، إذ يحسب طرف من أطراف المعادلة بناءً على الفرضية المعيارية (أي درجة الحرارة 55+ وضغط الريح صفر مثلاً)، بينما يتم في الطرف الثاني تغيير درجة الحرارة مع إبقاء بقية العناصر كما هي الحال في الفرضية المعيارية.

$$\left(t_i + E_L \alpha_L \vartheta_i\right) - \frac{E_L \gamma_L^{\,2} m_i^{\,2} a_m^{\,2}}{24 t_i^{\,2}} = \left(t_f + E_L \alpha_L \vartheta_f\right) - \frac{E_L \gamma_L^{\,2} m_f^{\,2} a_m^{\,2}}{24 t_f^{\,2}} \qquad (4-96)$$

أي نأخذ معادلة تغير الحالة:

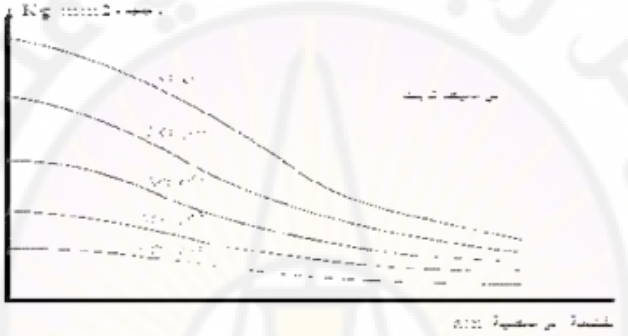
في فرضية الصيف $m_i = 1$ ومنه فإن شكل المعادلة يصبح :

$$\left(t_f + E_L \alpha_L \vartheta_f\right) - \frac{E_L \gamma_L^2 a_L^2}{24 t_f^2} = \left(t_f + E_L \alpha_L \vartheta_f\right) - \frac{E_L \gamma_L^2 a_L^2}{24 t_f^2} \qquad (4-97)$$

والشكل (4-10) يبين كيفية ظهور مخططات العمل لناقل معين عند وسيط ثابت.

ملاحظة :

تفيد منحنيات العمل في معرفة الإجهاد عند درجة حرارة معينة وهذا الأمر ضروري أثناء تنفيذ خط النقل، إذ إن تنفيذ الخط يتم على مدى معين من الزمن تتغير فيه درجات الحرارة من حين لآخر، لذلك من الضروري معرفة الإجهاد الذي يجب أن يشد الناقل به في كل يوم عمل . تعطى هذه المنحنيات عادة لمنفذ الخط .



الشكل (4-10) مخططات العمل لناقل معين وعند وسيط ثابت

4-7 المسافات بين النواقل وبين النواقل وجسم الحامل:

Distance between Conductors

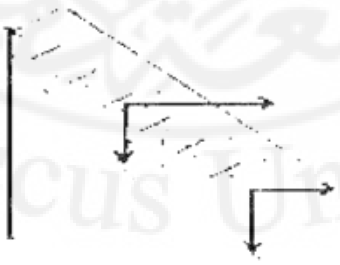
يجري اختيار المسافات بين النواقل وبين النواقل وجسم الحامل أو العمود أو البرج إذ تؤمن هذه المسافات حتى في الظروف المناخية الصعبة عدم حدوث انهيار كهربائي بين هذه العناصر، وفي الوقت نفسه يجب أن لا تكون هذه المسافات مبالغاً فيها إذ يؤدي ذلك إلى زيادة في تحريضية الخط وإلى ارتفاع في كلفة الحوامل. من الناحي العملية توجد عدة ظواهر طبيعية لابد من أخذها بالحسبان أثناء الدراسة التصميمية للخط نظراً لتأثيرها في تحديد المسافات بين عناصر الخط. من هذه الظواهر ما يسمى قفز النواقل في الاتجاه الشاقولي Vertical Jump ويحدث ذلك نتيجة لذوبان الجليد أو سقوطه عن النواقل سقوطاً غير متماثل، مما يؤدي إلى التخفيف المفاجئ لحمولة الناقل في بعض أجزائه وبقاء الحمولات على أجزاء أخرى وبالتالي تأرجحه إلى الأعلى والأسفل، وتزداد قيمة التأرجح كلما ازداد شد الناقل وكلما كبرت الفتحة. يمكن أيضاً أن تحدث هذه

الظاهرة عند وقوف سرب من الطيور الكبيرة على الناقل ثم طيرانها طيراناً مفاجئاً. يوجد أيضاً في النواقل المرتبة ترتيباً أفقياً ظاهرة تأرجح أخرى تسبب حركة النواقل بشكل إهليجي خصوصاً عند وجود اختلاف في السهم فإن دور الاهتزاز الطبيعي للنواقل يكون مختلفاً مما يؤدي إلى احتمال حدوث تماس بين النواقل أثناء التأرجح. أمر آخر يجب أخذه بالحسبان وهو تأرجح النواقل المستندة على عوازل معلقة نتيجة ضغط الرياح عليها إذ يؤدي ذلك إلى دوران سلسلة العازل الحاملة للناقل من الوضع الشاقولي إلى وضع مائل والاقتراب من الحامل. نظراً لأهمية موضوع المسافات والأبعاد بين النواقل والعناصر الأخرى من الخط فقد اهتمت معظم الدول بوضع قواعد ونظم متعلقة بذلك، ولكل دولة نظمها الخاصة في هذا المجال بما يتناسب مع ظروفها المناخية. في الفقرات التالية سنوضح هذه النظم .

آ- تأرجح النواقل المستندة على عوازل معلقة:Conductor Swing

نتيجة ضغط الريح على النواقل المستندة على سلاسل عوازل تعليق بالإضافة إلى ضغط الريح سلاسل العوازل نفسها، فإن سلسلة العازل الحاملة للناقل سوف تتأرجح وتنحرف عن الوضع الشاقولي بزاوية تأرجح معينة تختلف قيمتها حسب قوة ضغط الريح المؤثرة على الناقل والوزن الذاتي له، فكلما قل الوزن الذاتي للناقل زادت زاوية التأرجح. عادةً يصمم الخط بحيث لا تزيد فيها زاوية التأرجح عن 60. يتم حساب هذه الزاوية كما يلي:

الشكل (4-11) يبين ناقلاً يستند إلى سلسلة عوازل معلقة في النقطة 0 ولتكن ϑ زاوية التأرجح و l طول سلسلة العازل.



الشكل (4-11) تأرجح سلاسل العوازل والنواقل

إن القوى الخارجية المؤثرة في هذه الجملة هي:

F_c : قوة الريح الأفقية على الناقل لفتحة كاملة وتساوي $pd\left(\frac{a_1+a_2}{2}\right)$.

حيث:

P : قوة الضغط على واحدة السطو kg/m^2 .

d :قطر الناقل[m] .

a_2 ، a_1 :طول الفتحتين المجاورتين لسلسلة العازل المدروسة [m].

p_c : وزن الناقل (لفتحة كاملة) ويساوي $\omega\left(\frac{a_1+a_2}{2}\right)$ [kg].

حيث:

ω :الوزن الذاتي للناقل لواحدة الطول[kg/m].

F_i : قوة ضغط الريح على سلسلة العازل[kg].

P_i : وزن سلسلة العازل[kg].

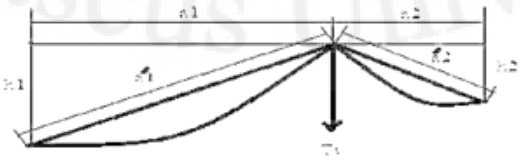
من شروط توازن هذه الجملة هي أن يكون مجموع عزوم القوى المؤثرة فيها حول نقطة التعليق مساوياً الصفر ومنه:

$$\left(\frac{F_i}{2}+F_c\right)l_i.\cos\vartheta=\left(\frac{P_i}{2}+P_i\right)l_i\sin\vartheta \qquad (4-98)$$

ومنه:

$$\tan\vartheta=\frac{F_c+F_i/2}{P_c+P_i/2} \qquad (4-99)$$

العلاقة السابقة مستنتجة في حالة كون الأعمدة المتعاقبة على مسار الخط على مستوي أفقي واحد، أما في حال وجود فرق في المنسوب بين حوامل ثلاثة متعاقبة من الخط فإن الحامل الأوسط يقع تحت تأثير المركبة الشاقولية لقوتي الشد من الحاملين المجاورين . الشكل (4-12) يوضح ذلك.



الشكل (4-12) القوى الناتجة عن فروق المنسوب

إذا افترضنا أن زاوية ميل المستقيم الواصل بين نقطتي التعليق للعوازل العائدة لبرجين متجاورين صغيرة، في هذه الحالة تعطى قوة الشد الشاقولية الناتجة عن فرق المنسوب بالعلاقة:

$$T_v = T(h_1/a_1 + h_2/a_2)$$
$$T_v = t.s(h_1/a_1 + h_2/a_2) \qquad (4-100)$$

حيث:

a_2, a_1: طول الفتحتين المجاورتين للحامل الواقع تحت تأثير قوى فرق المنسوب.

h_2, h_1: فرقا المنسوب بين الحاملين المجاورين والحامل الأوسط.

T، S، t: تمثل بالتتابع مقطع الناقل، قوة الشد وإجهاد الشد على الناقل.

وإذا أردنا أن نكون أكثر دقة فإنه يجب أن يستعاض في العلاقات السابقة عن الفتحتين الأفقيتين a_2, a_1 بالفتحتين المائلتين a_2', a_1' ويتم حساب الوزن الذاتي للناقل وقوى ضغط الريح عليه استناداً إلى الفتحتين المائلتين. تعد القوى الإضافية الناتجة عن فرق المنسوب موجبة إذا كانت تشد الناقل في الاتجاه السفلي وفي هذه الحالة تساعد قوة الشد الإضافية في التقليل من زاوية التأرجح وتعد سالبة إذا كانت تشد الناقل نحو الأعلى. عموماً من الممكن أن يكون الحد $\left(\frac{h_1}{a_1} + \frac{h_2}{a_2}\right)$ سالباً أو موجباً حسب وضع الحامل الأوسط بالنسبة للحاملين المجاورين له. ولذلك تكتب العلاقة (4-100) بصورتها العامة على النحو التالي:

$$T_v = t.s(\pm h_1/a_1 \pm h_2/a_2) \qquad (4-101)$$

وتعد h سالبة عندما تقاس فوق الخط الأفقي المار من نقطة التعليق على الحامل الأوسط. وبإدخال T_v في معادلة زاوية التأرجح لأخذ تأثير قوة فرق المنسوب تصبح:

$$\tan\vartheta = \frac{F_c + F_i/2}{P_c + P_i/2 \pm T_v} \qquad (4-102)$$

هناك عدة إجراءات يمكن أن نتخذ عندما تكون t_v سالبة (متجهة إلى الأعلى) وذلك لتصغير زاوية التأرجح وإعادتها إلى الحدود المسموح بها. هذه الإجراءات هي التالية:

- إعادة توزيع الحوامل على الطبيعة إذ تكون T_c موجبة أو على الأقل جعل الحد $P_c + \frac{P_i}{2} \pm T_c$ موجباً بما فيه الكفاية.
- الاستعاضة عن سلسلة التعليق في نقطة الوسط بسلسلة عوازل شد من الطرفين.
- استعمال تعليقة على شكل V تسمح بتأرجح كبير وهي التي من شأنها إبعاد الناقل عن حاملة العوازل المعدنية.
- رفع منسوب الحامل الأوسط لتغيير قيمة $\frac{h_1}{a_1}$ ، $\frac{h_2}{a_2}$.
- استعمال الأوزان الإضافية من أجل زيادة المركبة الشاقولية نحو الأسفل والشكل (4-13) يبين كيفية تعليق الوزن الإضافي على الناقل.



الشكل (4-13) الأوزان الإضافية

ب النظم العالمية المعتمدة في تحديد الأبعاد بين النواقل والأجسام الأخرى :

يوجد عدة نظم عالمية أعطت علاقات رياضية تستخدم في تحديد الأبعاد بين النواقل وبين النواقل وجسم الحامل وبين أخفض نقطة من الناقل وسطح الأرض، والنظم في كل دولة تحدد هذه الأبعاد إما على شكل علاقات رياضية أو على شكل جداول بناء على تجربتها الخاصة في هذا المجال. تعتمد قيم هذه الأبعاد على عدة متغيرات، منها التوتر المطبق على الخط، طول الفتحة، السهم الأعظمي، الوسيط المصمم عليه الخط، طريقة ترتيب النواقل، نوع معدن الناقل. سنستعرض في الفقرة التالية بعض النظم المستخدمة.

1- المسافات بين النواقل وبين النواقل وجسم الحامل في خطوط التوتر المنخفض:

المسافات بين النواقل وبين النواقل والحامل حسب النظم النمساوية في الجدول(4-4).

جدول (4-4) المسافات بين النواقل وبين النواقل والحامل وفق النظم النمساوية للتوتر المنخفض

Conductor material	Arrangement of conductors	Spacing or clearance, in cm	Minimum spacing
C_u ، B_r ، F_e	vertical	s/100	20
Al.ACSR	vertical	s/70	30

C_u, B_c, F_c	horizontal	s/150	15
AI.ACSR	horizontal	s/100	20

يمكن استخدام العلاقة التالية بالنسبة للتوترات $V \le 10kV$ في حساب البعد بين النواقل:

$$e = K\left(\frac{a_{max}}{2.5} + 10\sqrt{V}\right) \qquad (4-103)$$

$K=1$ للنحاس ، $K=1.25$ للألمنيوم والألمليك.

V : التوتر بين الطورين [kv].

a_{max} : الفتحة بين عمودين [m].

e : تقدر [cm].

2 – المسافات بين النواقل وبين النواقل وجسم الحامل في خطوط التوتر العالي:

– النظم الألمانية VDE Code:

تعطى المسافة الدنيا بين النواقل e المبينة في الشكل(4-14) بموجب العلاقة:

$$e = K\sqrt{f + l_k} + \frac{V_n}{150} \qquad (4-104)$$

f : السهم الأعظمي بالمتر .

e : التباعد بين النواقل بالمتر .

v : التوتر الاسمي بين الأطوار .

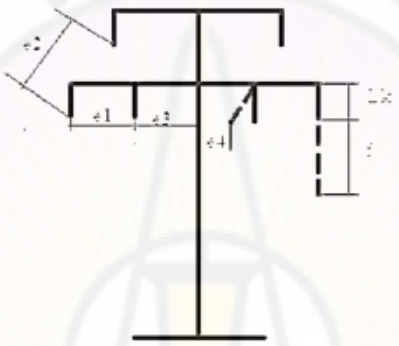
l_k :طول سلسلة العازل [m]

K : ثابت يحسب من الجدول (4-5)

جدول (4-5) الثابت K بموجب النظم الألمانية

	Copper, bronze, steel	Nominal cross section mm²	10,16	23,35	50,70,95
Conductor materials	Aluminum and its alloys	Nominal cross section mm²	25,35,50,70,95,120,150	>150	-
	Aluminum steel	Nominal cross section mm²	16/2.5	44/32	95/55
			25/4	50/30	105/75
			35/6	95/15	120/70
			50/8	120/20	170/40
			70/12	150/25	And greater
				125/30	

Deflection and of conductor in wind	Degrees	Over 50	Over 40	Over 40
Deflection at the same height close to each other	λ factor		Up to 55	Up to 55
Deflection at tow or more heights		0.7	0.62	0.62
	λ factor	0.95	0.85	0.75
Disposition of the conductors in the form of an equilateral triangle	λ factor	0.75	0.70	0.65



الشكل (4-14) التباعد بين النواقل بموجب نظم VDE

- نظام فيه الحيادي مؤرض تأريضاً مباشراً:

$$e_3 = 0.1 + \frac{V_n}{150} \qquad (4-105)$$

(ولا يقل عن 2m)

$$e_4 = \frac{V_n}{150} \qquad (4-106)$$

- نظام فيه الحيادي معزول:

$$e_3 = e_4 = \frac{V_n}{150} \qquad (4-107)$$

- النظم النمساوية Austria Code:

تعطى المسافة الدنيا بين النواقل بالعلاقة:

$$e = k\sqrt{f} + \frac{V_n}{150} \qquad (4-108)$$

حيث يحسب السهم الأعظمي من فرضيتي الصيف والجليد، ويؤخذ الثابت $K = 0.75$ لنواقل الألمنيوم فولاذ و $K = 0.9$ لنواقل الألمنيوم وخلائطه و $K = 0.23\sqrt{\gamma}$ لنواقل النحاس الفارغة $(\gamma = kg/mm^2 - m)$ أما المسافة بين الناقل وجسم الحامل فتأخذ القيم المذكورة في النظام الألماني للقيم نفسها أي:

بالنسبة لناقل غير مائل:

$$e_3 = 0.1 + \frac{V_n}{150} \qquad (4-109)$$

بالنسبة لناقل مائل:

$$e_4 = \frac{V_n}{150} \qquad (4-110)$$

- النظم الأمريكية (NESS):

تعطى النظم الأمريكية التباعد بين النواقل الكبيرة بالعلاقة:

$$e = (0.025 fl_p crkv) + k\sqrt{f} + (0.7 l_k) \qquad (4-111)$$

K_v : توتر الخط الاسمي

f : السهم الأعظمي

l_k : طول سلسلة العازل (وتؤخذ مساوية الصفر في العوازل الثابتة)

K :عامل تجريبي تتراوح قيمته بين 5.67 و 1.4

بالنسبة لخطوط النقل يوصى بأخذ $K = 1.0$ ، في المناطق التي لا تتوفر فيها المعلومات اللازمة وفي المناطق التي فيها رياح وثلج تؤخذ K القيم التالية التجريبية:

في المناطق ذات الحمولات الخفيفة: $K = 1.15$

في المناطق ذات الحمولات المتوسطة: $K = 1.2$

في المناطق ذات الحمولات الثقيلة: $K = 1.25$

3-البعد الأصغري للنواقل عن الأرض:

إن مسارات خطوط نقل القدرة تعبر أراضي ومناطق مختلفة الطبيعة، فقد تكون الأراضي مزروعة أو تحوي أشجاراً، أو معبراً رئيساً للخطوط الحديدية، أو الطرق ذات السير الكثيف. في هذه الحالات من الضروري أن تكون أخفض نقطة من الناقل المدلى

بعيدة عن الأرض بمقدارٍ كافٍ يسمح بسلامة الحركة تحت الخط. يحدد بعد أخفض نقطة من النواقل عن الأرض في الشروط التي يكون فيها السهم أعظمياً من جهة، ومن جهة أخرى في الفصول التي تكثر فيها الحركة تحت الخطوط وتكون فيها المجموعات المارة من تحت الخط ذات ارتفاع أعظمي، هذان الشرطان يتحققان في البلاد المعتدلة الطقس والحارة في فصل الصيف عندما يكون الهواء معدوماً من جهة وعندما تكون درجة الحرارة أعظمية (في سورية 55+). يتعلق البعد الأصغري بالتوتر الكهربائي من جهة وبطبيعة المنطقة التي يمر فيها الخط من جهة أخرى. ويختلف هذا البعد من بلد إلى آخر حسب النظم المتبعة. عند تصميم الخط يمكن أخذ القيم في الجدول(4-6).

جدول(4-6) بعد أخفض نقطة من الناقل عن الأرض

التوتر	الأراضي المقفرة	الأراضي الزراعية	في الطرق ذات السير العادي	في الطرق ذات السير الكثيف
(kv)	(m)	(m)	(m)	(m)
حتى 20	5.5	6.5	7.5	9
بين 20 - 66	6	7	8	10
بين 66- 220	8	9	10	12
بين 220- 400	10	11	12	14

كما يعتمد في النظم البريطانية الجدول (4-7):

جدول(4-7) بعد أخفض نقطة من الناقل عن الأرض حسب النظم البريطانية

Working voltage	Minimum ground clearance
Not exceeding 650 V ac. or 325 V dc.	5.7 m
Not exceeding 66 kv	6.1 m
66 kv to 110 kv	6.4 m
110 kv to 165 kv	6.7 m
Exceeding 165 kv	7.0 m

د- البعد بين نواقل خطوط نقل القدرة ونواقل الخطوط الأخرى عند التقاطع:

في كثير من الأحيان يحدث تقاطع بين خط نقل قدرة وخط نقل قدرة آخر أو خط اتصالات سلكية، في هذه الحالة يجب تأمين حد أدنى من التباعد بين هذه الخطوط. الجدول (4-8) يعطي قيماً إرشادية للحد الأدنى لهذه الأبعاد حسب نظم كهرباء فرنسا.

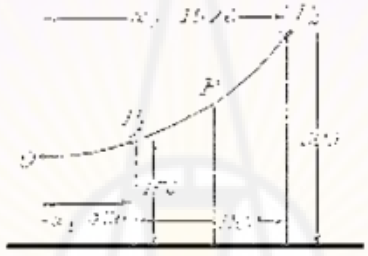
جدول (4-8) الأبعاد الدنيا بين نواقل خط القدرة ونواقل الخطوط الأخرى

التوتر (kv)	من 63	من 90	من 150	من 225	من 380
البعد الأدنى (m)	2.5	3	4	5	7

4-8 تطبيقات :

تطبيق 1:ناقل تم تثبيته من طرفيه عند اختراقه نهر بواسطة برج من كل طرف ارتفاع البرج الأول 150ft ارتفاع البرج الثاني 300ft. بفرض أن الشد الأعظمي هو 2460lb ووزن الناقل 0.594 lb/ft أوجد البعد بين الناقل وسطح الماء في منتصف المسافة بين البرجين.

1"- الطريقة المقربة: الشكل (4-15) يبين سلسلة مائلة :



الشكل (4-15)

من العلاقة (4-69)

$$X_2 = \frac{1100}{2} + \frac{426 \times 150}{0.594 \times 110} = 550 + 937 = 1526$$

$$X1 = 550 - 976 = -426$$

القيمة السالبة لـ X_1 تبين أن النقطة p_1 واقعة يمين النقطة 0 أي في اتجاه النقطة p_2.

إن النقطة P الواقعة في منتصف المسافة بين الحاملين:

$$X = \frac{1}{2}(1526 + 426) = 976\ ft$$

أي أن ارتفاع النقطة P عن O هو :

$$f = \frac{\omega X^2}{2T} = \frac{0.594 \times 76^2}{2 \times 4260} = 66.4\ ft$$

إن ارتفاع النقطة P2 عن النقطة O:

$$f_2 = \frac{\omega X_2^2}{2T} = \frac{0.594 \times 1526^2}{2 \times 4260} = 162\ ft$$

ومنه فإن نقطة الوسط أخفض من P_2 بالمسافة 96ft أي أن P_2 وأعلى من سطح الماء بقيمة 204 ft.

2"- الطريقة الدقيقة: من أجل الحصول على الحل الدقيق يمكن استخدام العلاقة:

$$f_2 - f_1 = h\frac{h}{\omega} = \left(\cosh\frac{\omega X_2}{H} - \frac{\omega X_1}{H}\right)$$
$$= \frac{2H}{\omega}\sinh\frac{\omega(X_2 - X_1)}{2H}\sinh\frac{\omega(X_2 - X_1)}{2H}$$
$$= \frac{2H}{\omega}\sinh\frac{\omega a}{2H}\sinh\frac{\omega(X_2 - X_1)}{2H}$$

لنطبق الآن طريقة التقريب المتتابع في الحل، حيث نستخدم قيمة x_2 التي حصلنا عليها في الطريقة التقريبية للحصول على التقريب الأول أي:

$$4260 = H\cosh\frac{0.594 \times 1526}{H} = \frac{H\cosh 906}{H}$$

هذه الأخيرة من الشكل Cosh z = 4.70 حيث z = 906/H ومن جداول التوابع القطعية نحصل على z = 0.2175 ومنه:

$$H = 906/0.2175 = 4170$$

هذه القيمة تمثل القيمة التقريبية الأولى لقوة الشد H، لنعوض قيمة H في المعادلة:

$$\sinh\left[\frac{w(x_2 - x_1)}{2H}\right] = \sinh\frac{0.594(x_2 - x_1)}{2 \times 4170}$$
$$= \frac{wh}{2H\sinh\frac{wm}{2H}} = \frac{0.594 \times 150}{2 \times 4170 \times \sinh\frac{0.594 \times 1100}{2 \times 4170}}$$
$$= \frac{0.594 \times 150}{2 \times 4170 \times 0.0785} = 0.1372$$

ومنه:

$$w(x_2 - x_1)/2H = 0.1368,$$
$$x_2 - x_1 = \frac{2 \times 4170 \times 0.1368}{0.594} = 1923$$

$$x_2 + x_1 = 1100 \Rightarrow x_2 = 1512$$

هذه القيمة هي القيمة التقريبية الثانية إلى x_2، ويمكن أن نستخدمها لحساب القيمة التقريبية الثانية H وهي 4160. إن قيمة x_2 التي حصلنا عليها عندما أخذنا H مساوية 1510 وهي قريبة جداً من القيمة السابقة تدل على أن التقريب الثاني أصبح مناسباً وعليه لنأخذ $H = 4610$ و $x_2 = 1510$، إن نقطة الوسط p لها الإحداثي x حيث:

$$U = \frac{160 \times 3 + 100 \times 5}{160 + 100} = 3.77m$$

وواقعة تحت النقطة P_2 بمسافة:

$$\frac{H}{w}\left(\cosh\frac{1510\,w}{H} - \cosh\frac{860\,w}{H}\right)$$

$$= \frac{2H}{w}\sinh\frac{650\,w}{2H}\sinh\frac{2370\,w}{2H} = 107.6$$

هذا يعني أن ارتفاع نقطة الوسط عن سطح الماء هو 192ft، وهذا يعني أن الطريقة التقريبية أعطت ارتفاعاً أكثر بـ 12 ft من الواقع.

تطبيق 2:

ناقل ألمنيوم فولاذ مقطع 240/40، قطره $21.7mm$، المقطع الحقيقي $2764mm^2$، وزن المتر الطولي $0.97Kg/m$، عامل التمدد الطولي 18.5×10^{-6}، عامل يونغ $7.7\times10^{3}\,Kg/m^2$، الوزن النوعي $3.52\times10^{-3}\,Kg/m.mm^2$ والمطلوب إيجاد المنحنيات التصميمية للناقل عند وسيط 1300 و 1500 وذلك وفق الشروط المناخية التالية:

فرضية الربيع: درجة الحرارة c° 15

ضغط الريح على النواقل $48\,kg/m^2$

فرضية الشتاء: درجة الحرارة c° -10

ضغط الريح على النواقل $18\,kg/m^2$ وبدون جليد

فرضية الصيف: درجة الحرارة c° 55

ضغط الريح على النواقل 0

فرضية الاهتزاز: درجة الحرارة c° 20

ضغط الريح على النواقل 0

الحل:

نظراً لعدم وجود جليد نحسب عامل الحمولة في فرضية الربيع والشتاء وفقاً للعلاقة:

عامل الحمولة في فصل الربيع:

$$m = \frac{\sqrt{\omega + F.d}}{\omega}$$

$$= \frac{\sqrt{(0.97)^2 + (21.7\times10^{-3}\times48)^2}}{0.97}$$

$$= 1.46$$

عامل الحمولة في فصل الشتاء:

$$m = \frac{\sqrt{(0.97)^2 + (18\times21.7\times10^{-3})^2}}{0.97}$$

$$= 1.078$$

آ- المنحنيات التصميمية للناقل:

نستخدم معادلة تغير الحالة (92-4) في الحسابات وذلك عندما نثبت الوسيط 1300 ثم على 1500.

1- الوسيط 1300:

الإجهاد في فصل الصيف (الفرضية المعيارية)

$$t_1 = p.\gamma = 1300\times3.52\times10^{-3}$$

$$= 4.57\,kg/mm^2$$

فرضية الربيع:

بتبديل المعطيات في معادلة تغير الحالة نحصل على ما يلي:

$$t_1 + 7.7\times10^3\times18.5\times10^{-6}\times15 - \frac{7.7\times10^3(0.00352\times1.46)^2a^2}{24\,t_1^2}$$

$$= 4.5.7 + 10^3\times18.5\times10^{-6}\times55 - \frac{7.7\times10^3(0.00352\times1.46)^2a^2}{24\,(4.57)^2}$$

$$t_1 = 0.0085a^2/t_1^2 = 0.276 - 0.000189\,a$$

نتائج الحسابات تنظم في الجدول التالي (4-9) عند تغيير الفتحة من 0-450 m.

جدول (4-9) تغير الإجهاد بتغير الفتحة في فرضية الربيع عند الوسيط 1300

$t_i \quad kg/mm^2$	المعادلة	a (m)
10.276	$t_i - 10.276$	0
10.012	$t_i - 21.25/t_i^2 = 9.8$	50
9.35	$t_i - 85/t_i^2 = 8.378$	100
8.59	$t_i - 191/t_i^2 = 6.01$	150
7.99	$t_i - 340/t_i^2 = 2.68$	200
7.6	$t_i - 531/t_i^2 = -1.58$	250
7.351	$t_i - 765/t_i^2 = -6.81$	300
7.186	$t_i - 1041/t_i^2 = -12.97$	350
7.07	$t_i - 1360/t_i^2 = -20.09$	400
6.99	$t_i - 1721/t_i^2 = -28.15$	450

فرضية الشتاء: بالتعويض في معادلة تغير الحالة بالمعطيات نحصل على المعادلة التالية:

$$t_i - 0.0046\,a^2/t_i^2 = 13.835 - 0.000189\,a^2$$

نتائج الحسابات تنظم في الجدول التالي (4-10) وذلك عند تغيير الفتحة من 0-450m.

جدول (4-10) تغير الإجهاد بتغير الفتحة في فرضية الشتاء وعند الوسيط 1300

$t_i \quad kg/mm^2$	المعادلة	a (m)
13.83	$t_i - 13.83$	0
13.42	$t_i - 11.55/t_i^2 = 13.35$	50
12.24	$t_i - 46.2/t_i^2 = 11.94$	100
10.51	$t_i - 103.9/t_i^2 = 9.56$	150
8.69	$t_i - 184.7/t_i^2 = 6.24$	200
7.34	$t_i - 288.68/t_i^2 = 1.97$	250
6.52	$t_i - 416/t_i^2 = -3.25$	300
6.049	$t_i - 565.8/t_i^2 = -9.4$	350
5.75	$t_i - 739/t_i^2 = -16.53$	400
5.58	$t_i - 931/t_i^2 = -24.4$	450

2- الوسيط 1500:

الإجهاد في فصل الصيف:

$$t_i p.\gamma = 1500 \times 3.52 \times 10^{-3}$$

$$= 5.28 kg/mm^2$$

فرضية الربيع:

بتبديل المعطيات في المعادلة (4-94)نحصل على المعادلة التالية:

$$t_i - 0.0085 a^2 / t_i^2 = 10.98 - 0.000143 a^2$$

الجدول (4-11) يبين النتائج عند تغير الفتحة بين 0- 450 m.

جدول(4-11) تغير الإجهاد بتغير الفتحة في فرضية الربيع وعند الوسيط 1500

$t_i \quad kg/mm^2$	المعادلة	a (m)
10.98	$t_i - 10.98$	0
10.79	$t_i - 21.25 / t_i^2 = 10.61$	50
10.34	$t_i - 85 / t_i^2 = 9.54$	100
9.69	$t_i - 191 / t_i^2 = 7.76$	150
9.414	$t_i - 340 / t_i^2 = 5.57$	200
8.85	$t_i - 532 / t_i^2 = 2.06$	250
8.57	$t_i - 766 / t_i^2 = 1.857$	300
8.37	$t_i - 1041 / t_i^2 = -6.48$	350
8.24	$t_i - 1360 / t_i^2 = -11.83$	400
8.15	$t_i - 1721 / t_i^2 = -23.13$	450

فرضية الشتاء:

$$t_i - 0.0046 a^2 / t_i^2 = 14.535 - 1.425 \times 10^{-4} . a^2$$

الجدول (4-12) يلخص النتائج عند تغير الفتحة بين 0- 450 m.

جدول (4-12) تغير الإجهاد بتغير الفتحة في فرضية الشتاء وعند الوسيط 1500

$t_i \quad kg/mm^2$	المعادلة	a (m)
14.535	$t_i - 14.535$	0
14.2	$t_i - 11.5 / t_i^2 = 14.18$	50
13.4	$t_i - 46 / t_i^2 = 13.11$	100
12.05	$t_i - 103 / t_i^2 = 11.33$	150

10.5	$t_i - 184 / t_i^2 = 8.83$	200
9.1	$t_i - 287 / t_i^2 = 5.63$	250
8.08	$t_i - 141 / t_i^2 = 1.71$	300
7.4	$t_i - 563.5 / t_i^2 = -2.92$	350
6.95	$t_i - 736 / t_i^2 = -8.26$	400
6.66	$t_i - 931.5 / t_i^2 = -14.32$	450

ب- منحنيات الاهتزاز التصميمية:

أ- إجهاد الاهتزاز $5.5\ Kg/mm^2$:

درجة الحرارة c 20، عامل التحميل لفرضية الاهتزاز m =1

فرضية الربيع:

$$m_i = 1.46 \qquad \vartheta_i = 15\ c$$

بالتعويض في معادلة تغير الحالة:

$$t_i = 0.0085\ a^2 / t_i^2 = 6.21 - 0.0001314\ a^2$$

بتغيير قيم الفتحة a نحصل على قيم الإجهاد المقابلة، والنتائج في الجدول (4-13).

جدول (4-13) تغير الإجهاد عند إجهاد الاهتزاز $5.5\ Kg/mm^2$ في فرضية الربيع

$t_i \quad kg/mm^2$	المعادلة	a (m)
6.21	$t_i - 6.21$	0
6.405	$t_i - 21.36 / t_i^2 = 5.88$	50
6.762	$t_i - 85.46 / t_i^2 = 4.89$	100
7.085	$t_i - 191. / t_i^2 = 3.25$	150
7.321	$t_i - 341.8 / t_i^2 = 0.934$	200
7.49	$t_i - 539 / t_i^2 = -2.002$	250
4.62	$t_i - 769 / t_i^2 = -5.616$	300
7.71	$t_i - 1041 / t_i^2 = -9.88$	350
7.78	$t_i - 1367 / t_i^2 = -141.8$	400
7.83	$t_i - 1370 / t_i^2 = -20.39$	450

فرضية الشتاء:

$$m_i = 1.078 \qquad \vartheta_i = 10^{\circ} c$$

بالتبديل في معادلة تغير الحالة نجد:

$$t_i = 0.0064\, a^2 / t_i^2 = 9.77 - 0.0001314\, a^2$$

النتائج في الجدول (4-14)

جدول (4-14) تغير الإجهاد بتغير الفتحة عند إجهاداهتزاز $5.5\,Kg/mm^2$ في فرضية الشتاء

t_i kg/mm^2	المعادلة	a (m)
9.77	$t_i - 9.77$	0
9.57	$t_i - 11.54 / t_i^2 = 9.44$	50
9.02	$t_i - 46.2 / t_i^2 = 8.46$	100
8.32	$t_i - 103.9 / t_i^2 = 6.8$	150
7.66	$t_i - 184 / t_i^2 = 4.514$	200
7.17	$t_i - 288 / t_i^2 = -1.557$	250
6.84	$t_i - 415 / t_i^2 = -2.05$	300
6.61	$t_i - 565 / t_i^2 = -6.33$	350
6.46	$t_i - 739 / t_i^2 = -11.25$	400
6.35	$t_i - 931 / t_i^2 = -16.84$	450

ب- فرضية الاهتزاز $5.5\,Kg/mm^2$:

فرضية الربيع: $t_i - 0.0085\, a^2 / t_i^2 = 7.21 - 0.000094\, a^2$

النتائج في الجدول (4-15)

جدول (4-15) تغير الإجهاد بتغير الفتحة عند إجهاد اهتزاز $6.5\,Kg/mm^2$ في فرضية الربيع

t_i kg/mm^2	المعادلة	a (m)
7.21	$t_i - 9.777.21$	0
7.369	$t_i - 21.36 / t_i^2 = 6.97$	50
7.71	$t_i - 85 / t_i^2 = 6.27$	100
8.05	$t_i - 19 / t_i^2 = 5.09$	150
8.35	$t_i - 341 / t_i^2 = 3.45$	200
8.58	$t_i - 534 / t_i^2 = -1.33$	250
8.76	$t_i - 769 / t_i^2 = -1.25$	300
8.9	$t_i - 1046 / t_i^2 = -4.31$	350
9.01	$t_i - 1367 / t_i^2 = -7.83$	400
9.09	$t_i - 1730 / t_i^2 = -11.8$	450

فرضية الشتاء:

$$t_i - 0.0046\, a^2 / t_i^2 = 10.77 - 0.00009\, a^2$$

النتائج في الجدول (4-16)

جدول (4-16) تغير الإجهاد بتغير الفتحة عند إجهاداهتزاز $5.6\,Kg/mm^2$ في فرضية الشتاء

$t_1 \quad kg/mm^2$	المعادلة	a (m)
10.77	$t_1 - 10.77$	0
10.63	$t_1 - 11.5/t_1^2 = 10.5$	50
10.27	$t_1 - 85/t_1^2 = 6.2$	100
9.75	$t_1 - 103.9/t_1^2 = 8.65$	150
9.19	$t_1 - 184/t_1^2 = 7.01$	200
8.71	$t_1 - 288/t_1^2 = -4.89$	250
8.32	$t_1 - 415/t_1^2 = -2.31$	300
8.03	$t_1 - 565/t_1^2 = -0.745$	350
7.818	$t_1 - 739/t_1^2 = -4.27$	400
7.66	$t_1 - 931/t_1^2 = -8.26$	450

إذا حولنا الجداول السابقة كافة إلى منحنيات بيانية فإننا نحصل على جزء من المنحنيات التصميمية للناقل المدروس Al/st (240/40) والشكل (4-16) يبين ذلك.

الشكل(4-16) المنحنيات التصميمية للتطبيق 2.

تطبيق 3:

خط نقل توتره 20kv ،استخدمت فيه نواقل من ألمنيوم فولاذ مقطع 95/15 خواصها، الوزن الطولي 0.386kg/m، الوزن النوعي $3.5\times10^{-3}\,kg/m.mm^2$ المقطع الحقيقي $110mm^2$، القطر الخارجي 13.4mm، عامل التمدد الخطي 18.5×10^{-6}، عامل

المرونة $7.7.Kg/m^2$ ، المطلوب إيجاد منحنيات العمل لهذا الناقل عند وسيط 1100 وعند درجات حرارة 40,20,0 درجة مئوية وعندما تأخذ الفتحة القيم 15,100,50,0 متر. علماً أن درجة الحرارة في الفرضية المعيارية ° c 55.

الحل:

معادلة تغير الحالة:

$$t_f + E.\alpha.\vartheta_f - \frac{E\gamma^2}{24}.\frac{a^2}{t_f^2} = t_i + E.\alpha.\vartheta_i - \frac{E\gamma^2.a^2}{24t_i^2}$$

أو :

$$t_i + -\frac{E\gamma^2.a^2}{24t_i^2} = t_i + E.\alpha(\vartheta_i - \vartheta_f) - \frac{Ea^2\gamma^2}{24t_i^2}$$

بالتعويض في المعادلة بالمعطيات لأحد الحالات وهي حالة $a = 50m, \vartheta = 20^\circ$:

$$t_f - \frac{7.7\times10^3(0.0035\times50)^2}{24t_f^2} = 1100\times0.0035 + 7.7\times10^3(55-20) - \frac{7.7\times10^3(0.0035\times50)^2}{24(1100\times0.0035)^2}$$

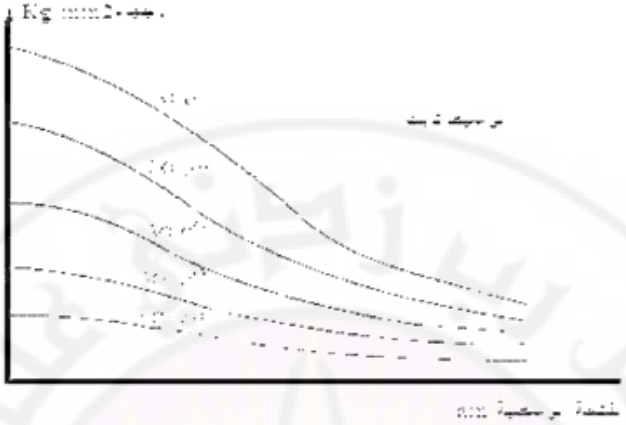
$$t_f - \frac{9.8}{t_f^2} = 8.17 \Rightarrow \qquad t_f = 8.32\,kg/mm^2$$

على فرض أن العدد الثابت في الطرف الأيمن من المعادلة هو B. يمكن ترتيب النتائج بالجدول (4-17) وبيانياً بالشكل (4-17).

جدول (4-17) نتائج الحسابات

درجة الحرارة C°	الفتحة الوسطية (m)	50	100	150	200
	معادلة تغير الحالة	$t-\frac{10}{t^2}=B$	$t-\frac{40}{t^2}=B$	$t-\frac{160}{t^2}=B$	$t-\frac{160}{t^2}=B$
0	B	11.06	8.92	5.36	-0.37
	t	11.14	9.38	7.13	5.55
20	B	8.17	6.03	2.47	2.52
	t	8.32	6.88	5.47	4.70
40	B	5.3	3.16	-0.4	-5.39

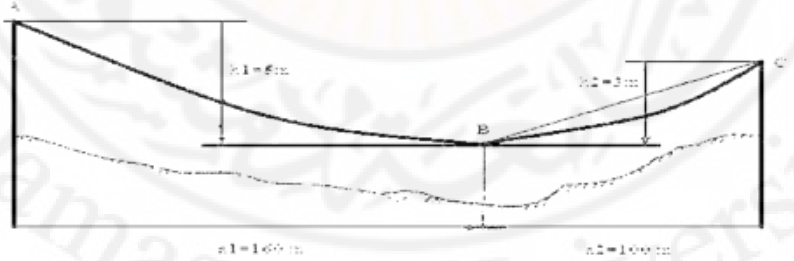
4.1	4.35	4.85	5.62	t	



الشكل(4-17) منحنيات العمل

تطبيق 3:

لدينا خط ألمنيوم فولاذ مقطع $116.2mm^2$، وزنه $0.437kg/m$ وزن سلسلة العازل الحامل للناقل 10 kg، قوة ضغط الريح على سلسلة العازل 10 kg، قوة ضغط الريح على المتر الطولي من الناقل $0.686kg/m$، على مسار هذا الخط يوجد ثلاثة حوامل تعليق A B C شكل (4-18)، حيث يقع الحامل الأوسط B تحت قوتي شد من الحاملين المجاورين A،C. المطلوب دراسة تأثير ذلك في زاوية التأرجح علماً أن إجهاد الشد على الناقل هو $6.48kg/mm^2$.



الشكل(4-18) ثلاثة حوامل متعاقبة ABC

الحل:

لنحسب قوة الشد الشاقولية الواقعة على الحامل B من تأثير الحاملين C،A.

$$T_v = ts\left(\frac{h_1}{a_1}+\frac{h_2}{a_2}\right) \Rightarrow = 6.48\times 116.2\left(\frac{5}{160}+\frac{3}{100}\right) = -46\,kg$$

الوزن الذاتي للناقل المؤثر في نقطة التعليق على الحامل B:

$$P_c = \omega\frac{a_1+a_2}{2} = 0.437\times(160+100)/2 = 57\,Kg$$

قوة ضغط الريح على النواقل:

$$F_C = \left(\frac{160+100}{2}\right)0.686 = 89.4\,kg$$

$$\Rightarrow \tan\vartheta = \frac{F_c + F_i/2}{P_c + P_i/2 + T_v} = \frac{89.4+5}{57+5-46} = \frac{94.4}{16} \geq \sqrt{3}$$

ولما كانت زاوية التأرجح ϑ إذ يجب أن لا تكون أكبر من 60 فإن هذا يعني أن الشرط $\tan\vartheta \leq \sqrt{3}$ غير محقق ويمكن معالجة ذلك باللجوء إلى الإجراءات التالية:

1- تغيير مواقع الحوامل على المقطع الطولي للخط إن أمكن ذلك.

2- استخدام عوازل شد بدلاً من عوازل التعليق في الحامل الأوسط.

3- استخدام تعليقة على شكل V.

4- رفع منسوب الحامل الأوسط ويعطى ذلك بالمقدار:

$$U = \frac{a_1 h_2 + a_2 hl}{a_1 + a_2}$$

$$\Rightarrow U = \frac{160\times 3 + 100\times 5}{160+100} = 3.77\,m$$

5- وضع ثقل إضافي مقداره 46 kg ومنه:

$$\tan\varphi = \frac{94.4}{62} < \sqrt{3}$$

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل الخامس

تصميم الحوامل

Design of Line supports

5-1 مقدمة:Introduction

يعد البرج أو الحامل من عناصر الخط الرئيسية ، إذ إن تصميمه بصورة صحيحة يعطي عامل أمان كبير في استثمار خط النقل. سندرس في هذا الفصل أنواع الحوامل والأبراج وطرق اختيارها أو التأكد من صحة تصميمها. في هذا الفصل أود الإشارة إلى أن مصطلح عمود سوف يستخدم من أجل أعمدة التوتر المنخفض والمتوسط و مصطلح برج سيستخدم من أجل أبراج التوترات العالية، أما مصطلح حامل فيطلق عموماً على كل من الأعمدة والأبراج .

[3],[20],[23],[24],[31],[44],[46],[47],[49],[55],[72],[78],[80],[86],[87], [91],[95],[97],[98],103]

5-2: تصنيف الحوامل :Supports Classification

آ- حسب المادة المصنوعة منها :

تقسم الحوامل بحسب المادة التي يصنع منها الحامل إلى ثلاثة أنواع رئيسية [14],[15],[16],[19].

- **الأبراج المعدنية:** تصنع الأبراج المعدنية على شكل هيكل مصنع من الزوايا أو الأنابيب الفولاذية المغلفنة. يوجد عمليا الكثير من النماذج المستخدمة في خطوط نقل القدرة الهوائية لمختلف مستويات التوتر .
- **الحوامل الإسمنتية المسلحة:** تصنع على شكل أعمدة من البيتون المسلح بتسليح متنوع وأطوال متعددة .
- **الحوامل الخشبية:** تصنع من جذوع الأشجار مثل الصنوبر بعد حقنها بمواد حافظة.

ب- تصنيف الحوامل حسب وظيفتها:

يمكن تقسيم الحوامل بحسب وظيفتها إلى :

-حوامل أو أبراج التعليق أو الاستقامة Suspension Supports:

تصمم هذه الحوامل بحيث تتحمل ثقل النواقل وضغط الريح على النواقل وجسم الحامل وأيضاً عزم الفتل الناجم عن انقطاع أحد الأطوار. الشكل (5-1) يبين نماذج لهذا النوع من الحوامل .

الشكل(5-1) نموذج برج استقامة

-حوامل الشد Strain Supports:

لاختصار تكاليف خط نقل القدرة ولتسهيل تركيب النواقل تركب عدة حوامل تعليق بين حاملي شد نظراً لأن كلفة حامل الشد أكبر من كلفة حامل التعليق. يصمم حامل الشد بطريقة يتحمل فيها حمولة برج التعليق بالإضافة إلى العزوم الناتجة عن انقطاع طور واحد أو أكثر (طور واحد بحسب المواصفات الفرنسية وطور مع ناقل التأريض بحسب المواصفات الإنكليزية). الشكل(5-2) يبين نموذج حامل شد.

الشكل(5-2) نموذج حامل شد

- حوامل الزاوية Angle Supports:

تصمم حوامل الزاوية بطريقة تتحمل فيها القوى المطبقة على برج استقامة بالإضافة إلى القوى الناشئة عن شد النواقل و قوى ضغط الريح عند وجود زاوية انحراف في مسار الخط. الشكل(5-3) يبين نموذج برج زاوية .

الشكل(5-3) نموذج برج زاوية

-حوامل التفرع Branching-off Supports:

يجب أن تتحمل هذه الحوامل القوى الناشئة عن خط النقل الرئيسي الذي تحمله بالإضافة إلى قوى الشد الناشئة عن الخط الفرعي الذي يبدأ عندها، أي إن حوامل التفريع تعتبر حوامل بداية خط لخط النقل الفرعي. الشكل(5-4) يبين حامل تفرع .

الشكل(5-4) نموذج حامل تفرع

-حوامل النهاية الميتة Dead-end Supports:

توضع هذه الحوامل عند نهاية الخط وبدايته، وتصمم بطريقة تتحمل فيها انقطاع جميع النواقل على أحد طرفي الحامل. الشكل(5-5) يبين نموذج حامل نهاية ميتة .

الشكل(5-5) نموذج حامل نهاية ميتة

-حوامل خاصة:Special Supports

تستعمل لأغراض خاصة مثل حوامل تبديل النواقل وحوامل عبور الأنهار والوديان والسكك الحديدية، وتتميز بمتانتها بالإضافة إلى تنوع أشكالها بحيث تلائم الغرض الذي صنعت لأجله.

ج- تصنيف الحوامل حسب توتر خط النقل:

- حوامل التوتر المنخفض.
- حوامل التوتر المتوسط.
- حوامل التوتر العالي.
- حوامل التوتر العالي جداً.

د- تصنيف الحوامل حسب عدد النواقل التي تحملها:

- **أنواع تحمل ثلاثة نواقل (دارة وحيدة):**

تتوزع النواقل إما بشكل شاقولي أو أفقي أو مثلثي.

- **أنواع تحمل ستة نواقل (دارة مضاعفة):**

تتوزع أفقياً على ثلاثة أذرع أو بشكل أفقياً على ذراع واحد.

- **أنواع تحمل 9 أو 12 ناقل أو أكثر:**

في بعض الأحيان يمكن أن تكون توترات النواقل التي يحملها الحامل مختلفة ولكن يشترط ألا يحصل تداخل بينها يؤثر في وظيفة كل ناقل. الشكل (5-6) يبين ترتيب النواقل في خطوط 230 kv.



الشكل (5-6) ترتيب النواقل في خطوط 230 kv

5-3 القوى الخارجية على الحوامل: External forces at Supports

تؤثر في الحوامل مجموعة من القوى الخارجية هي التالية :

آ- القوى الأفقية : Horizontal Forces

تتمثل القوى الأفقية المؤثرة على الحوامل بما يلي:

1- قوى ضغط الريح على النواقل :

ينتقل تأثير قوة ضغط الريح الأفقية على النواقل إلى الحامل، لذلك عند تصميم الحامل يجب أخذ تأثير هذه القوى بعين الاعتبار، وتحسب وفق العلاقات التالية :

$$F_c = p_c d l_c \qquad (5-1)$$

حيث :

F_c : قوة ضغط الريح على الناقل وتقدر بـ kg .

p_c : قوة ضغط الريح على واحدة السطوح وتقدر بـ $48kg/m^2$.

d : قطر الناقل ويقدر بـ m.

l_c: طول الناقل يقدر بـ m ، ويحسب من العلاقة (2-5)

$$l_c = \frac{a1 + a2}{2} \qquad (5-2)$$

$a1, a2$: طول الفتحتين الجانبيتين للحامل تقدر بـ m.

العلاقة (1-5) تعطي قوة ضغط الريح على ناقل واحد ولحساب إجمالي قوى ضغط الريح على النواقل تستخدم العلاقة(3-5) .

$$F_{con-total} = nF_c + F_n \qquad (5-3)$$

$F_{con-total}$: قوى ضغط الريح الكلية على النواقل تقدر بـ kg.

n : عدد نواقل الأطوار دون الخط الحيادي .

F_c : قوة ضغط الريح على ناقل الطور الواحد kg.

Fn : قوة ضغط الريح على الناقل الأرضي kg.

2- قوى ضغط الريح على سلاسل العوازل .

تحسب قوى ضغط الريح على العوازل من العلاقة (4-5).

$$F_i = n_i . p_i . d_i l_i \qquad (5-4)$$

F_i : قوة ضغط الريح الكلية على سلاسل العوازل kg.

n_i : عدد سلاسل العوازل .

p_i : قوة ضغط الريح على واحدة السطوح kg/m^2 وتقدر بـ $72kg/m^2$.

d_i : قطر سلسلة العازل m.

l_i : طول سلسلة العازل .

3- قوى ضغط الريح على الحامل :

نميز هنا بين قوى ضغط الريح على الأعمدة الخشبية والإسمنتية من جهة ومن جهة أخرى على الأبراج المعدنية .

-حساب قوة ضغط الريح على الأعمدة :

بالنسبة للأعمدة الخشبية والإسمنتية تحسب قوى ضغط الريح عليها من العلاقة (5-5).

$$F_p = p_p \left(\frac{d1 + d2}{2} \right) h_p \qquad (5-5)$$

F_p : قوة ضغط الريح على جسم العمود kg .

p_p : قوة ضغط الريح على واحدة السطوح kg/m^2 وتقدر بـ $72kg/m^2$ أو $120kg/m^2$ لكن الرقم الثاني يؤمن عامل أمان أعلى.

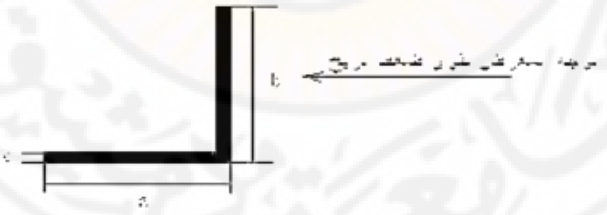
$d1, d2$:قطري العمود عند سطح الأرض وعند قمته على التوالي ، حيث أن قطر العمود متدرج ويتناقص بدءا من سطح الأرض حتى قمته ، لذلك في حسابات قوة ضغط الريح على العمود وبالتقريب نأخذ متوسط القطرين ،وتقدر بـ m .

h_p :ارتفاع العمود من سطح الأرض وحتى قمته m .

-حساب قوة ضغط الريح على الأبراج المعدنية :

من أجل حساب قوة ضغط الريح على برج معدني يجب أن يتوفر لدينا مخطط البرج الهندسي مبينا عليه مقياس الرسم .عملية الحساب تتم وفق الخطوات التالية :

– ترقم عقد عوارض البرج وقوائمه وكذلك عوارض حاملة العوازل بالتسلسل بدءا" من قمة البرج وحتى مستوي الأرض. المقصود بقوائم البرج هي الزوايا المعدنية الموجودة في الزوايا الأربعة للبرج والممتدة من أسفل البرج حتى قمته، أما العوارض فهي الزوايا المعدنية التي تشبك القوائم مع بعضها. الشكل(5-7) يبين مقطع عرضي في كل من القوائم والعوارض .



الشكل(5-7) مقطع زاوية معدنية

إن لمقطع الزوايا المعدنية ثلاثة أبعاد كما هو واضح من الشكل $(a \times b \times c)mm$. أما طول الزوايا فيؤخذ من مخطط البرج حيث يقاس بالمسطرة ويضرب بمقياس الرسم. الخواص الميكانيكية لهذه الزوايا تؤخذ من جداول خاصة حيث أن عددها كبير ومتنوع ولامجال لإيرادها هنا، وهي من اهتمام اختصاص الهندسة المدنية – قسم المعدنية. الشكل (5-8) يبين طريقة ترقيم عقد برج معدني.



الشكل(5-8) طريقة ترقيم برج معدني

- ينظم جدول يحتوي على المعلومات التالية :

-رقم عقدة البداية والنهاية لكل عارضة أو قائمة من الوجه المعرض لضغط الريح من البرج كما هو موجود على مخطط البرج.

-أبعاد مقطع كل قائمة أو عارضه $a \times b \times c\, mm$.

-طول العارضة أو القائمة m وهو الطول المعرض لضغط الريح.

- الطول المعرض للتقوس ، يؤخذ من مخطط البرج.

- عزم العطالة ، يؤخذ من جداول المعدنية.

- قوة ضغط الريح على العارضة أو القائمة وتحسب من العلاقة (5-6) .

$$F_A = p_t . b . l_o \qquad (5-6)$$

حيث :

F_A : قوة ضغط الريح على وجه العارضة أو القائمة المعرض لضغط الريح كما هو مبين على الشكل (5-7).

p_t : قوة ضغط الريح على واحدة السطوح المستوية $120 kg/m^2$.

b : قياس جناح العارضة m ، الشكل(5-7) .

l_o : طول العارضة أو القائمة m.

الجدول (5-1) يبين الشكل لهذا الجدول.

جدول (5-1) نموذج جدول حساب قوة ضغط الريح على برج معدني

الرقم المتسلسل للعارضة	رقم عقدة البداية	رقم عقدة النهاية	أبعاد مقطع العارضة	طول العارضة	الطول المعرض للتقوس	عزم العطالة	قوة ضغط الريح على العارضة أو القائمة من العلاقة(5-6)

بعد الانتهاء من إعداد الجدول تجمع أرقام العمود الأخير فنحصل على قوة ضغط الريح الأفقية على الوجه المعرض لضغط الريح من البرج، وبما أن البرج يتشكل من وجهين متقابلين فإن قوة ضغط الريح على الوجه الثاني المقابل للوجه المعرض لضغط الريح تؤخذ بمقدار نصف قوة ضغط الريح على الوجه الأول. لأن شدة الرياح تتكسر وتتناقص قوتها عندما تصطدم بالوجه الأول .

ب- القوى العمودية أو الشاقولية: Vertical Forces

-وزن النواقل :

تحسب أوزان النواقل من العلاقة (5-7).

$$W_{con-total} = (n_c.w_c + w_{c-n}).l_c \qquad (5-7)$$

$W_{con-total}$: وزن النواقل بالإضافة إلى وزن الناقل الأرضي kg.

n_c: عدد نواقل الأطوار.

w_c: وزن المتر الطولي من نواقل الأطوار kg/m.

w_{c-n}: وزن المتر الطولي من الناقل الأرضي kg/m .

l_c: طول الناقل ويحسب من العلاقة (5-2) ويقدر بـ m.

-وزن سلاسل العوازل :

يحسب وزن سلاسل العوازل من العلاقة (5-8):

$$W_i = n_i.w_i \qquad (5-8)$$

حيث:

W_i: الوزن الكلي سلاسل العوازل kg.

n_l : عدد سلاسل العوازل .

w_l : وزن سلسلة العازل الواحدة.

-وزن الأعمدة:

يشمل فقط وزن العمود ويرمز له بالرمز Wp ويقدر بـ kg.

- **وزن الأبراج :**

لحساب وزن البرج يتم الاستفادة من خطوات حساب قوة ضغط الريح على البرج من ترقيم عقد البرج وتحديد أبعاد و طول كل من العوارض والقوائم، ثم يحسب وزن القائمة أو العارضة من العلاقة (9-5).

$$W_A = w_a l_a \qquad (5-9)$$

W_A : وزن العارضة أو القائمة kg.

w_a : وزن المتر الطولي من الناقل kg/m.ويؤخذ من جداول الزوايا المعدنية .

l_a : طول العارضة m.

بعد ذلك ينظم الجدول (5-2).

جدول (5-2) حساب وزن برج معدني

الرقم المتسلسل للعارضة	رقم عقدة البداية	رقم عقدة النهاية	أبعاد مقطع العارضة	طول العارضة	وزن المتر الطولي من العارضة	حساب وزن العارضة من العلاقة(5-9)

بعد ذلك يتم جمع أرقام العمود الأخير فنحصل على الوزن الكلي للبرج.

-وزن قاعدة الحامل :

تحسب أبعاد القاعدة وفق طرق سترد لاحقاً ويحسب عندئذ وزن القاعدة الكلي ويرمز له بالرمز W_{base} ويقدر بـ kg.

ج- قوى الناتجة عن فرق المنسوب:

تؤثر هذه القوى تأثيراً مباشراً على سلاسل العوازل وكمحصلة نهائية تؤثر في الحامل، ولقد تم مناقشتها في الفقرة (4-7) من الفصل الرابع من هذا الباب .

د- قوى ناتجة عن انقطاع أحد الأطوار :

عند انقطاع أحد النواقل تنشأ في البرج قوى فتل وانعطاف حول محور البرج الشاقولي ، وسندرس تأثير هذه القوى على عناصر الحامل في فقرات قادمة من هذا الفصل. عند تصميم الحوامل تؤخذ عوامل أمان في تصميم الحوامل حسب المواصفات البريطانية، قيم هذه العوامل هي التالية :

2.5 : للأبراج في حالة التحميل الأعظمي .

1.5 : للأبراج في حالة الحمولة الناتجة عن انقطاع أحد الأطوار .

3.5 : للأعمدة الخشبية.

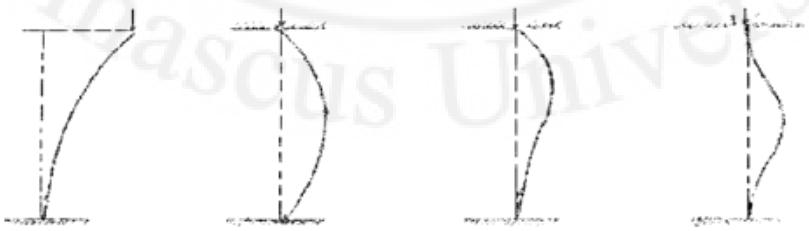
2.5 : للأعمدة البيتونية .

4-5 :القوى الداخلية في الحوامل:Interior Forces in Supports

تمثل القوى الداخلية قوى ردود الأفعال للحوامل أو عناصرها (عوارض، قوائم ، حاملات عوازل) اتجاه القوى الخارجية التي تؤثر عليها. إن القوى الخارجية سواء كانت أفقية أم عمودية تولد قوة ضغط على الحوامل وعناصرها تسبب انحناءها أو تقوسها وقد تسبب انهيارها كلياً أحياناً. إن الحوامل وعناصرها ستقاوم تأثير القوى الخارجية بقوة ردود أفعال سنطلق عليها مصطلح قوة التقوس. يتم حساب قوى التقوس باستخدام علاقات مثل علاقة أويلر، علاقة تيتماير ، وعوامل التقوس مثل عامل ريزل.

5-4-1 : حساب القوى الداخلية في الحوامل: Interior Forces Calculations

عندما نعرض قضيباً معدنياً مثبتاً شاقولياً إلى قوة ضغط شاقولية P تنطبق على محوره انطباقاً متزايداً تدريجياً ، فإن هذا القضيب سيبقى محافظاً على استقراره حتى لحظة وصول قوة الضغط p إلى قيمة حرجة P_{cr} عندها يبدأ القضيب بالقوس. الشكل (5-9) يبين عدة حالات تقوس للقضيب .



الشكل(5-9) حالات تقوس قضيب معدني عند تعرضه إلى قوة ضغط شاقولية منطبقة على محوره

تتعين القوة الحرجة لقضيب ما بتعيين نسبة النحافة *Slenderness Ratio* من العلاقة(10-5):

$$\lambda = \frac{\mu . l}{r_{\min}} \qquad (5-10)$$

حيث :

l : طول القضيب m.

$r_{\min}$: نصف قطر عطالة المقطع العرضي للقضيب في مستوي العطالة الأصغر ويقدر بـ m، ويحسب من العلاقة:

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{S}} \qquad (5-11)$$

حيث:

$I_{\min}$: عزم العطالة الأصغري للمقطع العرضي ويؤخذ من جداول خاصة بالمادة التي صنع منها الحامل .

S : مساحة المقطع العرضي m^2.

μ : عامل نقص الطول Length Reduction factor أو عامل التثبيت، قيم هذا العامل تتعلق بطريقة تثبيت القضيب. الشكل (5-9) يبين قيم μ في حالات التثبيت المختلفة.

يتم حساب القوة الحرجة P_{cr} أو الإجهاد الحرج σ_{cr} بعدة طرق من أهمها:

أ- معادلة أويلر Euler:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(\mu l)} \qquad (5-12)$$

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{S} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \qquad (5-13)$$

حيث

E :عامل يونغ .

في هذه الحالة يفترض أن الإجهادات في القضيب المنقوس لا تتجاوز حد المرونة وتطبق المعادلة ضمن الحالات التي تكون فيها $\lambda \leq 105$.

ب- نظرية العامل المماسي (نظرية Shankly):

في حالة الأعمدة القصيرة $\lambda \leq 105$ يرافق تقوس العمود إجهادات يمكن أن تتجاوز حد المرونة، هنا يجب تطبيق معادلة أويلر بعد استبدال عامل المرونة المماسي E_t بعامل يونغ E (المماس لمنحني الإجهادات والاستطاعة النسبية في المجال اللدن لمخطط الإجهاد) ويكون:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E_t}{\lambda^2} \qquad (5-14)$$

جـ- نظرية العامل المزدوج (نظرية Enesser-Shankly):

تستند هذه النظرية إلى أن الإجهادات في الجزء المضغوط تتجاوز حد المرونة، لذلك يجب استخدام عامل المرونة المماسي E_t، أما في الجزء المشدود فإن الإجهادات تبقى دون حد المرونة وهنا يجب تطبيق عامل المرونة الأول E عامل يونغ. إن نظرية العامل المزدوج تقضي بتعريف عامل مرونة جديد يسمى بعامل المرونة النسبي E_r. تتعلق قيمة هذا العامل بشكل المقطع حيث يمكن أن نميز الحالات التالية :

- حالة مقطع بشكل حرف H:

$$E_r = \frac{2EE_t}{E+E_t} \qquad (5-15)$$

- حالة مقطع بشكل حرف مستطيل:

$$E_r = \frac{4EE_t}{\left(\sqrt{E}+\sqrt{E_t}\right)^2} \qquad (5-16)$$

ثم يعوض E_r بمعادلة Euler فيكون:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E_r}{\lambda^2} \qquad (5-17)$$

د- نظرية تيتماير Tytmayer:

يعطى الإجهاد الحرج بالمعادلة:

$$\sigma_{cr} = a\left(1 - b\lambda + c\lambda^2\right) \qquad (5-18)$$

حيث :

a,b,c : ثوابت تتعلق بنوع المادة وتعطى حسب المواصفات الفرنسية بالجدول (5-3).

هذه المعادلة مستنتجة من تجارب عديدة في ظروف تحميل مختلفة، وتعتبر من أدق المعادلات وأكثرها انتشاراً وخاصة في البلدان الأوروبية. إن قيمة λ تحدد المعادلة التي يجب استخدامها كما يلي:

$\lambda \leq 105$: تعتبر معادلة Euler من أدق المعالات لحساب الحمولة الحرجة .

$\lambda \approx 90$: تستخدم معادلة العامل المماسي المزدوج .

$\lambda \approx 70$: تستخدم نظرية العامل المماسي .

λ صغيرة جداً : تستخدم معادلة Tetmayer .

جدول (5-3) ثوابت نظرية تيتماير

المادة	a	b	c	حدود λ	
				λ_{min}	λ_{max}
الخشب	2.93	0.00662	0	1.8	100
حديد الفونت	77.60	0.01546	0.00007	5	80
فولاذ طري	31.00	0.00368	0	10	105
حديد عادي	30.30	0.00426	0	10	112
فولاذ قاس	33.30	0.00185	0	10	90

هـ- عامل التقوس (عامل نقص المقطع) Buckling Factor :

إذا تعرض الحامل إلى قوى ضغط فإنه سيتعرض إلى تقوس، هذا يعني أن إجهاد الضغط ازداد عن حده المسموح به ويعبر عن هذه الزيادة بواسطة عامل ريزل Resal.

$$K_v = 1 + m\lambda^2 \qquad (5-19)$$

$$= 1 + \frac{m\ell^2 S}{I}$$

m : ثابت تعلق بطبيعة المادة ويعطى بالجدول (5-4) حسب المواصفات الفرنسية.

ℓ :الطول المعرض للتقوس.

I :عزم العطالة.

S : المقطع.

إذن تصبح معادلة الإجهاد في حالة الضغط المركزي:

$$\sigma = K_r \frac{P}{S} \qquad (5-20)$$

P : القوة الضاغطة.

جدول (5-4) عامل ريزل (عامل التقوس)

المادة	m	حدود λ	
		λ_{min}	λ_{max}
حديد الفونت	0.007	20	150
فولاذ طري	0.00014	20	250
حديد عادي	0.00016	20	250
خشب	0.00023	20	200

5-5 :الحسابات التصميمية للحوامل:Designing calculations of Supports

5-5-1 الأعمدة الخشبية Wood Supports:

آ- خواص الأعمدة الخشبية ومواصفاتها:

تعد الحوامل الخشبية من الحوامل الشائعة عند الاستخدام في خطوط نقل القدرة الكهربائية، وذلك لخفة وزنها ومتانتها وسهولة تركيبها وتوفرها بكثرة. تستعمل الحوامل الخشبية في خطوط النقل ذات التوتر المنخفض والمتوسط والعالي حتى 230kv وذلك بسبب خواص العزل الممتازة التي يتمتع بها الخشب بالمقارنة مع بقية المواد المستعملة في بناء الحوامل (فولاذ- إسمنت. . .)، حيث يزيد توتر انفراغ النواقل flashover على جسم الحوامل الخشبية على $2.1kv/cm$ في حالة استعمال العوازل الثابتة التي تكون على شكل مسمار Insulator pin وعن $3.3kv/cm$ في حالة استعمال العوازل المعلقة string insulator. علماً أنه في الحوامل المعدنية يؤخذ توتر الانفراغ $1kV/cm$. على الرغم من أن الحوامل الخشبية تتميز عن بقية أنواع الحوامل بقلة نفقات إنشائها إلا أن نفقات صيانتها أعلى بقليل نظراً لقصر عمرها بالنسبة لعمر النواقل الذي يتراوح بين 30-50 سنة. لتخفيض نفقات صيانة الحوامل الخشبية تتم معالجة الحامل بمواد كيميائية لزيادة مقاومته ضد التلف وتأثير الحرارة سعياً لإطالة عمره. يختلف عمر الخشب المعالج باختلاف المواد المستعملة في المعالجة بالإضافة إلى طريقة المعالجة وتستخدم في معالجة الحوامل المواد اللاعضوية وتشمل كبريتات النحاس وكلور الزئبق وكلور التوتياء.

. . الخ، أو المواد العضوية وتشمل: الزفت- القطران- الكريوزيت ويعتبر الأخير من أفضل مواد المعالجة. وتعالج الأعمدة الخشبية بطريقتين هما المعالجة في الخزانات المفتوحة بدون ضغط والثانية المعالجة في خزانات الضغط حيث تخضع الأعمدة والخزان إلى ضغط هواء يتراوح بين 5 و8 ضغط جوي. لقد صنفت النظم الأميركية (American National Standard Institute)(ANCI) أحمال الأعمدة الخشبية من الجليد إلى خفيف ومتوسط وثقيل الجدول (5-5).

جدول(5-5) تصنيف أحمال الأعمدة الخشبية من الجليد.

NESC Loading District	Ice(Radial Thickness)	Wind (Transverse)
Light	0.00 inches	9 lsb (60 mph)
Medium	0.25 inches	4 lbs (40 mph)
Heavy	0.50 inches	4 lbs (40 mph)

وصنفت الأشجار التي تصنع منها الأعمدةإلى ستة أصناف كما في الجدول (5-6).

جدول(5-6) أنواع الأشجار التي تصنع منها الأعمدة الخشبية.

Tree Species
Southern Yellow Pine
Douglas Fir
Northern Red Pine
Ponderosa Pine
Western red Cedar
Northern White Cedar

بالإضافة إلى ذلك وضعت هذه النظم تصنيفات للأعمدة حسب القوة الأفقية التي يتحملها العمود في قمته كما في الجدول (5-7). أما بقية المواصفات مثل قطر العمود عند القمة وقطره عند مستوى الأرض والعزم الذي يتحمله العمود عند سطح الأرض فهي مبينة في الجدول (5-8) وفق النظم الأميركية NESC (National Electrical Safety Code) . المواصفات في الجدول (5-8) مبنية على معلومات الجدول (5-5) وللأحمال الخفيفة حسب الظروف الجوية في منطقتنا أي حمولة جليد تساوي الصفر وسرعة رياح 60mph.

جدول (5-7) أصناف الأعمدة الخشبية حسب القوة الأفقية التي يتحملها العمود في قمته .

Wood Pole Class Size (Nominal Strength)

Class Size	Lateral (Horizontal) Load, lbs. (applied 2 ft. from tip)	Class Size	Lateral (Horizontal) Load, lbs. (applied 2 ft. from tip)
H6	11,400	1	4,500
H5	10,000	2	3,700
H4	8,700	3	3,000
H3	7,500	4	2,400
H2	6,400	5	1,900
H1	5,400	6	1,500
		7	1,200
		9[2]	740
		10	570

جدول (5-8) مواصفات الأعمدة الخشبية وتحويل الواحدات .

in	inch or inches (1 inch = 2.54 centimeters = 0.0254 meters)
in-lb	inch-pounds (inch - pounds) (1 inch-pound = 0.370685 newtons)
ft	foot or feet (1 foot = 0.3048 meters)
ft-lb	foot-pounds (feet - pounds) (1 foot-pound = 1.448222 newtons)

ب- القوى الخارجية المؤثرة في الأعمدة الخشبية:

في الفقرة (5-3) من هذا الفصل استعرضنا بالتفصيل القوى التي تؤثر في الحوامل . في الحسابات التصميمية نعتبر أن نقطة تأثير القوى الأفقية والعمودية كلها مركزة في قمة العمود. العلاقة (5-21) تبين حساب محصلة القوى الأفقية :

$$F = \frac{F_1 h_1 + F_2 h_2 + F_3 h_3 + \ldots + F_n h_n}{h} \qquad (5-21)$$

أما محصلة القوى الشاقولية P تكون مركزة شاقولياً في قمة الحامل. الشكل (5-10) يبين محصلة القوى الأفقية والشاقولية على عمود خشبي .



الشكل (5-10) القوى المؤثرة في العمود البسيط

ج- الحسابات التصميمة للأعمدة الخشبية:

يقصد بالحسابات التصميمة اختيار العمود المناسب لخط النقل قيد الدراسة. يتم ذلك بحساب القوى الخارجية المؤثرة على العمود ثم حساب قوى ردود الأفعال للعمود، وحتى يكون اختيار العمود صحيحا يجب أن تكون قوى ردود الأفعال أكبر من القوى الخارجية بعامل أمان لا يقل عن 1.5.

1- حساب العمود البسيط ذي المقطع المتجانس :

العمود البسيط هو عمود مفرد يغرز في الأرض على عمق محدد h_0 ، هذا العمق يحسب من العلاقة (5-22)

$$h_0 = \frac{h}{10} + 0.60 \qquad (5-22)$$

h : ارتفاع العمود فوق سطح الأرض m .

الجدول (5-9) يبين عمق الغرز لأنواع مختلفة من الأعمدة الخشبية .

جدول (5-9) عمق الغرز للأعمدة الخشبية

الارتفاع فوق سطح الأرض	عمق الغرز	ارتفاع العمود الكلي
(m)	(m)	(m)
6.60	1.40	8
7.50	1.50	9
8.40	1.60	10
9.30	1.70	11
10.20	1.80	12
11.10	1.90	13
12.00	2.00	10

تستعمل الأعمدة البسيطة كحوامل تعليق أو استقامة نظراً لضعف متانتها إذا ما قورنت بالأنواع الأخرى. يبين الشكل (5-11) عموداً بسيطاً واقعاً تحت تأثير القوى الشاقولية P والقوى الأفقية F.



الشكل (5-11) العمود البسيط ذو المقطع المتجانس

إن المقطع الخطر للعمود والذي يظهر عنده العزم الأعظمي M يقع تحت خط الأرض وعلى عمق يساوي $\frac{h_o}{6}$ نظراً لتأثير قوى التربة العرضانية عليه. يعطى الإجهاد العظمي بالعلاقة:

$$\sigma_{max} = K_r \frac{P}{S} + \frac{F(h + h_o/6)}{Z} \qquad (5-23)$$

حيث:

Z :عامل المقطع.

S : مقطع العمود cm^2 .

K_r عامل ريزل أو عامل التقوس الذي يعبر عن التقوس المرافق للضغط ، وحتى لا ينهار العمود يجب أن يكون:

$$\sigma_{max} \le \frac{\sigma_a}{n} \qquad (5-24)$$

حيث:

σ_{max} : جهد انهيار الخشب.

n :عامل أمان قيمته تتراوح مابين (3-5) ، وفي الأعمدة ذات المقطع الدائري ذات القطر d فإن:

$$Z = \frac{\pi}{32} d^3 = 0.1 d^3 \qquad (5-25)$$

$$\Rightarrow \sigma_{max} = K_r \frac{4P}{\pi d^2} + \frac{F(h + h_o/6)}{0.1 d^3} \qquad (5-26)$$

$$\sigma_{max} = K_r \frac{4P}{\pi d^3} + \frac{10M}{d^3} \qquad (5-27)$$

2- حساب العمود البسيط ذي المقطع المتغير:

الشكل (5-12) يبين عموداً دائرياً ذا مقطع متغير وواقع تحت تأثير قوة أفقية F مركزة في القمة، يعطى قطر العمود في نقطة تبعد X عن رأسه بالعلاقة:

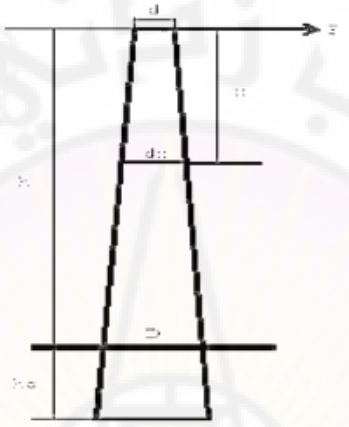
$$d_x = d + vx \qquad (5-28)$$

$$v = \frac{D-d}{h} \qquad (5-29)$$

$$\Rightarrow d_x = d + \frac{D-d}{h}.x \qquad (5-30)$$

الإجهاد عند المقطع d_x:

$$\sigma_x = \frac{32M}{\pi d_x^3} = \frac{32F}{\pi}.\frac{x}{(d+vx)^3} \qquad (5-31)$$



الشكل (5-12) عمود بسيط ذو مقطع متغير

لمعرفة المقطع الخطر أو المقطع الذي يكون فيه الإجهاد أعظمياً نشتق σ بالنسبة إلى X ونعدم المشتق فنحصل على قيمة X عند المقطع الخطر ومنها نحسب σ_{max} أي:

$$\sigma_x = \frac{(d+vx)^3 - 3(d+vx)^2 dx}{(d+vx)^3}\frac{32F}{\pi} = 0 \qquad (5-32)$$

$$(d+vx)^3 - 3(d+vx)^2 d\,x = 0 \qquad (5-33)$$

$$\Rightarrow x = \frac{d}{2v} = \frac{d}{2(D-d)} \qquad (5-34)$$

في العلاقة (5-33) وإذا فرضنا $x = h$ نجد :

$$D = 1.5d \qquad (5-35)$$

هذا يعني أن إجهاد الانحناء الأعظمي يظهر عند مقطع يكون فيه قطر العمود مساوياً (1.5) مرة من قطره في القمة. وهذا الأمر يكون ساري المفعول طالما أن هذه النقطة

تظهر فوق خط الأرض، ما عدا ذلك يمكن من الناحية العملية افتراض خط الأرض هو نقطة الإجهاد الأعظمي. في العلاقة (5-33) يمكن ملاحظة ما يلي:

- عندما يكون $x \le h$، هذه الحالة تقابل الوضع $D \ge 1.5d$ عندئذٍ يتم حساب الإجهاد الأعظمي بالتعويض عن $x = \frac{d}{2v}$ في العلاقة (5-31):

$$\sigma_{max} = \frac{32F}{\pi} \frac{dh}{2(D-d)\left(d + \frac{D-d}{h}\frac{dh}{2(D-d)^3}\right)} \qquad (5-36)$$

$$\sigma_{max} = \frac{32F}{\pi} \frac{dh}{2(D-d)(1.5d)^3} \qquad (5-37)$$

$$\sigma_{max} = \frac{5Fd}{v(1.5d)^3} kg/cm^2 \qquad (5-38)$$

$$\sigma_{max} = 1.5\frac{Fh}{d^2(D-d)} kg/cm^2 \qquad (5-39)$$

- عندما يكون $x \ge h$، هذه الحالة تقابل الوضع الذي يكون فيه $S \le 1.5$، هنا يحسب الإجهاد الخطر بتعويض x = h في معادلة الإجهاد (5-31) :

$$\sigma_{max} = \frac{32}{\pi}.\frac{Fh}{d^3} kg/cm^2 \qquad (5-40)$$

إذا أردنا أن نأخذ الضغط الجانبي للتربة على العمود بالحسبان فإن علاقة عزم الانحناء الناتج من جداء القوة الأفقية F بالارتفاع h تبقى علاقة خطية بعد اختراق العمود لخط الرض بل يظهر العزم العظمي على عمق $\frac{h_o}{6}$ من سطح الأرض، وإذا افترضنا أن عمق الغرز يعادل $\frac{h}{s}$ فإن عزم الانحناء الأعظمي يصبح مساوياً:

$$M = Fh(1+1/(6+5) = 1.035Fh) \qquad (5-41)$$

في تلك الحالة وعندما تكون $x > h + \frac{h_o}{6}$ يتم حساب الإجهاد الأعظمي بتعويض $x = \frac{h}{2v}$ في العلاقة (5-30) أي لا يحصل أي تغيير في الإجهاد العظمي بالمقارنة

مـع الســابق أمــا عنـدما تكـون $x \geq h + \frac{h_o}{6}$ فيحسـب الإجهـاد الأعظمـي بتعـويض $x = h + \frac{h_o}{6}$ في معادلة الإجهاد فنحصل على:

$$\sigma_{max} = \frac{32}{\pi}\frac{1}{d^3}1.035\ Fh\,kg/cm^2 \qquad (5-42)$$

والجدول (5-10) يعطينا بعد المقطع الخطر عن القمة لعمود متغير المقطع

جدول (5-10) بعد المقطع الخطر عن قمة العمود

القطر في القمة	بعد المقطع لعدة قيم إلى V		
	6 mm/m	7 mm/m	8 mm/m
(cm)	(m)	(m)	(m)
12	10	8.10	7.50
13	10.80	9.30	8.10
14	11.75	10.00	8.80
15	12.60	10.80	9.40
16	13.40	11.50	10.00
17	14.20	12.20	10.60
18	15.00	12.90	11.30

3- اختيار الحوامل البسيطة على التقوس والانحراف:

بعد تصميم الحامل البسيط يجرى اختباره على التقوس والانحراف، وتستخدم في اختبار التقوس معادلة أويلر ، وحتى يكون اختيار العمود صحيحاً يجب أن تتحقق العلاقة:

$$P \leq P_{cr}/n \qquad (5-43)$$

حيث:

P :هي القوة الشاقولية المؤثرة.

P_{cr} : قوة التقوس المحسوبة من معادلة أويلر.

n :عامل أمان مناسب.

أما الانحراف y_o في نقطة تطبيق القوة الأفقية F (النهاية الحرة للعمود) فيعطى بالعلاقة (5-44) كما هو مبين في الشكل (5-13):

$$y_o = F\ell^3/3EI\,(cm) \qquad (5-44)$$

ويعطى الانحراف عند أي نقطة تبعد x عن النهاية المثبتة للعمود بالعلاقة:

$$Y = Y_o\left[\frac{3}{2}\left(\frac{x}{t}\right)^2 - \frac{1}{2}\left(\frac{x}{t}\right)^3\right](cm) \qquad (5-45)$$

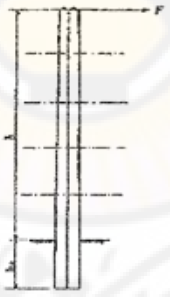


الشكل (5-13) الانحراف في القضبان المعرضة لقوى ضغط محورية

4-حساب العمود المزدوج (Double pole):

الشكل (5-14) يبين حاملاً مزدوجاً وهو مؤلف من عمودين مثبتين بعضهما مع بعض بشكل وثيق جداً في عدة نقاط، يحسب هذا الحامل حساباً مماثلاً للحامل البسيط ولكن يؤخذ بعين الاعتبار ما يلي:

$$A = 2\frac{\pi}{4}d^2 = \frac{\pi}{2}d^2 \qquad (5-46)$$



الشكل (5-14) العمود المزدوج

عزم العطالة:

$$I_x = 2\frac{\pi}{64}d^4 = \frac{\pi}{32}d^4 \qquad (5-47)$$

$$I_y = 2\left(\frac{\pi D^2}{64} + \frac{\pi d^2}{4} \times \frac{D^2}{4}\right) = \frac{10\pi}{64}d^4 \qquad (5-48)$$

عامل المقطع:

$$Z_y = \frac{10\pi}{64} d^3 / d = \frac{5\pi}{32} d^3 \qquad (5-49)$$

$$\cong 0.5 d^3 \qquad (5-50)$$

أي إن عامل المقطع على المحور y يعادل خمسة أمثال عامل المقطع للعمود المفرد:

$$Z_x = \frac{\pi}{32} d^4 / \frac{d}{2} = \frac{\pi d^3}{16} \qquad (5-51)$$

$$\cong 0.2 d^3 \qquad (5-52)$$

أي إن عامل المقطع على المحور x يعادل ضعف عامل المقطع للعمود المفرد. وبناءً على ذلك يكون الإجهاد الناتج عن عزم الانحناء (M):

أ- عندما تكون القوة في الاتجاه (X):

$$\sigma = \frac{M}{0.5 d^3} = \frac{2M}{d^3} \qquad (5-53)$$

ب- عندما تكون القوة في الاتجاه (Y):

$$\sigma = \frac{M}{0.2 d^3} = \frac{5M}{d^3} \qquad (5-54)$$

من العلاقات (5-53)،(5-54) يتحمل العمود المزدوج ضعف ما يتحمله العمود المفرد. تعد العلاقات السابقة صحيحة عندما يكون العمودان مثبتين بعضهما مع بعض تثبيتاً وثيقاً جداً، حيث يوجد خابور ومسمار تثبيت كل $50cm$ تقريباً لمنع أي انزياح محوري بين العمودين. في الحالة التي يكون فيها التثبيت متوسطاً يؤخذ عامل المقطع في الاتجاه X بحدود $0.3d^3$ وعندما يكون التثبيت ضعيفاً يؤخذ عامل المقطع في الاتجاه (X) بحدود $0.2d^3$. يمكن تحديد القوة الأفقية F التي يمكن تطبيقها على قمة العمود بعد تحديد الإجهاد المسموح به للخشب كما يلي:

$$M_u = \sigma \frac{S\pi d^3}{32} - M_y \qquad (5-55)$$

حيث:

M_u : العزم المفيد .

M_y : العزم الذي تسببه قوة ضغط الريح على جسم العمود، ومنه:

$$F = \frac{M_x}{h} \qquad (5-56)$$

5- العمود المسنود أو المشدود بمرس Braced pole:

يستعمل هذا الحامل في الزوايا، ويقع العمود المسنود تحت تأثير القوة الأفقية F والقوة الشاقولية P كما هو مبين في الشكل (5-15-أ).



الشكل (5-15) العمود المسنود أو المشدود بمرس

تحسب العزوم والقوى على هذا العمود كما يلي:

$$F' = F\frac{h}{h'} = \frac{M}{h'} \qquad (5-57)$$

$$P = \frac{F}{\tan\alpha} = \frac{M}{h'}.\frac{h'}{a} = \frac{M}{a} \qquad (5-58)$$

$$R = \frac{F'}{\sin\alpha} = \frac{M}{h'\sin\alpha} = \frac{M}{h'}\sqrt{1+\left(\frac{h'}{a}\right)^2} \qquad (5-59)$$

إن القوة R المؤثرة في العمود المائل هي قوة ضغط وتسبب إجهاد ضغط على هذا العمود ويجب أن نتحقق فيما إذا كان العمود يخضع لتقويس أم لا، ويمكن معرفة ذلك بالاستعانة بمعادلة أويلر:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(\mu h)^2} \qquad (5-60)$$

قيمة عامل التثبيت في هذه الحالة $\mu = \frac{1}{\sqrt{2}}$ ، وحتى يكون اختيار العمود صحيحاً" يجب أن يتحقق:

$$R \le P_{cr} / n \qquad (5-61)$$

حيث:

n :عامل أمان ويؤخذ حسب المواصفات الإنكليزية بحدود 3.5.

إن القوة الصافية F التي تؤثر في العمود الشاقولي تظهر عندما يكون العمود مشدوداً" بمرس كما في الشكل (5-15-ب). هنا لا يختلف تحليل هذه الحالة عن الحالة السابقة إلا في خضوع العمود الشاقولي من الحامل لقوة ضغط بدلاً من قوة شد تتألف من المركبة الشاقولية لقوة الشد R الواقعة على المرس مضافاً إليها القوة الشاقولية P الناتجة عن أوزان النواقل والعوازل والجليد . . إلخ. في هذه الحالة:

$$P = \frac{F}{\tan\alpha} \qquad (5-62)$$

بعد ذلك يجري اختبار العمود الشاقولي من الحامل على القوس بتطبيق معادلة أويلر حيث تؤخذ القوة الشاقولية الصافية تساوي:

$$N = W + P/\tan\alpha \qquad (5-63)$$

وللتحقق من مقطع العمود المسنود أو المشدود بمرس عند نقطة الدعم يجب أن تتحقق الشروط اللازمة لتوازن الحامل المشدود شكل (5-16-أ). إن الانحراف الذي تسببه القوة F المؤثرة في رأس الحامل عند نقطة اتصال المرس بالحامل هو الانحراف نفسه الذي تسببه المركبة الأفقية لقوة الشد المطبقة على المرس، في هذه الحالة يمكن تطبيق علاقتي الانحراف (5-42) و (5-45) فنحصل على ما يلي:

$$\frac{Fh^3}{2EI}\left(\frac{h'^2}{h^2} - \frac{h'^3}{3h^3}\right) = \frac{Fh'^3}{3EI} \qquad (5-64)$$



الشكل (5-16) حساب الإجهاد على العمود المسنود والمشدود في نقطة الدعم

$$\Rightarrow P' = F\left[(1+3h'/(2a))\right] \qquad (5-65)$$

قوة الشد في المرس:

$$R_G = F'/\sin\alpha \qquad (5-66)$$

هذه القوة تسبب قوة ضاغطة P على العمود الشاقولي تعطى بالعلاقة(5-74):

$$P = F'/\tan\alpha \qquad (5-67)$$

إن الإجهاد الأعظمي المطبق على مقطع العمود عند نقطة تثبيته مع المرس هو الإجهاد الناتج عن عزم الانحناء في هذه النقطة من تأثير القوة F مضافاً إليه إجهاد الضغط الناتج عن القوى الشاقولية:

$$\sigma = \pm\frac{Fb}{Z} + \frac{W + F'\cot\alpha}{S} \qquad (5-68)$$

S :مقطع العمود عند نقطة اتصاله بالمرس.

W : مجموعة أوزان النواقل والعوازل وتوابعها.

Z :عامل المقطع.

بعد ذلك يجرى التحقق من إجهاد التقوس بمقارنته مع إجهاد الانضغاط.

$$\sigma c = \frac{W + F' \cot \alpha}{S} \qquad (5-69)$$

بالإجهاد الذي يحسب من خلال معادلة أويلر علماً أن عامل التثبيت $\mu = 1/\sqrt{2}$.في حالة العمود المسنود (شكل (5-16-ب)) يمكن تطبيق العلاقات نفسها التي تخص العمود المشدود بمرس ولكن بإشارات معكوسة ومنه فإن قوة الضغط في عمود السند:

$$R_B = -F\left[1 + 3b/(2h')\right]/\sin\alpha \qquad (5-70)$$

$$P = F'/\tan\alpha \qquad (5-71)$$

يقع الإجهاد الأعظمي على العمود في نقطة الإسناد ويعطى بالعلاقة:

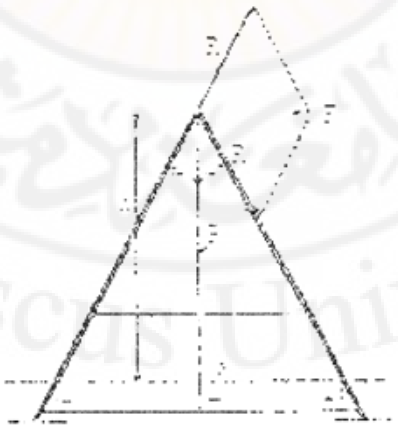
$$\sigma = \pm\frac{Fb}{Z} + \frac{W - F' \cot \alpha}{S} \qquad (5-72)$$

عندما تكون $W < F' \cot \beta$ يتعرض العمود للرفع ويفضل في هذه الحالة وضع دعامة في أسفل هذا العمود، بينما يتعرض عمود السند لإجهاد تقوس وعليه يجب أن يكون:

$$R_B \le \frac{2\pi^2 EI}{mc^2} \qquad (5-73)$$

6- الحامل على شكل حرف A:

يستعمل هذا الحامل كحامل زاوية، الشكل (5-17) يبين هذا الحامل حيث تؤثر فيه القوة الأفقية F الواقعة في مستوى الحامل والقوة العمودية P.



الشكل (5-17) الحامل A

- تأثير القوة الأفقية F:

تولد القوة الأفقية F ضغطاً في العمود الأيمن وشداً في العمود الأيسر ونظراً لتناظر العمودين حول الخط الشاقولي المار بالقمة تكون قوتا الشد والضغط متساويتين، ومنه:

$$R = \frac{F}{2\sin\alpha} - \frac{F}{2a}\sqrt{h^2 + (a/2)^2} \qquad (5-74)$$

حيث:

$$\sin\alpha = \frac{a}{\sqrt{h^2 + (a/2)^2}} \qquad (5-75)$$

- تأثير القوة الشاقولية P:

تؤثر القوة الشاقولية P بالتساوي في قائمتي الحامل وتسبب ضغطاً متساوياً في العمودين/ ومنه:

$$Q = \frac{P}{2\cos\alpha} = \frac{P}{2h}\sqrt{h^2 + (a/2)^2} \qquad (5-76)$$

وعليه فإن قوة الضغط العظمى على العمود الأيمن هي:

$$Q + R = \frac{F}{2\sin\alpha} + \frac{P}{2\cos\alpha} \qquad (5-77)$$

علماً أن قوة الضغط على العمود الأيسر هي (R = Q).

7- الحامل H البسيط Un-braced H-Frame:

يتألف النموذج البسيط من هذا الحامل من عمودين مثبتين بعارضة أفقية من الأعلى لحمل العوازل. يستخدم هذا الحامل في الخطوط التي تصمم بفتحات كبيرة أو خطوط التوتر العالي التي تتطلب تباعداً كبيراً بين النواقل. الشكل (5-18) يبين نموذجاً لهذا النوع من الحوامل مع القوى الرئيسة الخارجية المطبقة عليه. تؤثر في الحامل عند كل ناقل القوة الأفقية F التي تمثل قوة ضغط الريح على الناقل وتوابعه، والقوة الشاقولية P التي تمثل الوزن الذاتي للناقل ووزن الجليد المتوضع ووزن سلسلة العازل وتوابعها. تمثل القوة F_w قوة ضغط الريح على العمودين معاً تساوي 1.5 مرة قوة ضغط الريح المؤثرة في عمود واحد وذلك بسبب التغطية الحاصلة بين العمود المواجه للريح مباشرة والعمود

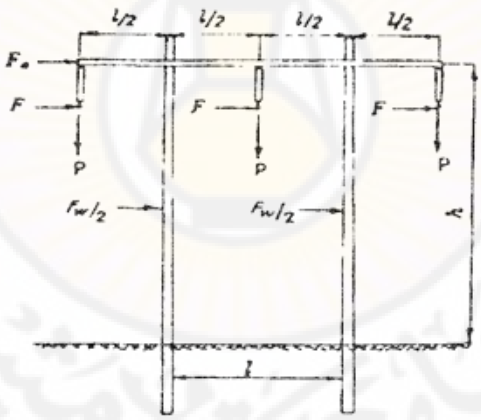
الآخر وتوزع بالتساوي على العمودين، كما تمثل القوة F_w ضغط الريح على حاملة العوازل. نظراً لتناظر الحامل فيحسب العمود الواحد من الحامل وكأنه عمود بسيط تؤثر فيه نصف مجموع القوى المؤثرة في كامل الحامل أي تؤثر فيه قوة شاقولية تساوي $\frac{3}{2}P$ وقوة أفقية مطبقة عند رأسه $\frac{3F+F_w}{2}$ وقوة أفقية أخرى هي $\frac{F_w}{2}$ مطبقة في مركز ثقل العمود وعليه فإن الإجهاد الواقع على مقطع العمود عند خط الأرض يحسب كالتالي:

$$M=\left(\frac{3F+F_w}{2}\right).h+\frac{F_w}{2}.\frac{h}{2} \qquad (5-78)$$

$$\sigma=\frac{32M}{\pi d^3}+\frac{(3/2)P}{\pi\left(d^2/4\right)} \qquad (5-79)$$

حيث:

d :يمثل قطر العمود عند خط الأرض (أحياناً يؤخذ القطر الوسطي للعمود).



الشكل (5-18) حامل H البسيط

- حساب العارضة الحاملة للعوازل:

تؤثر في العارضة القوة F (قوة ضغط الريح على النواقل والعوازل.) والقوة F_w قوة ضغط الريح على العارضة نفسها. إن العزم الأعظمي المطبق على العارضة يحدث عند نقطة تثبيتها بالعمود ويعطى بـ:

$$M_{max}=P.\frac{l}{2} \qquad (5-80)$$

ومنه فإن الإجهاد الأعظمي المطبق على العارضة:

$$\sigma_{max} = \frac{3F + F_a}{A} + \frac{Pt/2}{Z} \qquad (5-81)$$

حيث:

Z :عامل المقطع للعارضة.

8- الحامل H المسلح Braced H-Frame:

هذا الحامل هو حامل H بسيط لكن مدعم بتسليحة تتألف من عارضتين متصالبتين أو من عارضتين أفقيتين شكل (5-19). تحسب العارضة الحاملة للعوازل كما تم حسابها في الحامل البسيط، أما في حساب الأعمدة فنتبع التحليل السابق نفسه ونفترض أن العمودين يتحملان بالتساوي القوة الأفقية والشاقولية المطبقة عليهما حيث تتحول الدراسة إلى حساب عمود من الأنواع المسنودة أو المشدودة.



الشكل (5-19) حامل H المسلح

من العلاقة (5-66) نجد أن القوة المطبقة على القضيب الأفقي من تسليحة الدعم هي:

$$F' = \frac{F}{2}\left(1 + \frac{3b}{2a}\right) \qquad (5-82)$$

أما القوة في القضيب المتصالب من تسليحة الدعم:

$$F_B = F'/\sin\beta \qquad (5-83)$$

والقوة الشاقولية المؤثرة في العمود:

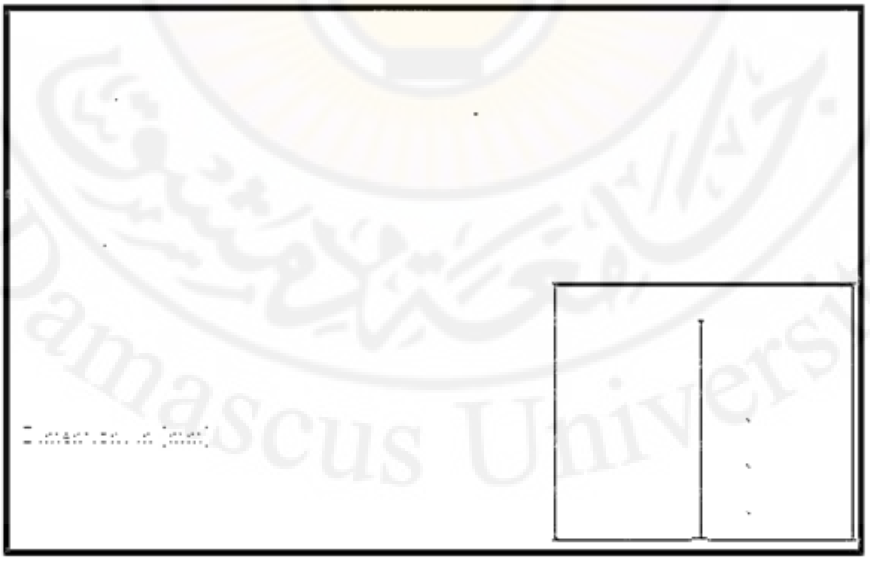
$$F_v = F'\cot\beta \qquad (5-84)$$

يظهر الإجهاد الأعظمي في مقطع العمود عند نقطة اتصاله بالقسم العلوي من التسليحة.

9- نماذج حاملات العوازل المستخدمة في الأعمدة الخشبية:

تستخدم في خطوط نقل القدرة الهوائية ذات الأعمدة الخشبية وفي مختلف مستويات التوتر نماذج من حاملات العوازل الخشبية والمعدنية. الشكل (5-20) يبين حاملة عوازل معدنية معتمدة في شبكاتنا المحلية، أما الشكل (5-21)، يبين نموذج لحاملة عوازل خشبية.

الشكل(5-20) نماذج حاملات عوازل معدنية مستخدمة في خطوط 20 Kv



الشكل(5-21) نموذج حاملة عوازل خشبية أفقية لأعمدة الاستقامة

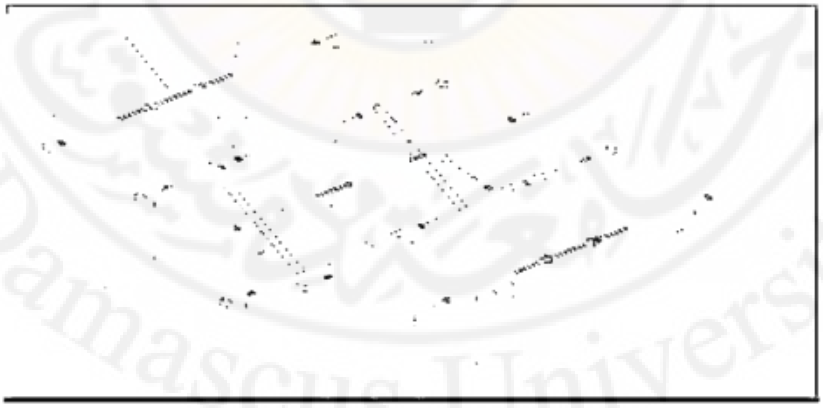
2-5-5 الحوامل البيتونية المسلحة Concrete Poles:

تتميز الأعمدة البيتونية عن الأعمدة الخشبية والمعدنية بمقاومتها للعوامل الجوية وعدم تأثرها بالمواد العضوية الموجودة في التربة، إضافة إلى ذلك تكون نفقات صيانتها قليلة نسبياً كما أن عمرها طويل نسبياً ويصل حتى 50 سنة. تصنع الأعمدة البيتونية المسلحة من الإسمنت والرمل بالإضافة إلى قضبان حديد التسليح، وهي مواد رخيصة نسبياً إذا ما قورنت بمواد الحوامل الأخرى، ولذلك تكون تكاليفها أقل بـ 30-40% من تكاليف الحوامل المعدنية. تتميز الأعمدة البيتونية المسلحة بمرونتها وقدرتها الكبيرة على الانحناء قبل أن تنهار فعمود طوله 18m يمكن أن ينحرف عن وضعه الشاقولي بمقدار 80cm قبل أن ينهار، أما برج فولاذي بالارتفاع نفسه لا يمكنه الانحراف أكثر من 15cm. من مساوئ هذه الأعمدة وزنها الكبير مما يزيد في نفقات النقل بالإضافة إلى صعوبته نظراً لأنه يجب أن ينقل العمود بكامل طوله، وهو ينهار بسهولة لدى أي اصطدام جسم آخر به كالسيارة مثلاً، وهذه الخاصية تجعل من غير المأمون إنشاء خطوط نقل تستخدم فيها الأعمدة البيتونية قرب الطرق العامة. تصنع هذه الأعمدة باستخدام قوالب خاصة حيث تسكب خليطة البيتون في القلب وترص بوساطة هزاز، أو تصنع باستخدام القوة الطاردة المركزية بدلاً من الهزاز. كل هذه الطرق لا يمكن تنفيذها إلا في المعامل عدا طريقة الصب في القوالب الثابتة في مكان التركيب حيث يمكن صبها مع حاملات العوازل مباشرة في مكان تركيب العمود. يستعمل في تسليح هذه الأعمدة الفولاذ $(37kg/mm^2)$ أو $(50kg/mm^2)$ في حالة صب العمود في مكان التركيب، أما في المعامل فتفضل الأنواع ذات المتانة العالية حتى $(150kg/mm^2)$. قبل صب الإسمنت يجهز هيكل حديد التسليح وتلحم قضبانه بعضها مع بعض جيداً ثم يبدأ سكب خليطة البيتون. تستعمل الحوامل البيتونية المسلحة في خطوط شبكات التوتر المنخفض والمتوسط والعالي. وقد صممت في روسيا حوامل مشدودة بالأمراس من البيتون المسلح المسبق الإجهاد استخدمت في خطوط نقل توترها 500kv. يشترط في قضبان فولاذ التسليح أن تكون خالية تماماً من آثار الصدأ، ولذلك تفضل الأنواع المغلفنة منها، إذ يزداد حجم الفولاذ عندما يصدأ مما يؤدي إلى انهيار البيتون حوله، وتعرف هذه الظاهرة بمرض

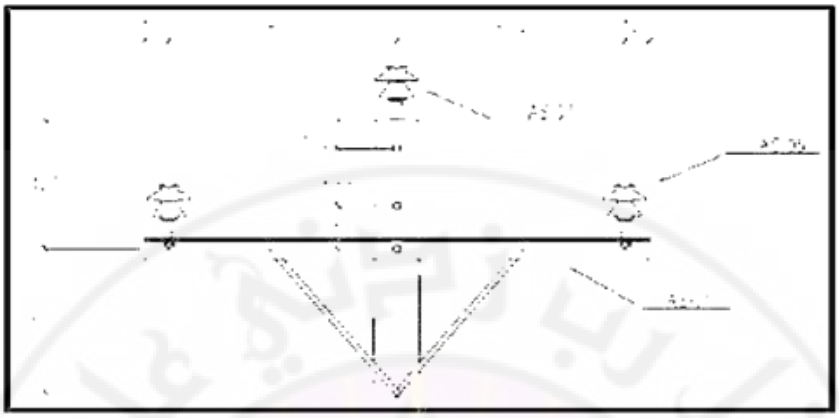
البيتون المسلح. تتكون خلطة البيتون المستعمل في الأعمدة من400 kg إسمنت،0.4 متر مكعب رمل، و 0.8 متر مكعب بحص. هذه الخلطة تتصلب ببطء. عموما يجب أن لا يعمل البيتون على إجهاد يتجاوز 0.28% من مقاومة الانهيار للبيتون غير المسلح الذي يملك التركيب نفسه بعد90 يوماً من الصب. تختلف خواص البيتون الناتج حسب نوع الإسمنت المستعمل. لا تختلف طريقة التحقق من صحة اختيار الحوامل البيتونية المسلحة لخط هوائي ما عن طريقة التحقق من صحة اختيار الحوامل الخشبية. إذ أن حسابها يمكن أن يتم بالطرائق التي وردت سابقاً في حساب الحوامل الخشبية. كما في حالة الحوامل الخشبية ا فإن الجهات الصانعة للأعمدة البيتونية تزود المستهلك بجداول تصميمية تبين الأنواع المختلفة لها كما تبين القوى التي يمكن أن تتحملها. الجدول (5-11) يبين أنواع هذه الأعمدة والقوى التي تتحملها عند القمة حسب 20-SDMS-03. كما في الأعمدة الخشبية يمكن أن نميز بين عدة نماذج من الأعمدة البيتونية، فمنها المفرد البسيط والمزدوج والمسنود والمشدود بمرس،إضافة إلى نماذج على شكل حرف H و A. من أجل إختيار العمود المناسب يجب حساب القوى الخارجية الأفقية المؤثرة على العمود ومقارنتها مع القوة التي يتحملها العمود عند القمة الموجودة في الجدول، وحتى يكون الإختيار صحيح يجب أن تكون قوة تحمل العمود أكبر من القوى الخارجية بمقدار عامل أمان لايقل عن 1.5. هذه الطريقة في الاختيار سهلة وتستخدم في حالة الأعمدة المفردة، أما إذا استخدم عمود اسمنتي مزدوج أو عمود على شكل حرف H او A أو عمود مسنود أو مشدود، في هذه الحالة يجب اتباع التحليل الوارد في فقرة الأعمدة الخشبية. الأشكال من (5-22) وحتى (5-27) تبين نماذج حاملات العوازل المعدنية المستخدمة مع الأعمدة الإسمنتية في خطوط التوتر المتوسط .

جدول(5-11)مواصفات الأعمدة البيتونية

Pole type	Brief description	Top Ø (mm)	Butt Ø (mm)	Pole weight (kg)	Design Load (kg)	Ultimate load (kg)	Embedded length (m)
CP10	10m Concrete pole, Low voltage	190	323	690	600	1,200	1.5
CP13S	13m Concrete pole, Medium Voltage, Single Circuit	260	433	1650	1,100	2,200	2.0
CP14S	14m Concrete pole, Medium Voltage, Single Circuit	260	447	1800	1,100	2,200	2.0
CP14D	14m Concrete pole, Medium Voltage, Double Circuit	350	537	2960	1,700	3,400	2.0
CP15S/D	15m Concrete pole, Medium Voltage, Single & Double Circuit	260	460	1980	1,100	2,200	2.0
CP10SFS	10m Concrete pole, Self-Support, Single Circuit	450	583	3600	3,500	7,000	1.5
CP13SFS	13m Concrete pole, Self-Support, Single Circuit	600	773	7100	6,000	12,000	2.0
CP14SFS	14m Concrete pole, Self-Support, Single Circuit	600	787	7740	6,000	12,000	2.0
CP15SFS	15m Concrete pole, Self-Support, Single Circuit	600	800	8390	6,000	12,000	2.0



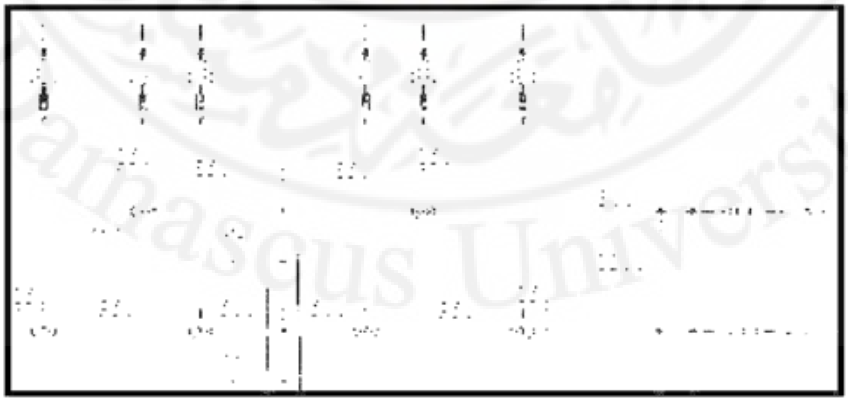
الشكل(5-22) نموذج حاملة عوازل معدنية أفقية تستخدم في أعمدة الشد ،الزاوية، بداية ونهاية خط



الشكل(5-23) أبعاد تركيب حاملة عوازل معدنية أفقية تستخدم في أعمدة التفريع



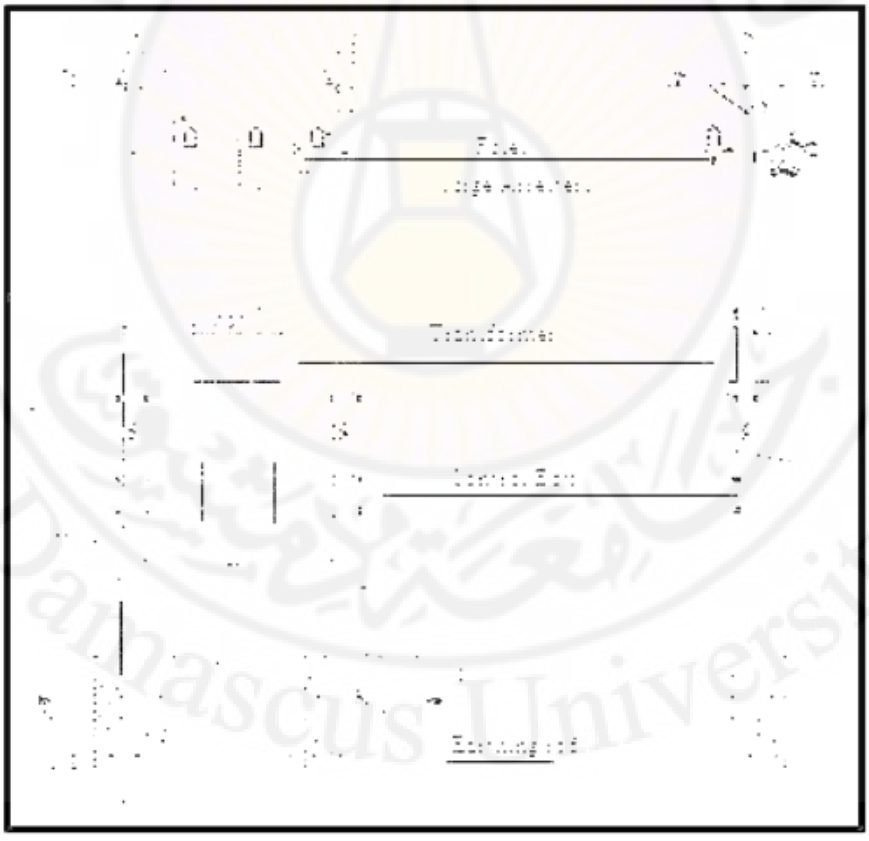
الشكل(5-24) أبعاد تركيب حاملة عوازلزل معدنية أفقية تستخدم في أعمدة الشد



الشكل(5-25) أبعاد حاملة عوازل معدنية أفقية تستخدم في أعمدة بداية ونهاية خط ذو دارة ثنائية



الشكل(5-26) أبعاد حاملة عوازل معدنية أفقية تستخدم في أعمدة الشد.الزاوية في خط ذو دارة ثنائية



الشكل(5-27) حاملة عوازل معدنية أفقية تستخدم في مركز تحويل هوائي في شبكات توزيع التوتر المنخفض

5-5-3 الأعمدة الفولاذية: Steel Supports

تستخدم الأعمدة المعدنية الفولاذية في مختلف الشبكات الكهربائية (توزيع – نقل) ولمختلف مستويات التوتر، كما وتستخدم استخداماً واسعاً في إنارة الشوارع والملاعب الرياضية، وقداستخدمت مؤخرا كحوامل للعنفات الريحية. تصنع هذه الأعمدة من الفولاذ المغلفن بمقاطع دائرية أو مضلعة. الشكل(5-28) يبين نموذج أعمدة معدنية مستخدمة في خطوط التوتر العالي 230 Kv .

الشكل(5-28) نموذج عمود معدني مستخدم في خطوط التوتر العالي 230 Kv

الشكل(5-29) يبين حاملة عوازل لعمود معدني توتر عالٍ

الشكل(5-29) يبين حاملة عوازل لعمود معدني توتر عالٍ

الشكل(5-30) يبين نماذج أعمدة مستخدمة في شبكات التوزيع كأعمدة شد .

الشكل(5-30) نماذج أعمدة معدنية مستخدمة في خطوط التوتر المتوسط

الجدول (5-12) يبين مواصفات الأعمدة الفولاذية المضلعة المستخدمة في شبكات توزيع التوتر المنخفض والمتوسط.

جدول (5-12) مواصفات الأعمدة المعدنية المضلعة المستخدمة في شبكات توزيع التوتر المنخفض والمتوسط حسب 20-SDMS-01

Pole Type	Brief Description	Top Across Flat Dia. (mm)	Bottom Across Flat Dia. (mm)	Shaft Thick-ness (mm)	Shaft Weight (kg)	Ultimate Load (Kg)	Color Code (No. of Bands)
OC10	10m Steel Pole. Low Voltage	100	345	4	227	803	White (1)
OC13S	13m Steel Pole. Medium Voltage. Single Circuit	155	410	4	377	1530	Red (1)
OC14S	14m Steel Pole. Medium Voltage. Single Circuit	155	430	4	420	1564	Yellow (1)
OC14D	14m Steel Pole. Medium Voltage. Double Circuit	155	600	4	544	2431	Yellow (2)
OC15S/D	15m Steel Pole. Medium Voltage. Single & Double Circuit	155	450	4	466	1545	Green (1)
OC10SFS	10m Steel Pole. Self Support. Low voltage	230	590	5	527	4968	White (3)
OC13SFS	13m Steel Pole. Self Support. Single Circuit	230	750	7	1143	8781	Red (3)
OC14SFS	14m Steel Pole. Self Support. Single Circuit	230	790	7	1282	8874	Yellow (3)
OC15SFS	15m Steel Pole. Self Support. Single Circuit	230	830	7	1429	8898	Green (3)

تستخدم الأعمدة المعدنية لتكون أعمدة استقامة، شد أو زاوية. إن الزاوية التي يتحملها العمود تختلف حسب عدد الدارات التي يحملها. الجدول (5-13) يبين زوايا الانحراف التي يتحملها عمود معدني يحمل دارة مفردة، أما الجدول(5-14) يبين زوايا الانحراف التي يتحملها عمود معدني يحمل دارة ثنائية. المواصفات التصميمية للأعمدة المعدنية مبينة في الجدول (5-15) الذي يبين المواصفات التصميمية للأعمدة المعدنية التي تحمل دارة واحدة وهي المستخدمة في شبكات توزيع التوتر المنخفض والمتوسط، أما

الجدول(5-16) يبين المواصفات التصميمية للأعمدة المعدنية التي تحمل دارة ثنائية مستخدمة في شبكات توزيع التوتر المتوسط فقط.

جدول (5-13) الزوايا التي يتحملها عمود معدني مضلع يحمل دارة مفردة

Pole Type	Pole Structure	Angle of Deviation (Degrees)	No. of Stays/Location From Top (mm)	Buried Depth (mm)	Crossarm Location From Top (mm)
OC10	Intermediate, LV	0 - 15	N/A	1500	N/A
	Medium Angle, LV	16 - 60	1 @ 150	1500	N/A
	Heavy Angle, LV	61 - 90	1 @ 150	1500	N/A
	Terminal, LV	-	1 @ 150	1500	N/A
OC13S OC14S OC15S/D	Intermediate, MV	0 – 5	N/A	2000	50
	Light Angle, MV	6 – 15	1 @ 250	2000	50
	Medium Angle, MV	16 –60	1 @ 250 & 1 @ 350	2000	50
	Heavy Angle, MV	61 – 90	1 @ 250 & 1 @ 350	2000	50
	Section, MV	-	2 @ 250 along the line	2000	50
	Terminal, MV	-	1 @ 250 & 1 @ 350	2000	50
OC10SFS *	Self-Support, LV	16 - 90	N/A	1500	N/A
OC13SFS * OC14SFS * OC15SFS *	Self-Support, MV	6 - 90	N/A	2000	50

* For the installation of the above specified angles without guy support.

جدول (5-14) الزوايا التي يتحملها عمود معدني مضلع يحمل دارة ثنائية

Pole Type	Pole Structure	Angle of Deviation (Degrees)	No. of Stays/Location From Top (mm)	Buried Depth (mm)	Crossarm Location From Top (mm)
OC14D	Intermediate, MV	0 – 5	N/A	2000	50, 1250 & 2450
	Light Angle, MV	6 – 15	1 @ 250 & 1 @ 350	2000	50, 1250 & 2450
	Medium Angle, MV	16 –60	1 @ 250, 1 @ 350, 1 @ 2650 & 1 @ 2750	2000	50, 1250 & 2450
	Heavy Angle, MV	61 – 90	1 @ 250, 1 @ 350, 1 @ 2650 & 1 @ 2750	2000	50, 1250 & 2450
	Section, MV	-	2 @ 250 & 2 @ 2650 along the line	2000	50, 1250 & 2450
	Terminal, MV	-	1 @ 250, 1 @ 350, 1 @ 2650 & 1 @ 2750	2000	50, 1250 & 2450
OC15S/D	Intermediate, MV	0	N/A	2000	50, 1250 & 2450
	Light Angle, MV	1 – 15	1 @ 250 & 1 @ 350	2000	50, 1250 & 2450
	Medium Angle, MV	16 –60	1 @ 250, 1 @ 350, 1 @ 2650 & 1 @ 2750	2000	50, 1250 & 2450
	Heavy Angle, MV	61 – 90	1 @ 250, 1 @ 350, 1 @ 2650 & 1 @ 2750	2000	50, 1250 & 2450
	Section, MV	-	2 @ 250 & 2 @ 2650 along the line	2000	50, 1250 & 2450
	Terminal, MV	-	1 @ 250, 1 @ 350, 1 @ 2650 & 1 @ 2750	2000	50, 1250 & 2450

جدول(5-15) المواصفات لعمود معدني يحمل دارة واحدة

Description		10m	12m, 13m, 14m and 15m
Span (m)	Basic	50	100
	Wind	55	110
	Weight	75	150
Wind Pressure (N/m²)	On Pole	1200	1200
	On Conductors at 10°C	600	600
Factor of Safety	Vertical Loads	1.5	1.5
	Transverse Loads	1.5	1.5
	Longitudinal Loads	1.5	1.5
	Ultimate Load	1.5	1.5
	Conductor Minimum Breaking Strength	3.0	3.0
Planting Depth (m)		1.5	2.0
Type of Structure	Unstayed	Intermediate (0-15°)	Intermediate (0-5°)
	Stayed	-	Light Angle (6-15°)
	Stayed	Med. Angle (16-60°)	Med. Angle (16-60°)
	Stayed	Heavy Angle (61-90°)	Heavy Angle (61-90°)
	Stayed	-	Section
	Stayed	Terminal	Terminal
	Unstayed	Self-Support (90°)	Self-Support (90°)
Allowable Deflection at Pole Top		5% of exposed length	5% of exposed length
Conductors	Phase	120 mm² Quadruplex Cable (3 – Insulated AAC for Phase & 1 – Bare ACSR AW Messenger-Neutral)	170 mm² ACSR AW (Merlin) in horizontal configuration 70 mm² ACSR AW (Quail) for Branch
	Earth Wire	N.A	70 mm² ACSR AW (Quail) below crossarm
Stay Wires	Minimum Breaking Load	65 kN	101 kN
	Max. Tension	90 % of Min. Breaking Load	90 % of Min. Breaking Load
	Minimum Angle to the Pole	37°	37°

جدول (5-16) المواصفات التصميمة لعمود معدني يحمل دارة ثنائية

Description		14m	15m
Span (m)	Basic	100	100
	Wind	110	110
	Weight	150	150
Wind Pressure (N/m²)	On Pole	1200	1200
	On Conductors at 10°C	600	600
Factor of Safety	Vertical Loads	1.5	1.5
	Transverse Loads	1.5	1.5
	Longitudinal Loads	1.5	1.5
	Ultimate Load	1.5	1.5
	Conductor Minimum Breaking Strength	3.0	3.0
Planting Depth (m)		2.0	2.0
Type of Structure	Unstayed	Intermediate (0-5°)	Intermediate (0°)
	Stayed	Light Angle (6-15°)	Light Angle (1-15°)
	Stayed	Med. Angle (16-60°)	Med. Angle (16-60°)
	Stayed	Heavy Angle (61-90°)	Heavy Angle (61-90°)
	Stayed	Section	Section
	Stayed	Terminal	Terminal
Allowable Deflection at Pole Top		5% of exposed length	5% of exposed length
Conductors	Phase	170 mm² ACSR AW (Merlin) in vertical configuration	170 mm² ACSR AW (Merlin) in vertical configuration
	Earth Wire	70 mm² ACSR AW (Quail) below crossarm	70 mm² ACSR AW (Quail) below crossarm
Stay Wires	Minimum Breaking Load	101 kN	101 kN
	Max. Tension	90 % of Min. Breaking Load	90 % of Min. Breaking Load
	Minimum Angle to the Pole	37°	37°

إن اختيار العمود المعدني المناسب للمشروع يتم كما ورد في الأعمدة الخشبية والإسمنتية، أي يتم حساب القوى الأفقية الخارجية المؤثرة في العمود، وتقارن مع القوة التي يتحملها العمود عند القمة، وحتى يكون الاختيار صحيحاً يجب أن تكون القوة التي يتحملها العمود أكبر بعامل أمان أكبر من 1.5.

5-5-4 الأبراج المعدنية Steel Towers:

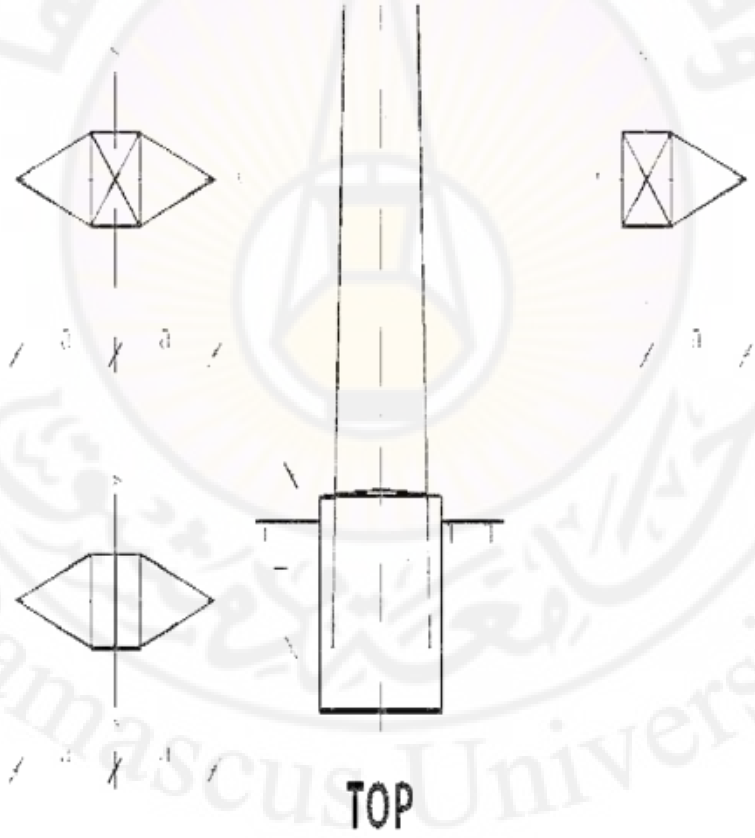
تستعمل هذه الأبراج في خطوط التوتر المتوسط والعالي جداً، تتميز بخفة وزنها بالمقارنة مع الأنواع الأخرى من الأعمدة، بالإضافة إلى عمرها الطويل نسبياً وإمكان نقل هذه الأبراج على شكل قطع معدنية ثم تجميعها في موقع التركيب. يستعمل في بناء الأبراج المعدنية الفولاذ ($St37\,kg/mm^2$) وسبائك الألمنيوم، وقد استعمل مؤخراً أنواع من الفولاذ العالي المتانة ($St52\,kg/mm^2$) خاصة في عناصر البرج التي تتعرض إلى قوى شد أو تكون ذات مقاطع صغيرة. نظراً لتأثر الفولاذ بالأكسدة فإنه من الضروري وقايته من العوامل الجوية (رطوبة- أمطار- ثلوج. . .)، ويتم كما يلي:

- استعمال فولاذ Stainless steel وهو معدن ذو متانة ميكانيكية عالية جدا" لكن أسعاره مرتفعة، بالإضافة إلى ذلك فإن قساوته تسبب صعوبة في قصه وفتح ثقوب فيه، لذلك يفضل حصر استخدامه في قطع محدودة من البرج.
- استعمال سبيكة الحديد- نحاس: إذ يتم إضافة نسبة مئوية صغيرة إلى الحديد من النحاس، هذا النوع من المعدن يقاوم الصدأ بطريقة أفضل من مقاومة الفولاذ. ونظراً لأن أسعاره لا تختلف كثيراً عن أسعار الفولاذ العادي كذلك يستعمل على نطاق واسع، ورغم مقاومته الجيدة للصدأ فإنه يفضل أن يدهن بطبقتين من الدهان.
- الطلي بالمعادن أو الدهان: حيث يتم طلاء الفولاذ بمعدن يقاوم الأكسدة، هذه الطريقة تحمي البرج لمدة طويلة تتجاوز 50 عاما ولكنها مرتفعة التكاليف، ولذلك تطلى الأجزاء العلوية من البرج فقط. يجب أن تكون سماكة طبقة الطلاء 0.04-0.25mm في حالة الطلي بالتوتياء، أو (0.2mm) في حالة الطلي بالرصاص. كما يمكن أن يدهن الفولاذ بطبقتين الأولى أساس والثانية فيصنع الدهان من مواد بلاستيكية مختلفة مهمتها حماية طبقة الدهان الأولى، كما يجب إعادة طلاء البرج كل 5- 10 سنوات.

5-5-4-1 نماذج الأبراج المعدنية حسب مستوى التوتر :Towers models

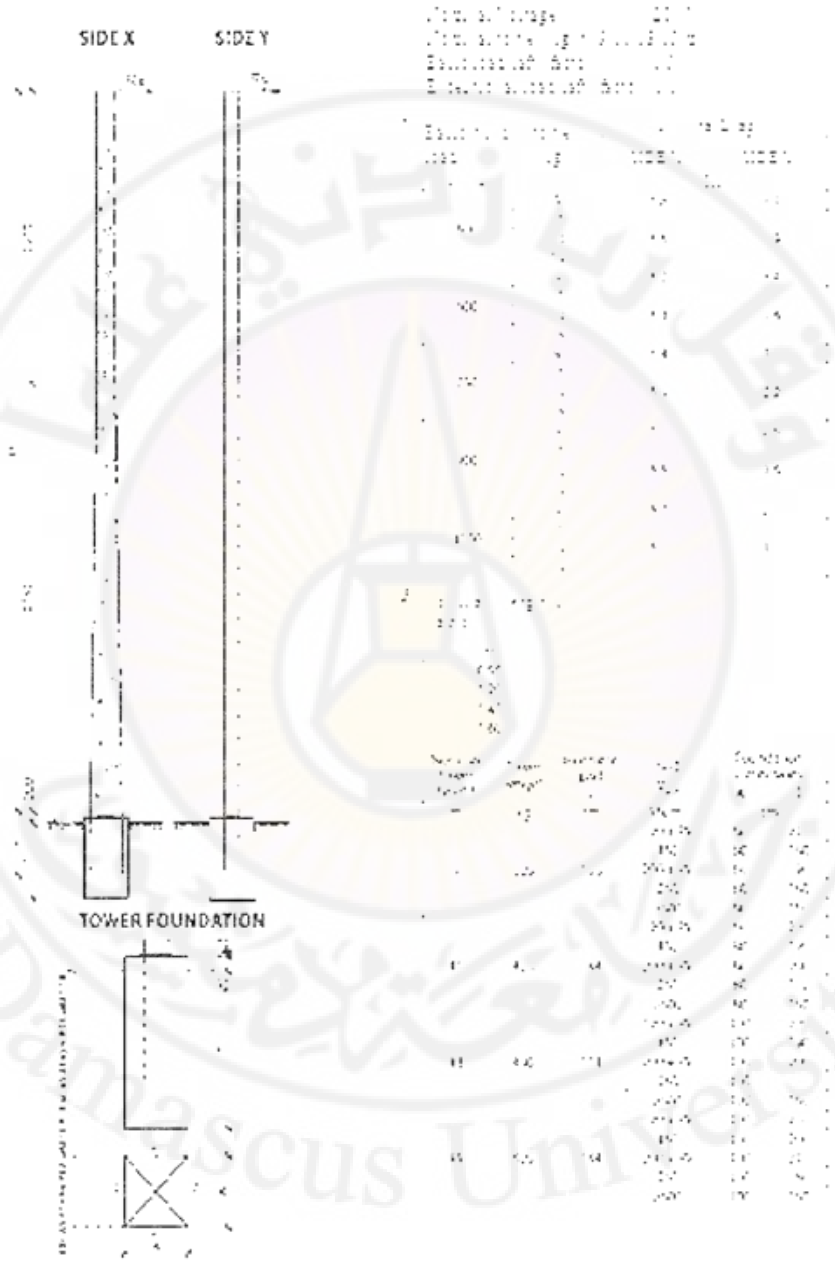
ا-نماذج أبراج معدنية تستخدم في خطوط التوتر المتوسط:

تم تصميم وتصنيع الأبراج المعدنية المستخدمة في خطوط التوتر المتوسط محليا" بارتفاعات مختلفة. يتم ربط العوارض بالقوائم بواسطة اللحام، ويعزل البرج باستخدام الدهان. يصنع البرج في ورشات الحدادة ويدهن ثم ينقل إلى موقع التركيب. تستخدم الأبراج المعدنية في خطوط التوتر المتوسط كأبراج استقامة، أو شد، زاوية، أو بداية ونهاية خط. الأشكال(5-31-آ)،(5-31-ب)،(5-32) تبين العناصر التصميمية لنموذجين مختلفين مستخدمين في خطوط التوتر المتوسط .



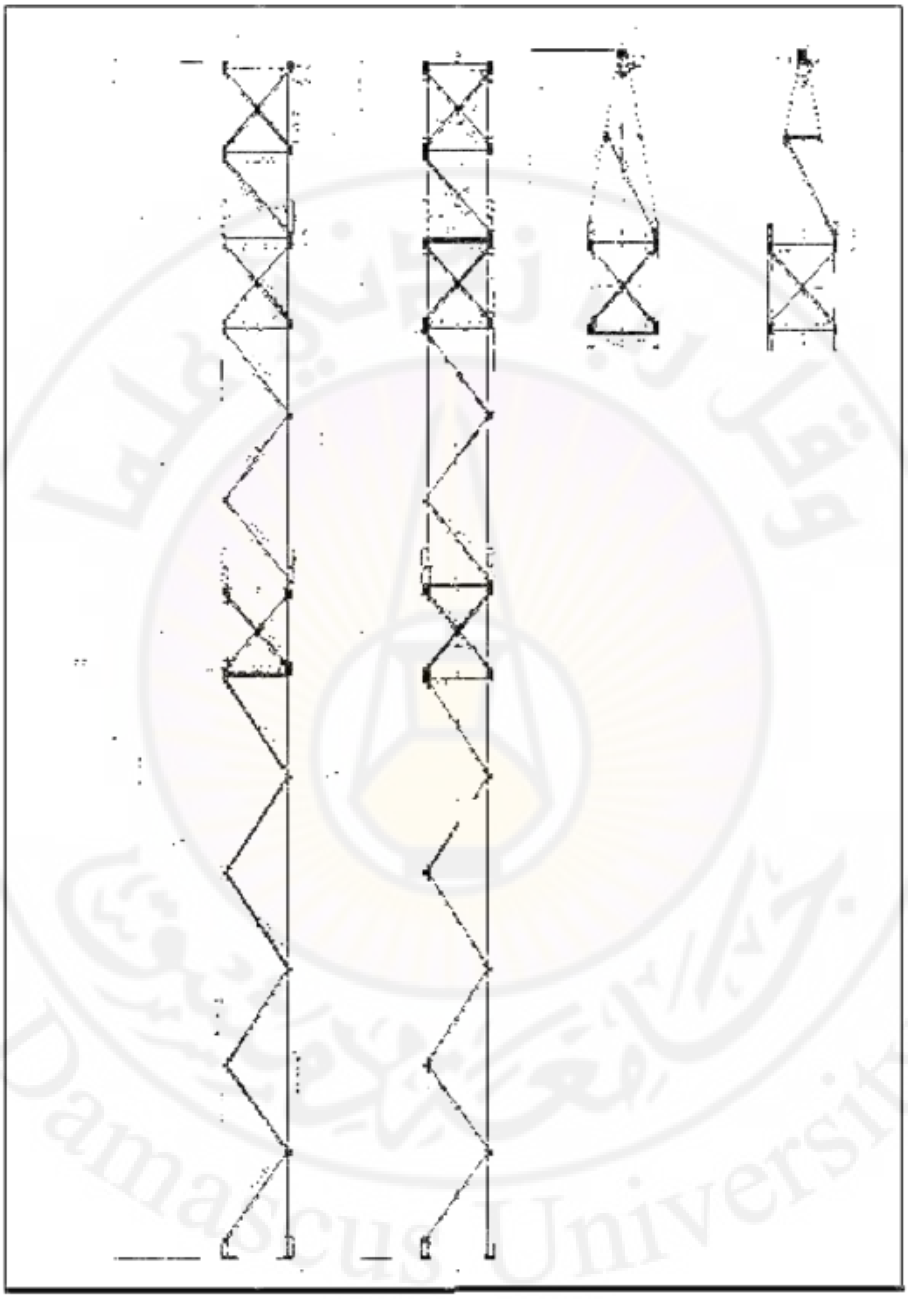
(آ)

SUSPENSION TOWER NAL2



(ب)

الشكل(5-31) نموذج أول لبرج معدني يستخدم في خطوط التوتر المتوسط



الشكل(5-32) نموذج ثانٍ لبرج معدني يستخدم في خطوط التوتر المتوسط

أبعاد حاملة العوازل موجودة على الجدول الثاني المبين في الشكل (5-31).

II-نماذج أبراج معدنية تستخدم في خطوط التوتر العالي:

أ- الأبراج ذات القواعد العريضة:

يتألف جسم البرج من أربع زوايا تدعى القوائم تشكل حروف متوازي مستطيلات تربط بينها زوايا بشكل مشبك تسمى العوارض، ترتبط العوارض مع القوائم بواسطة البراغي كما في الشكل (5-7). عمليا فإن لكل قائمة من قوائم البرج قاعدة منفصلة.

ب- الأبراج ذات القواعد الضيقة:

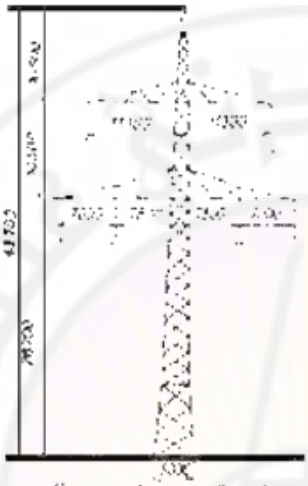
تشابه في تركيبها الأبراج ذات القواعد العريضة، إلا أن قاعدتها ضيقة، حيث يكون للقوائم الأربعة قاعدة إسمنتية وحيدة. في هذا النوع يتم العوارض مع القوائم باللحام أو بالبراغي.

جـ- الأبراج المشدودة بأمراس:

اعتمدت في كثير من البلدان نظراً لانخفاض كلفتها إذا ما قورنت بالأبراج السابقة، بالإضافة إلى بساطة تصميمها وسهولة تركيبها. القواعد الإسمنتية لهذا النوع من الأبراج لا تتحمل أي عزوم انحناء، وإنما تتحمل قوة ضغط فقط. وتقسم الأبراج المشدودة إلى نوعين:

- أبراج بشكل بوابة Portal type: يتألف هذا النوع من عمودين يتمفصلان في الأعلى مع عارضة شبكية وفي الأسفل مع قاعدتين مغروزتين بالأرض.
- أبراج بشكل V-type Towers V: في هذه الحالة يتمفصل العمودان بعضهما مع بعض من الأسفل ويركبان متباعدين في الأعلى على العارضة المشبكة.

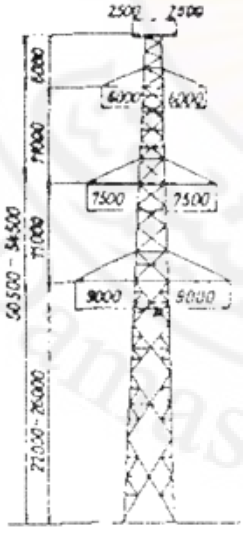
الشكل (5-33-أ-ب) يبين عدة أنواع من الأبراج المستخدمة في شبكات التوتر العالي.



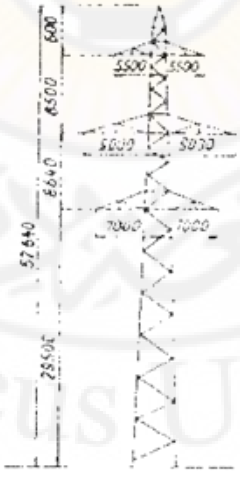
German Federal Republic
Conductors: 6 ACSR + conductor bundles (240 mm² Al + 40 mm² St)
Ground wire: 1 ACSR (240 mm² Al + 40 mm² St)



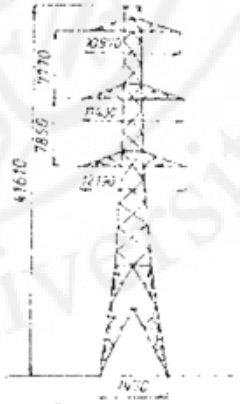
German Democratic Republic
Conductors: 6 ACSR + conductor bundles (240 mm² Al + 40 mm² St)
Ground wire: 1 ACSR (240 mm² Al + 40 mm² St)



Finland
Conductors: 6 ACSR 2-conductor bundles (564 mm² Al + 71,5 mm² St)
Ground wires: 2 (70 mm² St)

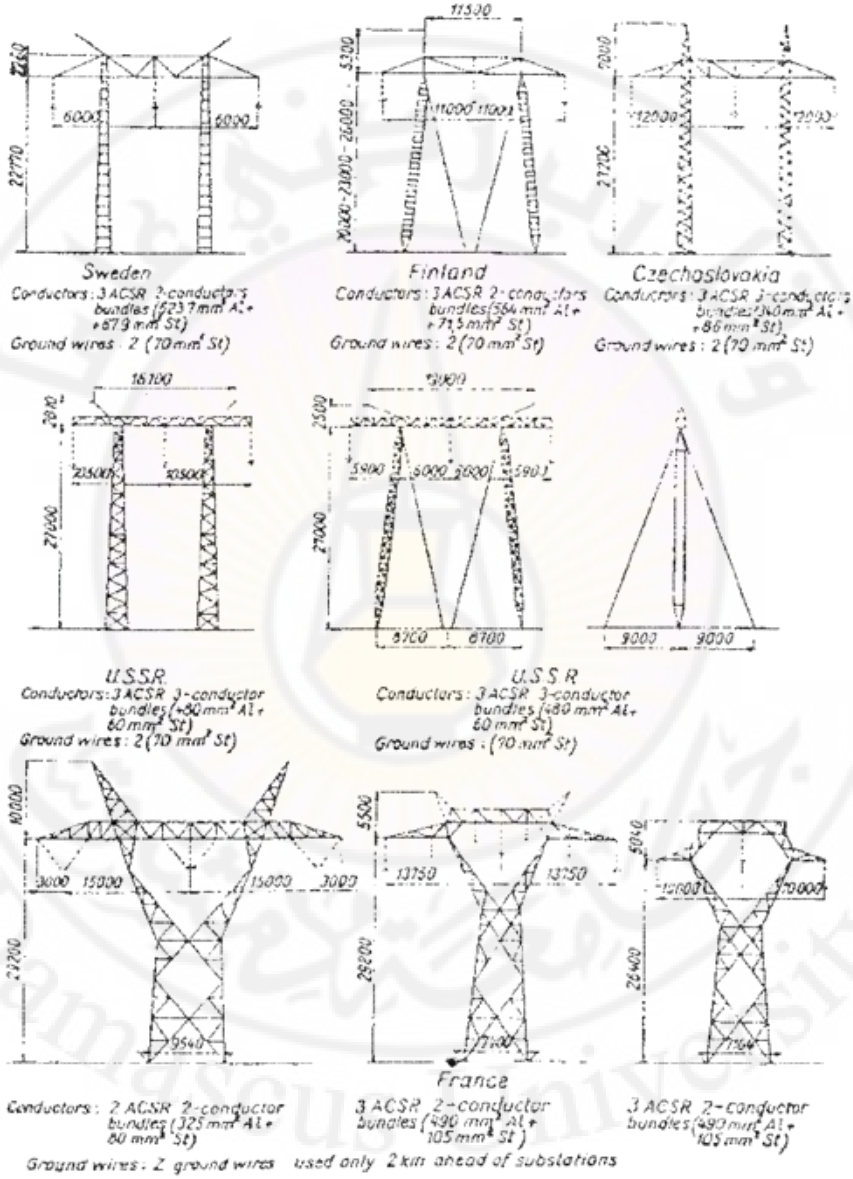


Switzerland
Conductors: 6 ACSR 2-conductor bundles
Ground wires: one



Great Britain
Conductors: 6 ACSR 2-conductor bundles (426 mm² Al + 56 mm² St)
Ground wires: two

(أ)



(ب)

الشكل (5-33) نماذج الأبراج المستخدمة في شبكات التوتر العالي

5-5-4-2 اعتبارات تصميمية في الأبراج: Designing considerations

آ- عوامل الأمان:

- $n = 2.5$ في شروط التحميل العادية للبرج حسب المواصفات البريطانية.
- $n = 1.5$ في شروط التحميل الناتجة عن انقطاع النواقل حسب المواصفات البريطانية.

ب- العناصر المستخدمة:

- $\lambda_{max} = 120$ للقوائم(عامل النحافة الجدول 5-3 من هذا الفصل).
- $\lambda_{max} = 200$ للعوارض حسب المواصفات البريطانية.

جـ- القوى الأفقية والعمودية المؤثرة على الأبراج المعدنية:

يتم حساب القوى الأفقية التي تمثل قوى ضغط الريح المؤثرة في البرج و حاملة العوازل من الجدول (5-1) ، أما القوى العمودية فتحسب حسب الجدول (5-2) .

5-5-4-3 الحسابات التصميمية لنماذج أبراج التوتر العالي:

Designing Calculations of high voltage Towers

يقوم بتصميم البرج مختصون في مجال حساب الإنشاءات المعدنية باستخدام نظم برمجية متقدمة. من أشهر النظم البرمجية برنامج Stadd . لذلك ينحصر دور المهندس الكهربائي في التحقق من تحمل عناصر البرج للقوى الخارجية المطبقة عليها واقتراح تعديل أبعاد العناصر التي لا تتحمل هذه القوى. سنعرض فيما يلي طريقة التأكد من صحة تصميم عناصر البرج لنماذج شائعة من الأبراج المعدنية.

آ- برج بعوارض قطرية على شكل حرف V:

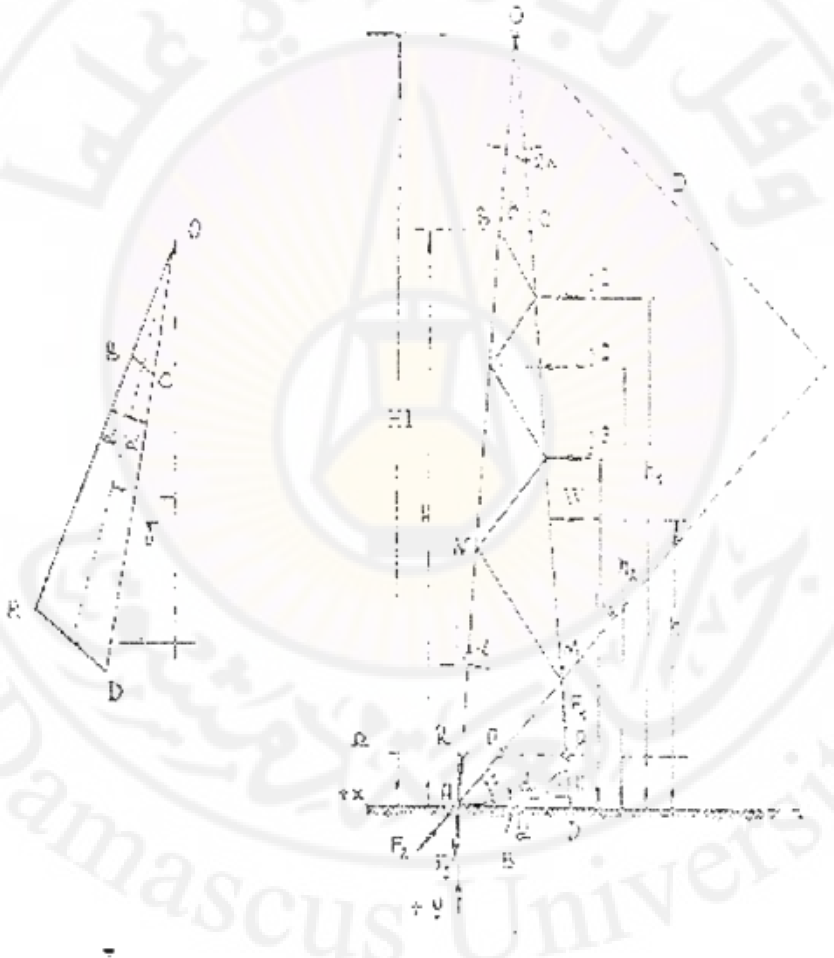
الشكل (5-34) يبين هذا النموذج مع القوى الأفقية المؤثرة فيه (y_1, y_2, y_3, w) وهي التي تمثل قوى ضغط الريح على النواقل وقوة ضغط الريح على البرج نفسه. يتم حساب القوى (F_1, F_2, F_3) في القائمتين والعارضة المائلة عند أسفل البرج بقطع البرج بالمستوي القاطع Ω في موقع قريب من القاعدة. ليكن M عزم القوى الخارجية عند القاعدة، T محصلة القوى الأفقية الخارجية الواقعة فوق مستوى القطع، ومنه:

$$T = y_1 + y_2 + y_3 + w \qquad (5-85)$$

$$M = y_1 h_1 + y_2 h_2 + y_3 h_3 + wh \qquad (5-86)$$

حتى يكون البرج متوازن يجب أن تكون محصلة القوى الأفقية ومحصلة القوة الشاقولية وكذلك العزوم حول النقطة A تساوي الصفر.

$$\Rightarrow F_1 \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) + F_2 \cos i + F_3 \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = \frac{T}{2} \qquad (5-87)$$



الشكل (5-34) برج بعوارض قطرية على شكل حرف V

$$-F_1 \cos\alpha + F_2 \sin i + F_3 \cos\alpha = 0 \qquad (5-88)$$

$$F_1 d = \frac{M}{2} \qquad (5-89)$$

$$\Rightarrow F_1 = \frac{M}{2B\cos\alpha} \qquad (5-90)$$

$$F_2 = \left(T - \frac{MB-b}{BH}\right)\frac{\cos\alpha}{2\cos(\alpha+i)} \qquad (5-91)$$

$$F_3 = \frac{M}{2B}\frac{\cos(\alpha-i)}{\cos\alpha\cos(\alpha-i)} - \frac{T}{2}\frac{\sin i}{\cos(\alpha-i)} \qquad (5-92)$$

يمكن تبسيط العلاقات السابقة على فرض أن α زاوية صغيرة:

$$\Rightarrow F_1 = \frac{M}{2B} \qquad (5-93)$$

$$F_2 = \left(T - \frac{M}{B}\frac{B-b}{H}\right)\frac{1}{2\cos i} \qquad (5-94)$$

$$F_3 = \frac{M}{2B} - \frac{T}{2}tgi \qquad (5-95)$$

أيضاً يمكن تبسيط العلاقات بفرض $B \approx b$. على فرض أن القوائم الأربع متماثلة وتحسب كل منها على الحالة الأقسى نظراً لعدم معرفة الاتجاه الذي سوف تؤثر فيه القوى Y :

$$\Rightarrow F_1 = F_3 = \frac{M}{2B} \qquad (5-96)$$

$$F_2 = \frac{T}{2\cos i} \qquad (5-97)$$

في المعادلات السابقة تم الأخذ بعين الاعتبار تأثير القوى الأفقية على عناصر البرج فقط، أما تأثير القوى الشاقولية N الناتجة عن الأوزان فهي توزع بالتساوي على القوائم الأربع أي أن كل قائمة تتحمل $(N/4\cos\alpha\cos\gamma)$، هذه القوة تضاف أو تطرح من F_1 أو F_3 حسب اتجاه هاتين القوتين:

$$\Rightarrow F_1 = F_3 = \frac{M}{2B\cos\alpha} + \frac{N}{4\cos\alpha\cos\gamma} \qquad (5-98)$$

$$F_2 = \left(T - \frac{M}{B}\frac{B-b}{H}\right)\frac{coc\,\alpha}{2\cos(\alpha+i)} \qquad (5-99)$$

وبإهمال الزاويتين γ, α:

$$\Rightarrow F_1 = F_3 = \frac{M}{2B} + \frac{N}{4} \qquad (5-100)$$

$$F_2 = \left(T - \frac{M}{B}\frac{B-b}{H}\right)\frac{1}{2\cos i} \qquad (5-101)$$

وبجعل B = b يصبح:

$$F_1 = F_3 = \frac{M}{2B} + \frac{N}{4} \qquad (5-102)$$

$$F_2 = \frac{T}{2\cos i} \qquad (5-103)$$

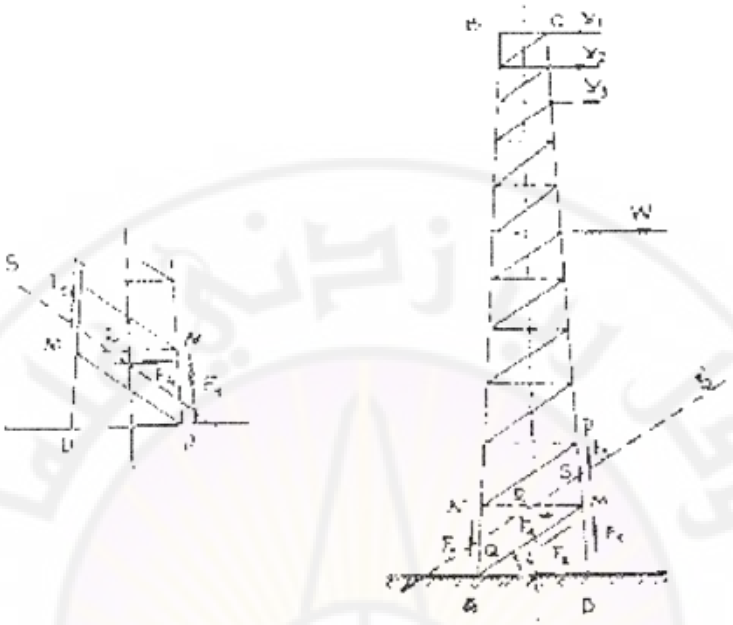
ب- برج بعوارض قطرية على شكل حرف N:

الشكل (5-35) يبين نموذج هذا البرج. إن الحسابات التصميمية لهذا البرج لا تختلف عن ما ورد في نموذج البرج V. لحساب القوى (F_1, F_2, F_3) تطبق نفس العلاقات الواردة في النموذج V وبدون تعديل. التعديل الوحيد هو حساب القوة F_4 في العارضة القطرية الأفقية MN. إن مستوي القطع S الموازي للعارضة القطريةAM يقطع كل من العناصر (AN,MN,MP) في كل من النقاط (Q,R,S)، إذا كان M' هو عزم القوى الخارجية بالنسبة للمستوي الأفقي NM وT' محصلة القوى التي تعطي (F_3, F_4, F_5) ستكون مطابقة لمعادلات التوازن التي تعطي (F_1, F_2, F_3)، ويمكن الحصول على القوة F_4 في العارضة القطرية الأفقية من المعادلة (5-101) حيث يفترض فيها الزاوية $i = 0$:

$$\Rightarrow F_4 = \frac{1}{2}\left(T - \frac{M'}{B}\frac{B-b}{H}\right) \qquad (5-104)$$

وإذا أهمل الانحراف في القوائم أي بفرض $B \approx b, \alpha \approx o$ فإن المعادلة السابقة تصبح:

$$F_4 = \frac{T'}{2} \qquad (5-105)$$



(ب) (أ)

الشكل (5-35) برج بعوارض قطرية على شكل حرف N

وعادةً تؤخذ محصلة القوى 'T عند المستوي (NM) مساوية محصلة T عند المستوي AD. ميزة العارضة MN التابعة للوجه (A B C D) هي أنها تتلقى نصف القوى الخارجية المؤثرة في البرج. القوة F_4 يمكن أن تكون قوة شد أو قوة ضغط متعلقة باتجاه ميل العوارض القطرية وخاصة العارضة AM، فمثلاً في حالة الشكل (5-35-أ) القوة F_4 هي قوة ضغط بينما في حالة الشكل (5-35-ب) فهي قوة شد.

ج- برج بعوارض قطرية متصالبة:

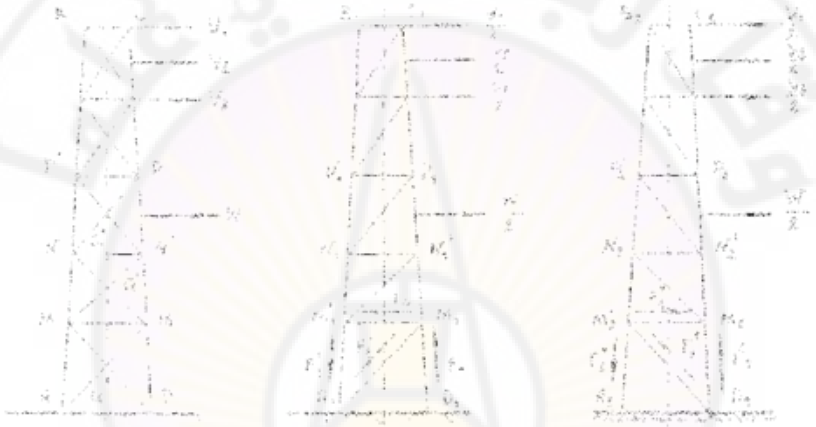
للتمكن من حساب هذه الأبراج يجزأ الوجه (A B C D) كما في الشكل (5-36) إلى قسمين ($A_1\ B_1\ C_1\ D_1$) و ($A_2\ B_2\ C_2\ D_2$)، حيث أن كل قسم يتأثر بنصف القوى المؤثرة في الوجه(A B C D) وله وضعية على شكل حرف N. تحسب القوى على كل وجه باستخدام العلاقات المستنتجة في النموذج N ثم تجمع جبرياً، وعليه تعطى القوى على الوجه (A1,B1,C1,D1) بالعلاقات التالية:

$$F'_1 = F'_3 = \frac{M}{4B} + \frac{N}{8} \qquad (5-106)$$

$$F'_2 = \left(T - \frac{M}{B}\frac{B-b}{H}\right)\frac{1}{4\cos i} \qquad (5-107)$$

$$F'_4 = \frac{T}{4} \qquad (5-108)$$

حيث يفترض أن القوى T = T'.



الشكل (5-36) برج بعوارض قطرية متصالبة

أما القوى الداخلية للعناصر في القسم ($A_2\ B_2\ C_2\ D_2$) تعطى بالعلاقات :

$$F''_1 = F''_3 = \frac{M}{4B} + \frac{N}{8} \qquad (5-109)$$

$$F''_2 = \left(T - \frac{M}{B}\frac{B-b}{H}\right)\frac{1}{4COSI}; \qquad (5-110)$$

$$F''_4 = \frac{T}{4} \qquad (5-111)$$

وبناءً على ذلك فإن محصلة القوى في القسم (ABCD) ستكون:

$$F_1 = F_3 = \frac{M}{2B} + \frac{N}{4}; \qquad (5-112)$$

$$F'_2 = F''_2\left(T - \frac{M}{B}\frac{B-b}{H}\right)\frac{1}{4\cos i} \qquad (5-113)$$

$$F_4 = 0 \qquad (5-114)$$

عندما تكون $(\alpha = 0)$ يكون:

$$F_1 = F_3 = \frac{M}{2B} + \frac{N}{4}; \qquad (5-115)$$

$$F'_2 = F''_2 = \frac{T}{4\cos i} \qquad (5-116)$$

$$F_4 = 0 \qquad (5-117)$$

نرى مما سبق نستنتج أن قوائم الأبراج ذات العوارض القطرية المتصالبة تقع تحت تأثير القوى نفسها التي تقع عليها مثيلاتها في الأبراج شكل حرف V أو N، أما العوارض المائلة فتتأثر بنصف القوى والعوارض الأفقية لا توجد فيها أي قوى، وظيفة القضبان الأفقية تنحصر في تقصير طول التقوس للعناصر الرئيسة الواقعة على أطراف جسم البرج، حيث تتعرض هذه القضبان عند تقوس العناصر الرئيسة إلى قوى تعطى بالعلاقة التقريبية:

$$F_4 = \frac{1000}{11}\frac{\sigma}{\sigma_{cr}}.S\ (Kg) \qquad (5-118)$$

حيث:

S : سطح العنصر الرئيسي cm^2 .

σ :الإجهاد المسموح به للفولاذ المستعمل $1500kg/cm^2$.

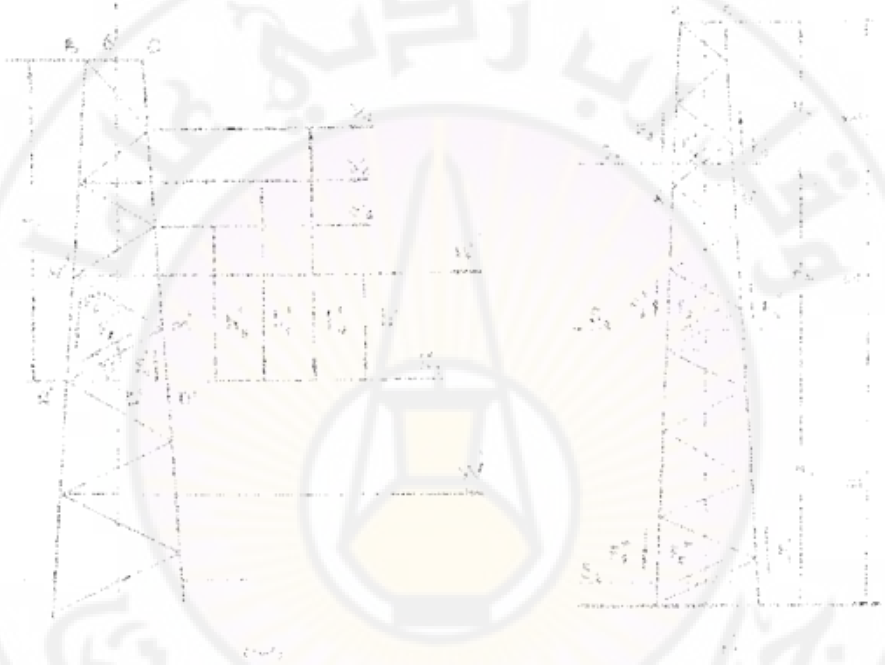
σ_{cr} :الإجهاد الحرج للفولاذ المستعمل $3100kg/cm^2$.

$$\Rightarrow F_4 = 44.S \qquad (5-119)$$

5-5-4-4 تصميم عناصر أبراج التوتر العالي:Towers Elements Designing

يتكون البرج من عدد من الأجزاء الموصولة بعضها مع بعض بوصلات خاصة تثبت بوساطة البراغي. إن مقاطع زوايا القوائم والعوارض تختلف من جزء إلى آخر، حيث تكون كبيرة في الأجزاء السفلى القريبة من القاعدة ثم تصغر حتى تصل إلى القمة. الشكل(5-37-أ-ب) يبين نموذج برج معدني وقد تمت تجزئته إلى ثلاثة أجزاء تبين عليه القوى الخارجية . عمليا تبدأ دراسة القوى المؤثرة في كل عنصر من عناصر البرج بدءاً من قمة البرج باتجاه القاعدة. حيث تحسب القوى عند نهاية كل جزء.

على الشكل(5-37-ب) تظهر القوى الخارجية المؤثرة في الجزء الأول (y_1, y_2, y_3, w)، حيث تحسب عزوم هذه القوى حول قاعدة هذا الجزء، أما في الجزء الثاني فتحسب عزوم القوى (y_1, y_2, y_3, w) عند نهاية الجزء الثاني وتضاف إليها قوة ضغط الريح على هذا الجزء ووزنه، وهكذا تتكرر الحسابات بالنسبة لبقية الأجزاء حتى تصل إلى خط الأرض.



الشكل (5-37) القوى المؤثرة في عناصر البرج

بعد معرفة قوى الشد أو الضغط في كل الأجزاء وفي جميع العناصر فيها يجري اختبار العناصر على تحمل إجهادات التقوس أو الشد باستخدام العلاقات التالية :

$$\sigma_b = K_r F_c / S \qquad (5-120)$$

حيث:

K_r : هو عامل ريزل.

F_c : القوة الضاغطة.

S :مساحة سطح المقطع .

يعطى عامل ريزل بالعلاقة:

$$K_r = 1 + \frac{0.011\, Sl^2}{\mu^2 . I} \qquad (5-121)$$

l:الطول المعرض للتقوس شكل 5-44-آ.

I : عزم العطالة الأصغري شكل 16-22-ب.

S: مساحة سطح المقطع.

μ : عامل التثبيت وقيمته 1 للقوائم و 2 للعوارض.

يحسب إجهاد الشد σ_t من العلاقة:

$$\sigma_t = \frac{F_t}{S'} \qquad (5-122)$$

حيث:

F_t : قوة الشد.

S' : مساحة المقطع الصافي ، ويحسب بعد أن تحذف منه مساحة الثقوب، فمثلاً بخصوص للزاوية المبينة في الشكل (5-38) والتي تحوي ثقباً واحداً يحسب المقطع الصافي كالتالي:

$$S' = 90 \times 81 \times 9 - 9 \times 81 = 1337\ mm^2$$

أما البراغي فيجري تحقيقها على إجهاد القص.



الشكل (5-38) حساب عناصر البرج

5-4-5-5 حساب أبراج الزاوية: Angle Towers calculations

الشكل (5-39) يبين القوى المؤثرة في برج زاوية ضمن الموقع A، يخضع هذا البرج إلى قوى شد ناتجة عن النواقل في الفتحتين الجانبيتين وقوى ناتجة عن ضغط الريح على هذه النواقل بالإضافة إلى القوى الشاقولية الأخرى.



الشكل (5-39) القوى المؤثرة في برج زاوية

تعطى محصلة قوى الشد T_r بالعلاقة:

$$T_r = 2T\sin\alpha/2 \qquad (5-123)$$

حيث:

α : زاوية انحراف مسار الخط.

T : قوى الشد من جانب واحد.

تعطى محصلة قوى الريح الضاغطة بالعلاقة:

$$F_W = \frac{P_W}{2}\sqrt{a_1^2 + a_2^2 + 2a_1 a_2\cos\alpha} \qquad (5-124)$$

$a1, a2$: أطوال الفتحتين المجاورتين للبرج.

P_W : ضغط الريح على المتر الطولي من الناقل.

وإذا فرضنا أن:

$$a = \frac{a_1 + a_2}{2} \qquad (5-125)$$

$$\Rightarrow F_W = aP_W\cos\alpha/2 \qquad (5-126)$$

مما تقدم يمكن حساب القوة الأفقية الإجمالية F المؤثرة في البرج من العلاقة:

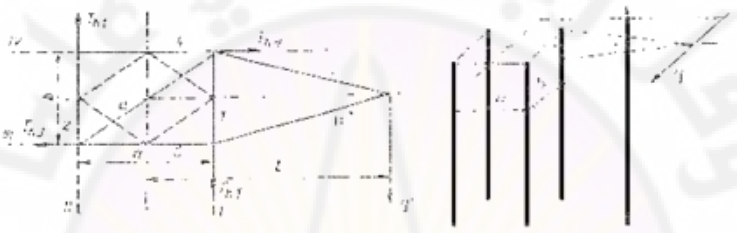
$$F = 2T\sin\frac{\alpha}{2} + aP_W\cos\frac{\alpha}{a} \qquad (5-127)$$

تمثل العلاقة (5-127) القوة الأفقية على الناقل الواحد، وللحصول على القوة الكلية تضرب القوة F بعدد النواقل.

5-5-4-6 تأثير انقطاع أحد النواقل على البرج:

Break one Conductors Influence

أذا انقطع أحد النواقل فإن المركبة الأفقية لقوة الشد في الناقل T تقوم بتوليد عزم فتل في مركز البرج $(M = T_t)$. الشكل(5-40) يبين تلك القوى.



الشكل (5-40) القوى المؤثرة في برج يخضع لعزم فتل

يتم حساب تأثير هذه القوة والعزم الناتج كالتالي:

- القوى المؤثرة في القضبان (1،2،3،4):

$$T_{H1} = Ft/(2a) + F/2 = F(t/a+1)/2 \qquad (5-128)$$

$$T_{H2} = Ft/(2a) - F/2 = F(t/a-1)/2 \qquad (5-129)$$

$$T_{h3} = T_{h4} = F_{t(2b)} \qquad (5-130)$$

عادة يقوى الإطار بعارضة قطرية d وتعطى القوة المؤثرة في هذه العارضة:

- القوة المؤثرة في القضيبين n و n:

$$T_n = T/2\sin\beta/2, T_n = T/2\sin\beta/2 \qquad (5-131)$$

5-5-4-7 تصميم حاملات العوازل Cross arms:

تؤثر في حاملات العوازل عموماً مجموعة من القوى تعمل في آن واحد منها :

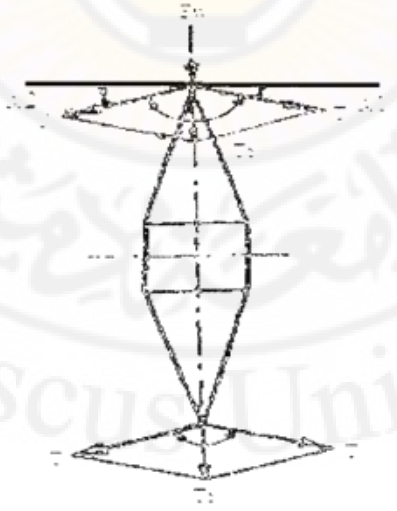
- قوى الشد الناتجة عن النواقل (لا تظهر هذه القوى في حالة عوازل التعليق).
- وزن حاملة العوازل والعوازل ومتمماتها والنواقل ووزن الجليد، قوى الشد الشاقولية الناتجة عن فرق المنسوب.
- وزن رجل الصيانة ومعداته (100kg).

- القوى الناتجة عن انقطاع أحد النواقل والتي تسبب عزم فتل في البرج.

في أبراج الشد والنهاية تتعرض الحاملة لقوى شد من جانب واحد وباتجاه النواقل بالإضافة إلى القوى السابقة، أما في أبراج الزاوية تؤثر قوى النواقل في الحاملة في اتجاه المحصلة كما هو واضح من الشكل(5-41) . تعطى محصلة قوى الشد بالعلاقة :

$$T_r = 2T\sin\alpha \qquad (5-132)$$

يضاف إلى القوى السابقة ولجميع الحوامل قوى ضغط الريح على النواقل والتي تؤثر في طول يعادل مجموع نصفي الفتحتين المجاورتين للحامل. تأخذ حاملات العوازل عدة أشكال ولكل منها حسابها الخاص وقد يكون مبسطاً أو معقداً حسب شكل الحاملة، ولكن في جميع الحالات لا بد من تحديد القوى الخارجية المطبقة على الحاملة بدقة وهي التي يمكن حسب ما ذكر سابقاً تصنيفها إلى قوى شاقولية P (Vertical Forces) ، قوى أفقية طولانية (Longitudinal Forces) Ft في اتجاه النواقل أي منطبقة على محور الناقل، وقوى أفقية عرضانية (Transverse Forces) F_t في اتجاه محور الحاملة وتشكل زاوية قائمة مع محور النواقل. من الممكن أن تكون القوى الأفقية مطبقة عند منسوب الحاملة أو بعيدة عنها، في الحالة الأخيرة تنقل القوى إلى منسوب الحاملة بقوى مكافئة وعزم.



الشكل (5-41) حاملة العوازل في برج زاوية

سوف نستعرض في هذا السياق حساب بعض حاملات العوازل البسيطة وستستخدم الرموز التالية:

$\sum w$: وزن الناقل والعوازل ومتمماتها ووزن الجليد المتوضع على النواقل.

W_a : وزن حاملة العوازل.

W_c : القوى الشاقولية الناتجة عن فرق المنسوب.

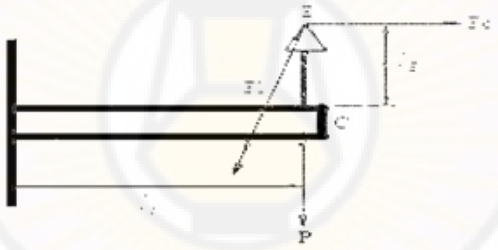
F_W : القوة الضاغطة للريح على النواقل في نصفي الفتحتين المتجاورتين.

T_c : محصلة قوة شد النواقل لبرج زاوية.

F_c : قوة شد النواقل من جانب واحد أو الفرق بين شد النواقل من جهتين.

آ- حاملة بسيطة تتألف من قضيب ركبت عليه عوازل مسمار:

تستخدم هذه الحاملة في الخطوط التي تستخدم العوازل الثابتة. الشكل (5-42) يبين هذه الحاملة والقوى المؤثرة فيها.



الشكل (5-42) حاملة عوازل بسيطة

لنفرض أن مقطع القضيب هو S وأن عوامل مقطعه هي Z_X, Z_Y, Z_W ، فإن الإجهادات الإفرادية تعطى بالعلاقات:

- **إجهاد الشد:**

$$\sigma_t = (F_W + T_c)/S \qquad (5-133)$$

- **إجهادات الانحناء (الانعطاف):**

$$\sigma_b = \left[(F_W + T_c)l_E + \sum w l c + (W_a + W_c)l_c/2\right]/Z_X + F_c l_E / Z_Y \qquad (5-134)$$

إجهادات الفتل:

$$\sigma_s = F_c l_E / Z_Y \qquad (5-135)$$

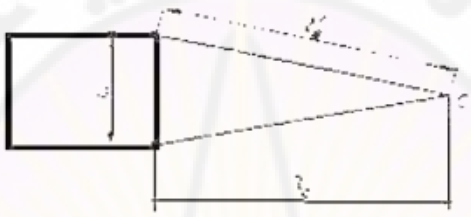
يحسب الإجهاد النهائي على مقطع القضيب من العلاقة:

$$\sigma' = 0.35\sigma 1 + 0.65\sqrt{\sigma_1^2 + 4\sigma_S^2} \qquad (5-136)$$

$$\sigma_1 = \sigma_t + \sigma_b \qquad (5-137)$$

ب- حاملة عوازل مستوية مثلثية واقعة في المستوي الأفقي:

الشكل (5-43) يبين حاملة عوازل مستوية مثلثية تتألف من قضيبين في المستوي الأفقي يلتقيان في النقطة C.



الشكل (5-43) حاملة عوازل مثلثية مستوية

تؤثر في العارضة قوى شاقولية وقوى أفقية طولانية في آن واحد علماً أن القوى الأفقية واقعة في مستوٍ يبعد مسافة l_c عن مستوى الحاملة.

- **القوى الشاقولية:**

تسبب القوى الشاقولية إجهاد انعطاف متساوياً في القضيبين أي:

$$\sigma_b = 0.5\left[\sum w + w_c + 0.5(W_a + W_r)\right] l_c / Z_X \qquad (5-138)$$

- **القوى الأفقية العرضانية:**

يمكن الاستعاضة عن القوى الأفقية العرضانية (P_W, T_r) بقوى منطبقة على محور الحاملة وبالتالي عزم، تسبب هذه القوى وبطريقة متساوية إجهاد شد في أحد القضبان وإجهاد ضغط في القضيب الآخر ومنه:

$$\sigma_t = 0.5(F_W + T_r) l'_c / (s l_c) \qquad (5-139)$$

$$\sigma_c = 0.5K(F_W + T_r) l'_c / (s l_c) \qquad (5-140)$$

ويسبب العزم المكافئ إجهاد انعطاف متساوياً في كلا القضيبين، أي:

$$\sigma_b = 0.5(F_W + T_r) l'_c \, l_E / Z_X l_c \qquad (5-141)$$

- القوى الأفقية الطولانية:

يمكن الاستعاضة عن القوة الأفقية F_1 بقوة مؤثرة في رأس الحاملة وعمودية على محورها وعزم، تسبب هذه القوى إجهاد شد في أحد القضبان وإجهاد ضغط في القضيب الآخر:

$$F = 2T \sin\frac{\alpha}{2} + aP_{II} \cos\frac{\alpha}{a} \qquad (5-142)$$

يعمل العزم المكافئ على حني أحد القضيبين إلى الأعلى والقضيب الآخر إلى الأسفل حول المحور x ويسبب إجهاد انعطاف في كلا القضيبين مساوياً إلى:

$$\sigma_b = F_1 l'_c / (Z_X I_c) \qquad (5-143)$$

بعد الانتهاء من حساب الإجهادات المفردة يجري جمع هذه الإجهادات للحصول على الإجهاد الكلي.

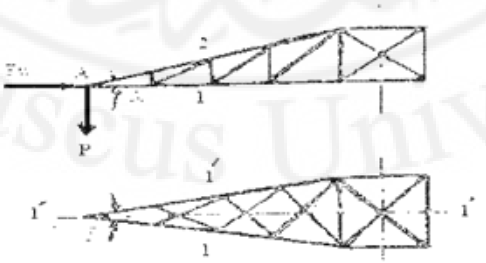
ج- حاملة العوازل الهرمية:

الشكل (5-44) يبين حاملة هرمية تتألف من أربعة وجوه، وجهان شاقوليان ووجه سفلي أفقي ووجه علوي مائل. تستخدم هذه الحاملة استخداماً خاصاً في الخطوط التي تستخدم العوازل المعلقة، ويمكن بشكل مبسط حساب هذه الحاملة بافتراض أن الوجوه الشاقولية تأخذ بالتساوي القوى الشاقولية بينما يأخذ الوجهان الآخران القوى الأفقية بحيث تتوزع هذه القوى بين الوجه العلوي والسفلي بنسبة $A_1 : A_2 \cos^4 \vartheta$.

A_1 , A_2 : تمثل بالتتابع مساحة مقاطع القضبان السفلية والعلوية.

ϑ : زاوية ميل الوجه العلوي عن السفلي.

هذه النسبة تساوي 3 أو 4 ، أي إن الوجه العلوي يتحمل $\frac{1}{3}$ إلى $\frac{1}{4}$ القوى الأفقية.



الشكل (5-44) حاملة عوازل هرمية

يمكن أيضاً حساب هذه الحاملة بدقة متناهية كما يلي:

إذا افترضنا أن هذه الحاملة واقعة تحت تأثير القوة الأفقية والقوة الشاقولية. بسبب عدم توازي الوجه العلوي والوجه السفلي لحاملة العوازل وكذلك الوجه الأمامي والوجه الخلفي، فإن حسابها يصبح غير معين ستاتيكياً حيث يلتقي في العقدة أربعة قضبان، في هذه الحالة – وبسبب التناظر بين الوجه الأمامي والوجه الخلفي حول المحور $1'-1'$ – فإن من الممكن افتراض أن القوى المتولدة في القضبان $1'$ و 1 تقع على المحور $1'-1$ وكذلك بالنسبة للوجه العلوي ومنه نجد:

معادلة القوى الأفقية:

$$2F_1\cos\frac{\beta}{2}=F_W+2(F_2\cos\beta/2)\sin\sigma \qquad (5-144)$$

معادلة القوى الشاقولية:

$$\frac{1}{2}P=(F_2\cos\beta/2)\sin\sigma \qquad (5-145)$$

ومنه فإن قوة الشد:

$$F_2=\frac{1}{2\cos\beta/2}\cdot\frac{A}{\sin\sigma} \qquad (5-146)$$

قوة الضغط:

$$F_1=\frac{F_W}{2\cos\beta/2}+\frac{P}{2\cos\beta/2}\cot\sigma \qquad (5-147)$$

8-4-5-5 تطبيقات:

تطبيق1:

لدينا عمود خشبي ارتفاعه الكلي $H=10m$، ارتفاع القسم المغروس في الأرض $h_0=1.6m$، الارتفاع فوق سطح الأرض 8.40m، قطر قمة العمود d=12cm، تدرج قطر العمود في اتجاه القاعدة $8mm:m$، قوة ضغط الريح على واحدة السطوح من العمود $72kg/m^2$، الإجهاد الأعظمي للخشب $540kg/cm^2$. المطلوب :

- حساب القوة الأفقية التي يمكن تطبيقها على رأس العمود وذلك عند أخذ عامل أمان 3 وافتراض نقطة انهيار العمود عند سطح الأرض.

- احسب أيضاً هذه القوة استناداً لأمور المقطع الخطر.

الحل:

قطر العمود عند وجه الأرض:

$$D = 12 + 8.4 \times 0.8 = 18.72\,cm$$

قوة ضغط الريح على العمود:

$$F_v = \frac{D+d}{2} H \times 72$$

$$= \frac{0.1872 + 0.12}{2} \times 8.4 \times 72 = 92.9\ KG$$

نقطة تأثير هذه القوة بدءاً من وجه الأرض:

$$H_v = \frac{hD + 2d}{3D + d} = \frac{8.40}{3}\ \frac{0.1872 + 0.24}{0.1872 + 0.12} = 0.3\,m$$

العزم الناتج عن قوة الريح:

$$M_v = F_v h_v = 92.9 \times 0.3 = 237.3 kg.m$$

$$Z = \frac{1}{Y} = \frac{\pi D^3}{32} = \frac{\pi}{32} \times 18.72^3 = 644\,cm^3$$

إذا أخذنا عامل أمان 3 ، فإن العزم الأعظمي الذي يتحمله العمود بدون أخذ ضغط الريح على العمود بالاعتبار:

$$M = 180 \times 650 = 117000\,kg.cm$$

العزم المفيد الذي يتحمله العمود عند أخذ ضغط الريح على العمود بالحسبان:

$$Ma = M - Mv = 117000 - 33500 = 83500\,kg.cm$$

ومنه فإن القوة التي يمكن تطبيقها على رأس العمود:

$$F = \frac{M_a}{H} = \frac{83500}{840} = 99.4\,kg$$

- حساب القوة الأفقية اعتماداً على المقطع الخطر:

يعطى بعد المقطع الخطر عن قمة العمود بالعلاقة:

$$x = \frac{d}{2v} = \frac{12}{2 \times 0.8} = 7.5\,m$$

قطر العمود عند المقطع الخطر:

$$D = 12 + 0.8 \times 7.5 = 18\,cm$$

أو:

$$D = 1.5\,d$$

القوة الضاغطة للريح على سطح العمود بين القمة والمقطع الخطر:

$$F_v = \frac{0.18 + 0.12}{2} \times 7.50 \times 72 = 81 \quad kg$$

نقطة تأثير قوة ضغط الريح:

$$h_v = \frac{7.5}{3} \frac{0.18 + 0.24}{0.18 + 0.12} = 3.5\,m$$

عزم قوة ضغط الريح:

$$M_v = 80.5 \times 3.50 = 281.75\,kg.m$$

عامل المقطع Z عند المقطع الخطر:

$$Z = \frac{\pi}{32} \times 18^3 = 572\,cm^3$$

عند عامل أمان يساوي 3:

$$M = 180 \times 572 = 103050\,kg.cm$$

العزم المفيد:

$$Mv = M - Mv = 103050 - 28175 = 74875\,kg\,cm$$

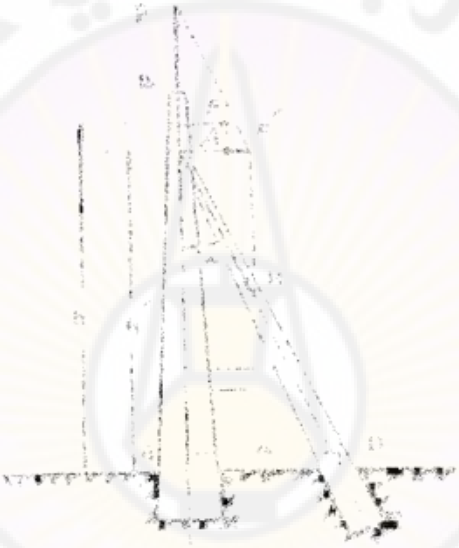
القوة التي يمكن تطبيقها في رأس العمود:

$$F = \frac{74875}{750} = 99.8kg$$

تطبيق2:

يبين الشكل (5-45) عموداً مدعوماً، على فرض $h'=7.40, h=8.40, a=2m$ ، قوة ضغط الريح على العمود المائل 86.5 kg وتؤثر في ارتفاع 3.90m من سطح الأرض. قوة ضغط الريح F على النواقل وتوابعها 630 kg وتؤثر في A.المطلوب :

معرفة إن كان هذا الحامل يتحمل القوى المطبقة عليه أم لا، علماً أن قطر العمود عند خط الأرض 16 mm، وعامل يونغ للخشب $E=90000\ kg/cm^2$.



الشكل (5-45) عمود مدعوم

الحل:

لننقل تأثير القوى الأفقية إلى النقطة 'A:

$$F'_T = 86.5 \times \frac{3.90}{7.40} = 46\,kg$$

$$F'_C = 630 \times \frac{8.40}{7.40} = 660\,kg$$

محصلة القوة الأفقية المؤثرة في النقطة 'A:

$$F' = 660 + 46 = 706\,kg$$

$$P = \frac{F'}{\tan\alpha} = 706 \times \frac{7.40}{2} = 2600\,kg$$

$$\tan\alpha = \frac{7.40}{2}, \alpha = 15^{\circ}\,5', \sin\alpha = 0.26, \cos\alpha = 0.965$$

$$R = \frac{706}{\sin\alpha} = \frac{706}{0.26} = 272\,kg$$

لنحسب من علاقة أويلر قوة التقوس P_b:

$$P_b = \frac{2\pi^2 EI\cos^2\alpha}{h'^2}$$

$$I = \frac{\pi \times 16^4}{64} 31000\,cm^4$$

$$P_{cr} = \frac{e\pi^2 90000 \times 31000}{(785)^2} = 485\,kg$$

ومنه يمكن حساب عامل الأمان:

$$n = \frac{8450}{2720} = 3.1$$

وهو مقبول بالنسبة للخشب.

تطبيق 3:

لدينا برج مصنع من حديد الزوايا بالأبعاد المدونة في الشكل (5-46)، يحمل هذا البرج وهو برج استقامة ثلاثة نواقل من الألمنيوم فولاذ مقطع $148\,mm^2$ وخط حماية أرضياً مقطعه $50\,mm^2$، الفتحة الوسطية 175m. المطلوب التحقق من أن هذا البرج يتحمل القوى المطبقة عليه.

الحل:

أ- حساب الجزء 1:

- إن معطيات هذا الجزء هي :

ارتفاع هذا الجزء: $H_1 = 7.3\,m$

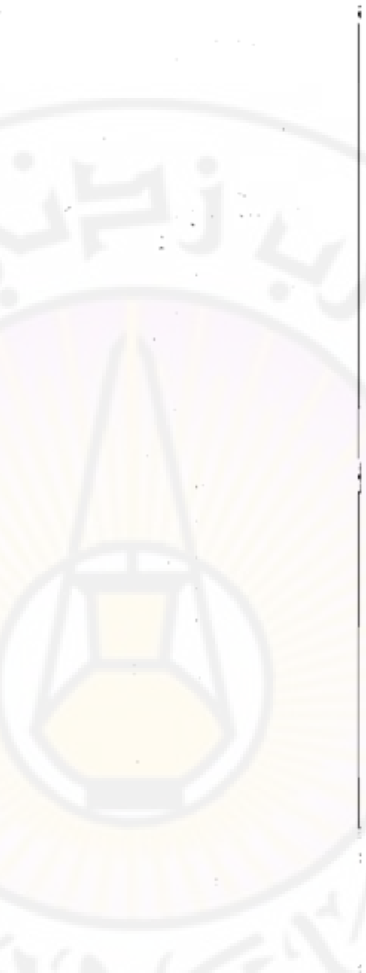
القوائم: $L\,45 \times 45 \times 5$

العوارض: $L\,45 \times 45 \times 5$

البراغي: $\varphi = 12\,mm$

القوى الأفقية المؤثرة في الناقل الأرضي: $129\,kg$

القوى الأفقية المؤثرة في النواقل الثلاثة مجتمعة: $789\,kg$



الشكل (5-46) برج استقامة

ضغط الهواء على الجزء ا: $229\,kg$

ضغط الهواء على سلاسل العوازل وحاملاتها: $36\,kg$

محصلة القوة الأفقية على الجزء ا: $1183\,kg$

القوى الشاقولية على الجزء ا: $312\,kg$

وزن النواقل والعوازل: $569\,kg$

الوزن الكلي: $881kg$

- الحسابات التصميمية:

العزم الناتج عن قوة ضغط الهواء على الناقل الأرضي:

$$129\times 7.3 = 941 kg.m$$

العزم الناتج عن قوى ضغط الهواء على الناقل:

$$\frac{789}{3}(6+4.25+2.5) = 3353 kg.m$$

العزم الناتج عن قوة ضغط الريح على الجزء:

$$229\times 3.25 = 744 kg.m$$

العزم الناتج عن قوة ضغط الريح على سلاسل العوازل:

$$\frac{36}{3}(6+4.25+2.5) = 153 kg.m$$

محصلة العزوم عند قاعدة هذا الجزء:

$$5191 kg.m$$

- **حساب القوائم في الجزء I:**

خصائص القوائم في هذا الجزء وبالرجوع إلى أحد الجداول نجد الزاوية 5×45×45 لها المواصفات التالية:

المقطع: $430 mm^2$

عزم العطالة الأصغري: $7.84 cm^4$

الطول المعرض للانحناء: $1.5m$

البعد بين مركز ثقل القوائم: $9756m$

إجهاد الانضغاط الناتجة عن العزم:

$$\frac{5191}{2\times 0.756\times 460} = 8 kg/mm^2$$

إجهاد الانضغاط الناتجة عن القوى الشاقولية:

$$\frac{881}{4\times 430} = 0.51 kf/mm^2$$

إجهاد الانضغاط الناتج عن (العزم + القوى الشاقولية): $8.51 kg/mm^2$

حيث نأخذ المقطع الحقيقي في حالة الانضغاط ونأخذ المقطع الصافي في حالة الشد.

إجهاد الانحناء باستخدام معادلة ريزال:

$$8.51\left(1+\frac{0.011\times 430\times (1.5)^2}{4\times 7.84}\right)=11.4 kg/mm^2$$

إذا كان إجهاد الانهيار للحديد 36 وبأخذ عامل أمان 3 يكون $\frac{36}{3}=12$ هو الإجهاد التصميمي. إذن إن 11.4<12 هو إجهاد مقبول وإلا يجب إعادة الحساب بعد تغيير مقطع القائمة.

إجهاد الشد على القوائم:

يجب معرفة أقطار الثقوب وعددها، وبما أن البراغي المستخدمة بقطر 12mm فإن أقطار الثقوب هي 14 mm على فرض وجود خلوص بقيمة 2 mm، عدد الثقوب 2.

نحسب المقطع الصافي للزاوية القائمة $430-2\times 5\times 14=290 mm^2$. إن الوزن قوة عكسية ولذلك يجب أن يطرح من القوة العلوية الشادة:

حساب قوة الشد:

$$\frac{5191}{2\times 0.756}-\frac{881}{4}=3440-220=3220kg$$

حساب إجهاد الشد:

$$\frac{3220}{290}=11.1 kg/mm^2$$

يلاحظ أنه ليس هناك فرق كبير بين الإجهادين السابقين.

حساب العوارض في الجزء I:

من أجل زاوية ذات أبعاد $4\times 40\times 40$ يمكن أن نجد لها المواصفات التالية:

المقطع: $308 mm^2$

عزم العطالة الأصغري: $1.86 cm^4$

الطول المعرض للانحناء: $1m$

الزاوية مع الأفق: 52

القوة الداخلية في أطول عارضة بالجزء I:

$$\frac{1183}{2\times 0.616}=960kg$$

إجهاد الضغط في أطول عارضة بالجزء I:

$$\frac{960}{308}=3.1kg/mm^2$$

إجهاد الانحناء:

$$3.1\left(1+\frac{0.011\times 308\times 1^2}{1\times 1.86}\right)=8.74kg/mm^2$$

البراغي: قطرها $12mm$

مقطعها $113mm^2$

الإجهاد: $\frac{960}{113}=8.5kg/mm^2$

ب- حساب الجزء II:

- معطيات الجزء II:

ارتفاع هذا الجزء: $7.5m$

القوائم: $L\,55\times 55\times 6$

العوارض $L\,40\times 40\times 4$

البراغي: $\varphi=12mm$

قوة ضغط الهواء على هذا الجزء: $302\,kg$

محصلة القوى الأفقية على قاعدة الجزء II (ضغط الهواء على الجزء II + محصلة القوى الأفقية على الجزء II).

$$1183+302=1485kg$$

الوزن الكلي للجزء I: $881Kg$

وزن الجزء II: $226Kg$

الوزن الكلي للجزء I و II: $1147Kg$

- الحسابات التصميمية

عزوم القوى الأفقية للجزء I تضاف عن قاعدة الجزء II:

$$1183\left(\frac{5191}{1183}+7.5\right)=14000\,kg.m$$

ارتفاع مركز ثقل ضغط الريح: $3.49m$

العزم الناتج عن ضغط الريح: $302\times 3.49=1054\,kg.m$

العزم الكلي عند قاعدة هذا الجزء: $15054Kg.m$

حساب القوائم في الجزء II:

يمكن معرفة خصائص القوائم في هذا الجزء بالرجوع إلى الجداول وبذلك نجد أن الزاوية $L\,55\times 55\times 6$ لها المواصفات التالية:

المقطع: $631mm^2$

عزم العطالة الأصغري: $17.3mm^2$

الطول المعرض للانحناء: $1.1m$

البعد بين مراكز ثقل القوائم في أسفل هذا الجزء $1.168m$

إجهاد الانضغاط الناتج عن العزم:

$$\frac{15054}{2\times 1.168\times 631}=10.12\,kg/mm^2$$

إجهاد الانضغاط الكلي الناتج عن القوى الشاقولية:

$$\frac{1147}{4\times 631}=0.45\,kg/mm^2$$

إجهاد الانضغاط الكلي الناتج عن العزم + القوى الشاقولية:

$$10.66\,kg/mm^2$$

إجهاد التحدب باستخدام معادلة ريزال:

$$10.66\left(1+\frac{0.011\times 631\times 1.1^2}{4\times 17.3}\right)=11.94\,kg/mm^2$$

نحسب المقطع الصافي حيث نفترض وجود ثقبين بقطر 14mm يوافق قطر البرغي 12 mm بالإضافة إلى خلوص 2 mm.

$$S' = S - 2.b.d = 631 - 2 \times 5 \times 14 = 491 mm^2$$

حساب قوة الشد:

$$\frac{15054}{2 \times 1.168} - \frac{1147}{4} = 6157 kg$$

حساب إجهاد الشد:

$$\frac{6157}{491} = 12.5 kg / mm^2$$

فالزاوية المختارة مأمونة.

حساب العوارض في الجزء II:

من أجل زاوية ذات أبعاد $L\,40 \times 40 \times 4$ نجد لها المواصفات التالية:

المقطع: $308 mm^2$

عزم العطالة الأصغري: $1.86 cm^4$

الطول المعرض للتحدب: $1.3m$.

الزاوية مع الأفق: 30

حساب القوة الداخلية في أطول عارضة بالجزء II:

$$\frac{1485}{2 \times 0.857} = 866 kg$$

حساب إجهاد الضغط:

$$\frac{866}{308} = 2.82 kg / mm^2$$

حساب إجهاد الانحناء:

$$2.82\left(\frac{0.011 \times 308 \times 1.3^2}{1.86}\right) = 11.47 kg / mm^2$$

البراغي: قطرها $12 mm$ و مقطعها $113 mm^2$

الإجهاد : $\frac{866}{113} = 7.66\ kg / mm^2$

جـ- حساب الجزء III:

- معطيات الجزء III:

ارتفاع هذا الجزء $7.5m$

ارتفاع هذا الجزء عن سطح الأرض: $7.5-2=5.5m$

القوائم: $L\,60\times60\times6$

العوارض: $L\,50\times50\times4$

البراغي: $\varphi=14\,mm$

ضغط الهواء على هذا الجزء: $290Kg$

قوة القص عند قاعدة الجزء III $1485+290=1775Kg$

وزن الجزء III: $339Kg$

وزن الجزء I و II: $1147Kg$

وزن جميع الأجزاء: $1486Kg$

- الحسابات التصميمية:

عزم القوى الأفقية للجزء I و II تضاف عن قاعدة الجزء III:

$$1183\left(\frac{15054}{1183}+5.5\right)=21560\,kg.m$$

ارتفاع مركز ثقل الريح: $2.648m$

عزم قوة ضغط الريح: $290\times2.648=768\,kg.m$

محصلة العزوم عن قاعدة هذا الجزء:

$$22328\,kg.m$$

حساب القوائم في الجزء III:

خصائص لقوائم في هذا الجزء وبالرجوع إلى الجداول نجد الزاوية $L\,60\times60\times6$ تملك المواصفات التالية:

المقطع: $691mm^2$

عزم العطالة الأصغري: $22.8cm^4$

الطول المعرض للتحدب: $1.38m$

البعد بين مراكز ثقل القوائم عند القاعدة $1.464m$

إجهاد الانضغاط الناتج عن العزم:

$$\frac{22328}{2\times1.464\times691}=11.03\,kg/mm^2$$

إجهاد الانضغاط الناتج عن القوى الشاقولية:

$$\frac{1486}{4\times691}=0.53kg/mm^2$$

محصلة إجهاد الانضغاط الكلي: $11.56kg/mm^2$

إجهاد الانحناء باستخدام معادلة يزال:

$$11.56\left(1+\frac{0.011\times691\times1.5^2}{4\times22.8}\right)=13.72\,kg/mm^2$$

إن المقطع الصافي على فرض وجود ثقبين بقطر الثقب 14mm يوافق البرغي 12 mm بالإضافة إلى خلوص 2 mm هو $523\,mm^2$.

قوة الشد:

$$\frac{22328}{2\times1.464}=7.825\,kg$$

إجهاد الشد:

$$\frac{7625.}{523}=8.36\ \ kg/mm^2$$

حساب العوارض في الجزء III:

من أجل زاوية ذات $L\,50\times50\times4$ لها المواصفات التالية:

المقطع: $389\,mm^2$

عزم العطالة الأصغري: $4.01cm^4$

الطول المعرض للتحدب: $1.54m$

الزاوية مع الأفق: 22.3

حساب القوة الداخلية في أطول عارضة بالجزء III:

$$\frac{1.775}{2\times0.924}=960\,kg$$

حساب إجهاد الضغط:

$$\frac{960}{2\times0.924}=960\,kg$$

حساب إجهاد التحدب:

$$2.46\left(1+\frac{0.011\times389\times1.54}{4.01}\right)=8.53kg/mm^2$$

البراغي: قطرها 14 mm

مقطعها $153\ mm^2$

الإجهاد : $\frac{960}{153}=6.72\,kg/mm^2$

وزن جزء البرج فوق الأرض $1486-569=917kg$

وزن الجزء المغمور : $170Kg$

الوزن الكلي للبرج: $1087Kg$

قوى الشد تكون مساوية $1775Kg$ وعزوم القوى الأفقية $22328Kg.m$

ارتفاع مركز ثقل القوى الأفقية:

$$\frac{22328}{1775}=12.6\,m$$

يجب أن يكون البرج مصنعاً للأجزاء الثلاثة على الشكل التالي:

الجزء I: 5 القوائم L = 50×50×

العوارض L = 40×40×4

الجزء II : 6 القوائم L = 60×60×6

العوارض L = 40×40×4

الجزء III: 7 القوائم L = 70×70×

العوارض L = 50×50×5

الوزن النظري لهذا البرج سيكون 1220 kg

الفصل السادس

تصميم قواعد الحوامل

Foundations design

6-1 مقدمة: Introduction

تستخدم في دراسة قواعد الحوامل علاقات تجريبية تقريبية Empirical formula من أجل اختصار الوقت اللازم لذلك، حيث إن هذه الطرائق تؤدي إلى نتائج مماثلة تقريباً للطرائق الدقيقة، ولكن يجب أن لا يتبادر إلى الذهن أن الطرائق الدقيقة غير مستعملة أبداً إذ إن هذه الطرائق تكتسب أهمية خاصة في حالة التربة السيئة جداً أو في المشاريع ذات الأهمية البالغة [14],[17],[20]. في جميع الأحوال يجب أن تؤمن القاعدة البيتونية استقرار الحامل، ويختلف قياس هذه القاعدة من أرض إلى أخرى حسب طبيعة قساوة هذه الأرض، ويحدد قياس القاعدة عادة مقدار القوى الشاقولية والأفقية والعزوم المؤثرة فيها مع طبيعة التربة في المكان الذي سوف تنشأ فيه هذه القاعدة، يمكن أن تصنف التربة إلى ثلاثة أنواع بحسب قوة تحملها للضغط الشاقولي كما يلي:

1- التربة القوية وتؤخذ عادة قوة تحملها بحدود: 2 kg/cm^2

2- التربة المتوسطة وتؤخذ عادة قوة تحملها بحدود 2.5-3 kg/cm^2

3- التربة الضعيفة وهي التي تكون قوة تحملها أقل من 1 kg/cm^2

هناك أنواع خاصة من التربة لابد من إجراء دراسات عميقة وحلول خاصة لها عند تصميم القواعد التي ستنشأ إليها. بعد دراسة وتحديد مسار خط النقل يتم توقيع الحوامل على المقطع الطولي له و يتم مسح كامل للأرض التي يسير عليها هذا الخط . حيث تؤخذ عدة عينات من التربة على أعماق مختلفة ثم يتم فحصها في المخابر التخصصية، وعلى ضوء النتائج التي تحدد قوة هذه التربة ومختلف معطياتها الهندسية يتم تصميم القواعد . عموماً القاعدة يجب تحقق الشروط التالية :

-شرط تحمل التربة للقوى الشاقولية الناتجة عن الحامل وعن الوزن الذاتي للقاعدة.

-شرط عدم انقلابها نتيجة القوى الأفقية المؤثرة فيها ويسمى شرط استقرار القاعدة.

-عدم انزلاق القاعدة نتيجة القوى الأفقية.[59],[60],[103]

6-2 الخواص الأساسية للتربة:Basic Specifications of Soil

يمكن أن نميز نوعين رئيسين من التربة: تربة سهلة الحراثة (رخوة) وتربة مرنة.

آ- رد فعل التربة سهلة الحراثة (الرخوة) اتجاه القوى المطبقة عليها:

إن رد فعل التربة اتجاه قاعدة الحامل هو محصلة الفرق بين مقاومة خاملة P_r (Passive) ودفع فعال P_a (Active)، إذا افترضنا أن :

δ_t : الوزن النوعي للتربة kg/m^3 .

φ : زاوية الانهيار للتربة.

Z : ارتفاع القاعدة

$$\Rightarrow P_r = \delta_t \tan^2\left(45+\frac{\varphi}{2}\right)Z \qquad (6-1)$$

$$P_a = \delta_t \tan^2\left(45^\circ-\frac{\varphi}{2}\right)Z \qquad (6-2)$$

الشكل (6-1) يبين أبعاد القاعدة وطريقة تأثير القوى P_r P_a.



الشكل(6-1) أبعاد قاعدة حامل

يتبين الشكل (6-1) أنه تحت تأثير محصلة القوة الأفقية F المركزة في قمة العمود، فإن جدار القاعدة BC يخضع لرد فعل كلي P_r والجدار AD لقوة دفع P_a باتجاه القوة F وفق العلاقتين:

$$P_r = \frac{1}{2}\delta_t\, bh_e^2 \tan^2\left(45+\frac{\varphi}{2}\right) \qquad (6-3)$$

$$P_a = \frac{1}{2}\varphi_t\, bh_e^2 \tan^2\left(45-\frac{\varphi}{2}\right) \qquad (6-4)$$

إن نقطة تأثير كل من هاتين المحصلتين فإنها تقع على بعد $h_c/3$ من أسفل القاعدة DC. إن محصلة رد فعل التربة P_i المؤثر في كتلة متوازي المستطيلات المبين في الشكل عند انتقاله أفقياً وفق الفرضية أعلاه يعطى بالعلاقة:

$$P_i = P_p - P_a = \frac{1}{2}\delta_t\left[\tan^2\left(45+\frac{\varphi}{2}\right)-\tan^2\left(45-\frac{\varphi}{2}\right)\right]bh_c^2 = Abh_c^2 \quad (6-5)$$

حيث:

$$A = \frac{1}{2}\delta_t \tan^2\left[\left(45+\frac{\varphi}{2}\right)-\tan^2\left(45-\frac{\varphi}{2}\right)\right] \qquad (6-6)$$

يسمى A المتحول التابع المميز للتربة المدروسة، ويتعلق هذا التابع بزاوية انهيار التربة φ ووزنها النوعي δ_t ويقدر بالوحدة kg/m^3. الجدول (6-1) يبين قيم هذا الثابت لأنواع مختلفة من التربة.

جدول(6-1) قيم الثابت A.

طبيعة التربة	زاوية الانهيار	الوزن النوعي	الثابت
	φ	$\delta_t kg/m^3$	kg/m^3
رمل ناعم	16	1400	280
غضار رطب	22	1300	380
رمل خشن	30	1500	670
غضار جاف	30	1600	700
تربة رطبة	36	1600	960
تربة صلبة	55	2000	3300

ب- رد فعل التربة المتماسكة والمرنة اتجاه القوى المطبقة عليها:

في حالة التربة المتماسكة لا يمكن افتراض أن الضغط في نقطة ما مستقل عن الانتقال (انتقال نقطة تأثير القوى الشاقولية عن أسفل القاعدة). إن رد فعل هذه التربة يتغير حسب طبيعة التربة وعمق النقطة المدروسة في التربة، ويمكن افتراض أن رد الفعل هذا ثابت على عمق محدد داخل التربة. يعبر عن رد الفعل هذا بتابع مميز Q للتربة مقدر بالوحدة kg/m^3. ينتج من ذلك أنه في حال انتقال قدره X فإن الضغط P يعطى بالعلاقة:

$$P = QX \qquad (6-7)$$

لقد تم في سويسرا إجراء تجارب على أوتاد ($20,40,113\ cm^2$) غرزت بمقدار 1cm في الجدار الشاقولي لحفرة فنتجت القيم الوسطية المبينة في الجدول (6-2).

جدول (6-2) قيمة رد فعل التربة Q

نوع التربة	Q kg/cm^3
خفيف ورطب	014-0.3
رمل ناعم جداً	0.2-0.4
رمل خشن	0.3-0.5
دبال (تربة عضوية) موضعة من 8 سنوات	0.7-1.3
توضع حديث لرمل وبحص	1.0-1.5
رمل غضاري في أرض عادية (طبيعية)	4.0-6.0
غضار متماسك، رطب قليلاً	3.0-9.0
حصى متماسك مع رمل (طبيعي)	20.0-25.0

لم يتم في هذه التجارب تعيين أعماق التأثير ولم تعط علاقة تغير التابع Q مع العمق، لقد افترض بعض الباحثين أمثال Mohr, Andree أن قيمة Q تتناسب طرداً مع العمق Z. إذا فرضنا ضمن هذه الشروط أن Q تمثل تابعاً مميزاً آخر مقدراً بالواحدة kg/m^4، فإن رد الفعل P المؤثر في تربة عند عمق Z في حالة انتقال خطي X يعطى بالعلاقة:

$$P = BZX = \frac{Q_c}{C} ZX \qquad (6-8)$$

حيث :

Q_c هي قيمة التابع Q عند عمق C، ويفترض آخرون العلاقة:

$$P = Q.X\sqrt{\frac{Z}{C}} \qquad (6-9)$$

لابد من الإشارة إلى أنه من الصعب افتراض أن قيمة Q ثابتة ومستقلة عن العمق على الأقل في طبقات التربة القريبة من السطح. عادة في التربة المرنة نأخذ بقيمة المقاومة الخاملة (Passive) فقط بينما يهمل الدفع الفعال (Active).

3-6 النماذج الأساسية للقواعد البيتونية: Main Model of Foundations

هناك نوعان من القواعد تستخدم في حوامل خطوط نقل القدرة.

أ- القواعد المشتركة (القواعد الكتلية) Block Or Raft Foundation:

في هذا النوع تشترك القوائم الأربعة للبرج بقاعدة واحدة، تستخدم في خطوط 20kv وما دون، وفي قواعد الأعمدة بشكل عام، وتستخدم أحياناً في خطوط 66kv.

ب- القواعد المنفصلة Spread Foundation:

في هذا النوع من القواعد يكون لكل قائمة من قوائم البرج قاعدة مستقلة، تستخدم هذه القواعد في خطوط النقل الرئيسية 230-400kv وخطوط النقل الثانوية 66kv. تصب هذه القواعد في موقع العمل، أو تكون من الأنواع المسبقة الصنع. في خطوط التوتر العالي جداً تصنع قاعدة ذات مقاطع متدرجة لكل قائمة من قوائم البرج.

6-4 القوى الخارجية المؤثرة في القواعد: External Force at Foundations

قبل البدء بدراسة الطرائق المختلفة المتبعة في تصميم القواعد لابد من التعرف على القوى الخارجية التي تؤثر فيها وهي:

أ- **وزن القاعدة:** الشكل(6-2) يبين مكونات القاعدة.



الشكل (6-2) مكونات القاعدة

وزن القاعدة يشمل مايلي :

- وزن الكتلة الإسمنتية حيث نعتبر أن الوزن النوعي للبيتون $2200kg/m^3$.
- وزن التربة الواقعة فوق الكتلة الإسمنتية مباشرة ويضاف إلى ذلك وزن التربة الملاصقة نتيجة الاحتكاك والتي تمثل جذع الهرم I J D C بعد حذف حجم الموشور E F D C منه كما هو مبين في الشكل (6-2). الزاوية β تسمى زاوية تماسك التربة وتختلف من تربة لأخرى ويجري عادة تحديد هذه الزاوية مخبرياً بعد أخذ عينات منها وفحصها. إن حجم جذع الهرم يعطى بالعلاقة:

$$V=\frac{1}{3}h_1\left(A_0+A_1+\sqrt{A_0\,A_1}\right) \qquad (6-10)$$

إن A0 و A1 تمثلان مساحتي القاعدتين الصغرى والكبرى أي أن:

$$A_0=(a+2h_1\tan\beta)(b+2h_1\tan\beta) \qquad (6-11)$$

$$A_1=ab \qquad (6-12)$$

بعد حساب V وحذف حجم الموشور المشار إليه سابقاً يضرب الحجم الناتج بالوزن الحجمي للتربة وهو يتراوح بين $(1600-1800)kg/m^3$ ينتج لدينا وزن التربة الملاصقة للقاعدة نتيجة الاحتكاك.

ب- قوى الضغط على الوجوه الشاقولية للقاعدة في التربة الرخوة:

بيّنا سابقاً أن هذه القوى تتألف من قوة فعالة وقوة خاملة بحيث تكون محصلة القوى الضاغطة على الوجوه الشاقولية للقاعدة والناتجة عن تأثير التربة:

$$P_i=P_r-P_a=\frac{1}{2}\delta_t\,bh_e^2\left(K_r-K_a\right)=A.b.h_e^2 \qquad (6-13)$$

حيث افترضنا أن الضغط يتناسب مع العمق.

جـ- قوة احتكاك القاعدة مع الأرض:

تعطى هذه القوة بالعلاقة التالية:

$$F=\mu.P \qquad (6-14)$$

حيث :

μ :عامل الاحتكاك.

P : الوزن الكلي ويشمل وزن القاعدة، وزن البرج، وزن النواقل وتوابعها، وزن التربة الواقعة فوقها مباشرة.

د- القوى الأفقية:

تشمل هذه القوى ضغط الريح على البرج والنواقل وقوى الشد في النواقل .

هـ- القوى الشاقولية:

تشمل هذه القوى وزن البرج وتوابعه، وزن الجليد، قوى الضغط الناتجة عن فرق المنسوب.

و- القوى النازعة:

تصادف هذه القوى في الحالات التي تستخدم فيها القواعد المنفصلة، أو في حالة استخدام الحوامل المدعومة كالأعمدة المشدودة بمرس أو الحوامل شكل حرف A.

6-5 تصميم قواعد الأبراج والأعمدة: Foundation Design

هناك عدة طرائق متبعة في تصميم القواعد البيتونية للحوامل، تختلف هذه الطرائق حسب شكل القاعدة (قاعدة مشتركة، قاعدة منفصلة) وحسب الأسس التي يمكن أن تعتمد في دراسة رد فعل التربة وتأثيرها في القاعدة . فيما يلي نستعرض أهم الطرائق المتبعة في تصميم القواعد:

6-5-1 : تصميم القواعد التي تعتمد على الكتلة Block Foundation design :

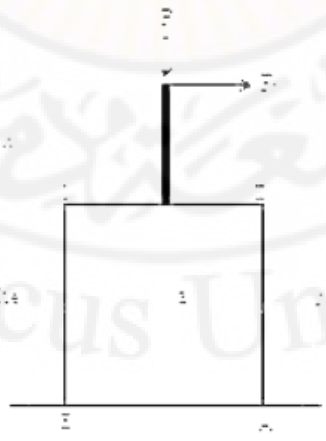
تستخدم هذه الطريقة في تصميم قواعد الأعمدة الخشبية والإسمنتية والفولاذية المفردة في شبكات التوتر المنخفض والمتوسط والإنارة . حسب نوع التربة نميز الحالات التالية :

آ- القاعدة ستنشأ على أرض غير مرنة Non - Elastic Soil:

في هذه الحالة يؤثر في القاعدة القوى التالية:

- القوة الشاقولية P (وزن القاعدة ، الحامل وتوابعه، النواقل) .
- القوة الأفقية F (قوة ضغط الريح على النواقل والبرج وتوابعه).

الشكل (6-3) يبين هذه القوى.



الشكل (6-3) يبين قاعدة موضوعة على أرض غير مرنة

إن القوة الأفقية F تسبب نشوء عزم مقداره $M_r = F_r(h+h_e)$ بالنسبة إلى محور دوران القاعدة AB. هذا العزم يسمى عزم الانقلاب M_r ، ويعمل على جعل القاعدة تدور حول زاوية الحرف A، وعندما تبدأ القاعدة بالدوران فإن محصلة القوى الشاقولية P (وزن القاعدة والحامل) يولدان عزماً يسمى بعزم الإرجاع M_p يعمل على تثبيت القاعدة ويمنعها من الحركة. هذا العزم يعطى بالعلاقة:

$$M_p = P_r \cdot \frac{a}{2} \qquad (6-15)$$

تدعى النسبة $\sigma = \frac{M_p}{M}$ نسبة استقرار البرج.

عادة يتم زيادة طول القاعدة a ما أمكن من أجل زيادة الاستقرار بشرط أن يكون للقاعدة استقرار مماثل بالنسبة للحرف B وذلك عندما تطبق قوى أفقية في اتجاه آخر.

ب- القاعدة ستنشأ على أرض مرنة Elastic Soil:

في هذا النوع من التربة يتناسب الضغط مع الانتقال في التربة (الانتقال هو انزياح نقطة تأثير القوى الشاقولية عن المحور الشاقولي للقاعدة ويرمز له e)، حيث أنه بنقل القوة F إلى الوجه السفلي للقاعدة فإنه ينتج لدينا عزم انقلاب وقوة قص F. إن مقدار العزم الناتج عن القوة F يعطى بالعلاقة (6-16). الشكل (4-6) يبين هذه القوى .

$$M = F(h+h_e) \qquad (6-16)$$

الشكل (6-4) يبين تغير توزيع الإجهادات على التربة

بفرض أن الاحتكاك بين التربة والوجه السفلي للقاعدة كافٍ لمكافأة القوة F. يبقى أن تحسب أبعاد القاعدة بحيث تحقق توازن العزم M والقوة P حسب قوانين مقاومة المواد:

$$P_A = \frac{P}{A} + \frac{M}{Z} \quad , \quad P_B = \frac{P}{A} - \frac{M}{Z} \qquad (6-17)$$

حيث A=ab مساحة الوجه السفلي للقاعدة.

$$Z = \frac{I}{y_{max}} = \frac{1}{6} a^2 b \qquad (6-18)$$

I : عزم عطالة القاعدة حول المحور 'oo .

y_{max} : أقصى بعد للقاعدة عن المحور 'oo.

Z :عامل المقطع للقاعدة .

يمكن مكافأة العزم M بقوة شاقولية P تؤثر في النقطة D ، حيث يكون $M = P.e$ و بالتعويض في العلاقات السابقة:

$$P_A = \frac{P}{ab}\left[1 + \frac{6e}{a}\right] \quad , \quad P_B = \frac{P}{ab}\left[1 - \frac{6e}{a}\right] \qquad (6-19)$$

في هذه الحالة يكون للضغط P_B ثلاث قيم حسب قيمة النسبة $\frac{a}{6}$ هي التالية :

1- $0 \leftarrow P_B \rangle e \langle \frac{a}{6}$ هذه الحالة غير اقتصادية وذلك لأن العزم الناتج عن الضغط لا يكون أعظمياً بالنسبة للمحور 'oo شكل (6-4-B).

2- $P_B = 0$ هذا يؤدي إلى $e = \frac{a}{6}$ في هذه الحالة يتعرض سطح القاعدة بكامله للضغط ويكون العزم الناتج عنه أعظمياً بالنسبة للمحور 'oo وبالتالي فإن هذه الحالة هي أكثر اقتصادية شكل (6-4-C). حيث يصبح: $P_A = \frac{2p}{ab}$.

3- $0 \leftarrow P_B \rangle e \langle \frac{a}{6}$ كما في الشكل(6-4-D)، أي أصبح الضغط على الحرف B سالباً ومعنى ذلك أن جزءاً من القاعدة واقع تحت تأثير الضغط، عندئذٍ لا يمكن تطبيق العلاقة (6-17). وحتى تكون القاعدة مناسبة تصميمياً تفترض أن مساحتها العاملة

$(3\mu b)$ كحد أدنى وبشكل مشابه للحالة 2 يعطى $P_A = 2\frac{P_t}{3\mu b}$. مما سبق نستنتج أنه لتصميم أبعاد القاعدة يجب أن تؤخذ الحالة (3) أي:

$$\frac{M_t}{P_t} = e = \frac{a}{6} \qquad (6-20)$$

تؤخذ الأبعاد a، b بحيث لا تقل عن البعد بين قوائم البرج أو الحامل وبزيادة 30 cm من أجل تثبيت جسم الحامل بالقاعدة الإسمنتية.

- إذا كان البعد $a \le 6e$ فإن القيمة a = 6e تؤخذ بالحسبان يكون.

$$P_A = 2\frac{P_t}{ab} = \frac{12M_t}{a^2 b} ; P_B = 0 \qquad (6-21)$$

يؤخذ الضغط الأعظمي P_A بحيث لا يتجاوز الضغط المسموح $P_{sa} = \frac{P_3}{m}$ حيث P_3 ضغط انهيار التربة، n عامل الأمان. يعطى ضغط انهيار التربة بالجدول (6-3).

جدول (6-3) ضغط انهيار التربة

نوع الأرض	$P_3 \quad kg/cm^2$
صخر مكسر	10-15
مرو أو غضار مكسر وجاف	6-8
مرو أو غضار مكسر ورطب	3
رمل وبحص	5
رمل فيه غضار	2
أرض بكر جافة	2
وحل غضاري ناعم	0.3
أرض مزروعة	1

6-5-2 تصميم القواعد المشتركة : Corporate Foundation Design

تستخدم هذه الطريقة في حساب قواعد الأبراج المعدنية التي تشترك قوائمها الأربعة بقاعدة واحدة، عمليا هنالك عدة طرائق لتصميمها من أهم هذه الطرائق طريقة رانكن.

آ- طريقة رانكن في حساب قاعدة بشكل متوازي المستطيلات موضوعة في أرض رخوة لها رد فعل على السطوح المجاورة:

الشكل (6-5) يبين توزع قوى ضغط التربة حسب رانكن .



الشكل (6-5) توزع قوى ضغط التربة حسب رانكين

من الشكل يتضح أن القوة الأفقية F ستولد عزم انقلاب $M = F\left(h + \frac{2}{3}h_e\right)$ يحاول قلب القاعدة . سوف يتولد في القاعدة نتيجة لذلك عزم إرجاع ينشأ عن فرق الضغط بين الضغط المباشر P_r على الوجه المقابل للقوة F والضغط العكسي P_a على الوجه الآخر . تعطى قوى ضغط رانكن بالعلاقات (6-22)،(6-23).

$$P_r = \delta_t \tan^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) Z \qquad (6-22)$$

$$P_a = \delta_t \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) Z \qquad (6-23)$$

$$P_r = \frac{1}{2}\delta_t h_e^2 b \tan^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) Z \qquad (6-24)$$

$$P_a = \frac{1}{2}\delta_t h_e^2 b \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) Z \qquad (6-25)$$

$$P_t = \frac{1}{2}\delta_t h_e^2 b\left[\tan^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) - \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)\right] \qquad (6-26)$$

بإهمال تأثير الضغط P_3 وبأخذ معادلة العزوم حول C , وليتم الاستقرار يجب أن يكون:

$$F\left(h + h_e\right) \le \frac{1}{3}h_e p_t + p\frac{a}{2} \qquad (6-27)$$

عادة تؤخذ النسب التالية حسب نوع البرج :

- $1.25 \le \frac{M_r}{M_t} \le 1.5$

- $\frac{M_r}{M_t} = 1.5$ بالنسبة لأبراج الشد.

- $\frac{M_r}{M_t} = 1.25$ بالنسبة لأبراج الاستقامة.

حيث:

δ_t : الوزن النوعي للتربة.

φ : زاوية انهيار التربة.

لكي نستفيد استفادة كبيرة من السطح السفلي للقاعدة نعتمد الحالة الثالثة في القواعد التي تعتمد على الكتلة والموضوعة على أرض مرنة حيث يتوزع الضغط بشكل مثلثي على كامل السطح السفلي للقاعدة الشكل(6-4-c).

$$P_3 = \frac{P}{2AB} \le P_{sa} \qquad (6-28)$$

معادلة العزوم حول C:

$$M_t = F(h + h_e) + R\frac{a}{3} = F(h + h_e) + \frac{R^2}{6P_{sa}\,b} \qquad (6-29)$$

$$M_r = \frac{1}{3}h_e\,h_t + P\frac{a}{2} = \frac{1}{3}h_e\,p_t + \frac{P^2}{4bp_{sa}} \qquad (6-30)$$

في المعادلة (6-30) يوجد مجهولان فقط h_e,b يتم تحديدهما بالاستفادة من المعادلة $\frac{M_r}{M} = \sigma$ حيث σ نسبة الاستقرار، والمعادلة الناتجة عن توازن القوى الأفقية هي:

$$P_t = F \qquad (6-31)$$

بحل هاتين المعادلتين، يتم الحصول على قيمة b،h_e اللتين تحققان شرط الاستقرار وشرط تحمل التربة الموجودة أسفل القاعدة.

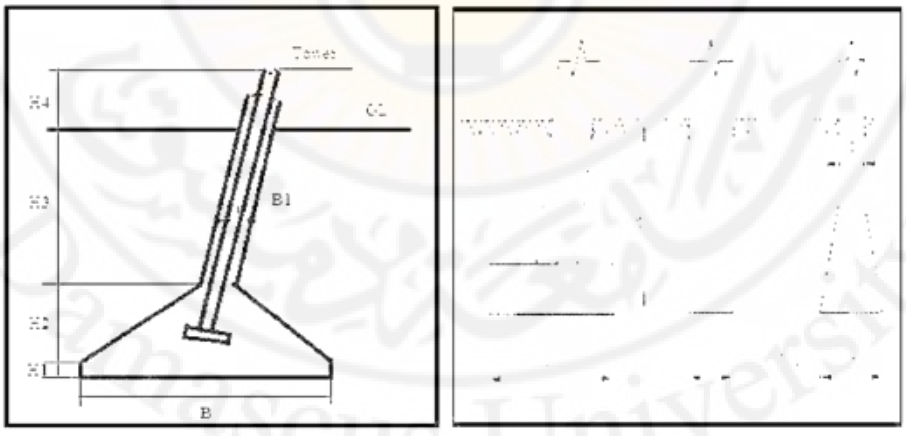
في بعض الأحيان تكون a،b محددة بقيم تتناسب مع أبعاد الحامل وهذه القيم أكبر من القيم المحسوبة بالمعادلات، عندئذ تؤخذ القيم الجديدة لـ a،b وتحسب h_e بدلالتها. تعطى خواص التربة بالجدول (6-4).

جدول(6-4) خواص التربة

طبيعة الأرض	زاوية الانهيار φ	الوزن النوعي δ Kg/m^3
رمل ناعم	16	1400
غضار رطب	22	1300
رمل خشن	30	1500
غضار جاف	30	1600
تربة رطبة	36	1600
تربة متماسكة	55	2000

6-5-3 تصميم القواعد المنفصلة:Separate Foundation design

تستخدم في هذا النوع من القواعد يكون لكل قائمة من قوائم البرج قاعدة منفصلة خاصة بها أي في قواعد أبراج التوتر العالي والعالي جدا". لقد بدأ استعمال هذا النظام في أمريكا ثم في فرنسا توفيراً لمادة الإسمنت .القاعدة الإسمنتية الواحدة تأخذ شكل جذع هرم ينتهي عند القاعدة بسطح تدعيم واسع قليلاً يسمى نعل القاعدة .الشكل(6-6-آ-ب) يبين نموذج هذا النوع من القواعد.



(ب) (آ)

الشكل (6-6) القواعد المنفصلة المستخدمة في الأبراج المعدنية المستخدمة في التوترات العالية

يجب أن يتحقق شرطان حتى يكون تصميم القاعدة صحيحا":

آ- شرط الاستقرار:

يقوم عزم الانقلاب M_o الناشئ عن محصلة قوى ضغط الريح الأفقية المركزة في قمة البرج بمحاولة نزع إحدى قائمتي البرج أي يولد قوة شد فيها، بينما يولد قوة ضغط في القائمتين المقابلتين كما هو مبين في الشكل(6-7). نميز على الشكل مايلي:

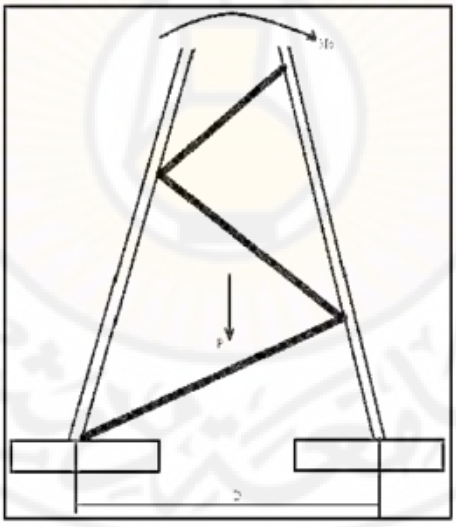
D: هو تباعد القائمين باتجاه قوة الانقلاب.

P: الوزن الكلي للبرج والنواقل والعوازل والقواعد الأربع ووزن التربة المحيط بالقواعد والمتوضعة على شكل جذع هرم يتعلق ميل ضلعه بزاوية انهيار التربة.

V: قوة نزع إحدى القواعد المنفصلة.

K: عامل الأمان.

M_o: عزم الانقلاب



الشكل(6-7) قاعدة برج معدني

عزم الانقلاب:

$$M_o = M_t + F(h_e + h) \qquad (6-32)$$

وعند عدم وجود العزم الخارجي M_t يصبح عزم الانقلاب:

$$M_o = F(h_e + h) \qquad (6-33)$$

القوة النازعة (V):

$$\frac{M_o}{2} = VD \qquad (6-34)$$

$$V = \frac{M_o}{2D} \qquad (6-35)$$

على فرض أن P تمثل الوزن الكامل للبرج والنواقل وتشمل أيضاً وزن القواعد الأربع كما يمكن أن يضاف إلى ذلك وزن التربة المحيطة بالقاعدة، فإن القوة P توزع بالتساوي على القوائم الأربع أي أن قوة الوزن الكلي المؤثرة في كل قاعدة منفصلة تقدر بـ $\left(\frac{P}{4}\right)$ وهي قوة مثبتة للقاعدة. تنشأ حالة عدم استقرار في القاعدة عندما $V \rangle \frac{P}{4}$ ، ولضمان حصول الاستقرار يجب أخذ عامل الأمان K بالحسبان حسب العلاقة التالية:

$$K.\frac{M_o}{2D} = \frac{P}{4} \qquad (6-36)$$

$$K = \frac{PD}{2M_o} \qquad (6-37)$$

تمثل العلاقة الأخيرة شرط الاستقرار للتربة. عملياً فإن قيمة K = 1.5 في حالة أبراج الشد والزاوية و K = 1.2 في أبراج الاستقامة.

ب- شرط تحمل التربة:

إن قيمة الضغط على التربة تعطى بالعلاقة:

$$P_s = \left[\frac{W_t}{4} + W_c + W_s + \frac{M_o}{2D}\right] / A \qquad (6-38)$$

W_t: وزن البرج مع النواقل والعوازل.

W_C: وزن القاعدة الإسمنتية.

W_S: وزن التربة الواقعة فوق القاعدة مباشرة.

M_O: عزم الانقلاب.

D: التباعد بين قوائم البرج.

A: مساحة القاعدة.

يجب أن تكون P_s أقل من قوة تحمل التربة حتى يتحقق هذا الشرط ، ولا يفيد عادة التحقق من هذا الشرط إلا في حالة التربة ذات التماسك الضعيف. إن قوة النزع V تتعلق بطبيعة التربة وطريقة تنفيذ القاعدة، ففي حالة تربة رخوة (غير مرنة) نسبياً أو ذات تماسك معتدل يمكننا عادة افتراض أن القوة اللازمة للنزع تساوي وزن القاعدة، مع وسائل التثبيت ووزن حجم التربة الموجود في جذع هرم قاعدته النعلة، والذي يشكل حول هذه النعلة زاوية قدرها 30 مع الشاقول. إن كتلة التربة المزاحة خلال عملية النزع في التربة عالية التماسك تحدد عموماً ضمن جزء التربة المردوم في الحفرة. عند صب الإسمنت لملء كامل الحفرة في تربة متماسكة جداً لا تسحب عملية النزع لا تسحب عموماً إلا كمية ضئيلة من التربة التي تقاوم الاحتكاك والقص. من جهة أخرى بعد صب الإسمنت في أسفل الحفرة تغرس القاعدة فيها، ثم تتم عملية ردم التربة. عند ذلك تحمل القاعدة قوة نزع ذات قيمة كبيرة، مما يؤمن استقراراً جيداً للبرج. من المفيد عملياً وإذا أمكن ذلك في حالة تربة جيدة أن يتم صب البيتون في كامل الحفرة، وعند ضرورة التنفيذ بطريقة مختلفة فإنه يجب تجميع (تكديس، دك) الحصى بشكل قوى في الأرض حول القاعدة وتوفير نعلة في القاع تدخل تحت الأرض الطبيعية (الأرض الصلبة).

6-5-4 تصميم قواعد الأعمدة: Support Foundation design

آ- قاعدة عمود موجودة في أرض صخرية أو له قاعدة إسمنتية:

يبين الشكل (6-8) عموداً موجوداً في أرض صخرية.



الشكل (6-8) عمود موضوع في أرض صخرية

توزيع إجهاد الضغط: على فرض أن b تمثل عرض العمود (أو قطر العمود الدائري)، فإن قوة الضغط الأفقية:

$$P = P_{t\max}\, b \frac{h_e}{4} \qquad (6-39)$$

عزم القوى الخارجية الأفقية:

$$M_o = F\left(h + \frac{h_e}{2}\right) \qquad (6-40)$$

$$M_o = F\left(h + \frac{h_o}{2}\right) = P_{t\max}\, b \frac{h_o}{4} \frac{2h_o}{3} \qquad (6-41)$$

حول النقطة O. أما الإجهاد الجانبي المؤثر في العمود:

$$P_{t\max} = \frac{6M_o}{bh_e^2}\left(kg/cm^2\right) \qquad (6-42)$$

من العلاقة الأخيرة يمكن حساب b قطر العمود.

ب-قاعدة عمود موضوع في أرض مرنة:

يبين الشكل (6-9) عموداً موضوعاً في أرض مرنة. في هذه الحالة يدور العمود حول النقطة O على بعد ثلثي ارتفاع الغرس بدءاً من وجه الأرض، ولهذا الافتراض مسوغاته حيث يتوزع ضغط التربة في الجزء المغمور من العمود حسب الشكل (6-10).



الشكل (6-9) عمود موضوع في أرض مرنة **الشكل (6-10) مخطط ضغط التربة على عمود موضوع في أرض مرنة**

P_{ty}: الضغط الجانبي على التربة في نقطة تبعد y عن وجه الأرض.

$$P_{p'} = \frac{P_t \max}{h_e^2}\left(2h_e^2 - 3y\right)y \qquad (6-43)$$

وهي معادلة قطع مكافئ. إن العزم الذي ينتقل إلى التربة عبر الوجه الأمامي والخلفي للعمود يعطى بالعلاقة:

$$M_t = \int_0^{h_e} b.p(_y).y.dy \qquad (6-44)$$

6-6 تطبيقات:

تطبيق 1:

لدينا برج له قاعدة مشتركة لأرجله الأربعة شكل (6-11) ، ارتفاعه فوق سطح الأرض 17m، قيمة القوة الأفقية المؤثرة في النواقل والعوازل هي (500 kg). القوة الأفقية المؤثرة في البرج نفسه (480kg)، وزن البرج والنواقل والعوازل (1500 kg)، والمطلوب التحقق من أبعاد قاعدة هذا البرج.

- تؤخذ قوة تحمل التربة $2.5kg/m^2$.
- الوزن الحجمي للبيتون $2200kg/m^3$.

يهمل وزن التربة الواقعة فوق القاعدة مباشرة والتربة المحيطة وقوى الضغط الجانبي للتربة.



الشكل (6-11) قاعدة مشتركة لبرج

الحل:

نفرض أن ارتفاع القاعدة الكامل هو 2.4 m.

- عزم الانقلاب:

$$M_o = 500(17+2.4)+480(8.5+2.4)$$

$$M_o = 14932\,kg.m$$

- العزم المثبت:

$$M_s = 1500.\frac{2.4}{2}+W_c.\frac{2.4}{2}$$

حيث W_c وزن القاعدة البيتونية.

ولنفرض أن هذا البرج يمثل برج نهاية شد أو برج زاوية ولنأخذ عامل الأمان (k = 1.5) فلاستقرار البرج:

$$1500.\frac{2.4}{2}+W_c.\frac{2.4}{2}=1.5\times 14932$$

ومنه فإن وزن القاعدة:

$$W_c = 17651kg$$

حجم القاعدة:

$$V_c = \frac{17651}{2200}=8.023m^3$$

حجم النعل:

$$V_b = 2.4\times 2.4\times 0.45 = 2.59m^3$$

حجم الساق:

$$V_{leg} = 8.023-2.59 = 5.433m^3$$

أبعاد الساق:

$$1.95\times 1.7\times 107$$

التحقق من شرط تحمل التربة: إن الوزن القائم للبرج والقاعدة:

$$P = W_c + w_p = 17165+1500 = 18665kg$$

$$u=\frac{a}{2}-\frac{a}{6}=\frac{a}{3}$$

تجري المقارنة بين e و $\frac{a}{6}$ أو u و $\frac{u}{3}$.

$$u=\frac{a}{3}\quad e=\frac{a}{6}\quad u\langle a/3$$

$$u\rangle\frac{a}{3}\quad e\langle a/6\quad e\rangle a/6$$

$$u=\frac{a}{2}-\frac{M_o}{P}=\frac{2.4}{2}-\frac{14932}{18665}=0.4m\Rightarrow u=0.4m\langle\frac{a}{3}=0.8$$

ومنه فإن قيمة الانزياح: $e\rangle a/6$

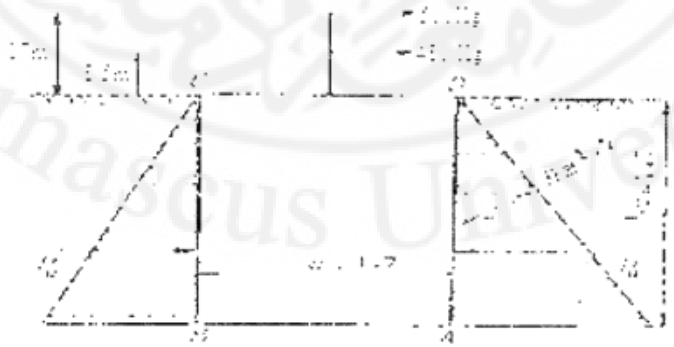
في هذه الحالة نرى أن الانزياح أصبح كبيراً وعندئذٍ يصبح الجزء الفعال من مساحة القاعدة هو (3 u.b) وفي هذه الحالة يصبح الإجهاد:

$$\sigma=\frac{2W_1}{3ub}=\frac{2\times18665}{3\times0.4\times2.4}=12961.8kg/m^2\approx1.3kg/cm^2$$

وهذه القيمة أصغر من 2.5 والتي تمثل تحمل التربة أي أن الأبعاد مقبولة.

تطبيق2:

لدينا قاعدة على شكل متوازي مستطيلات شكل (6-12) أبعادها $(170\times170\times170)cm$ تؤثر فيها القوى السابقة نفسها والمطلوب التحقق من صلاحية أبعاد هذه القاعدة مع الأخذ بالحسبان وجود رد فعل التربة على السطوح الشاقولية لهذه القاعدة.



الشكل (6-12) قاعدة برج موضوعة في تربة رخوة

الحل:

1- وزن القاعدة:

$$W_c = 1.7 \times 1.7 \times 1.7 \times 2200 = 10808.6\,kg$$

2- الوزن القائم للبرج والقاعدة:

$$P = 10808.6 + 1500 = 12308.6\,kg$$

3- حساب عزم الانقلاب:

$$Mo = 500(1.7+1.7) + 480(8.5+1.7) =$$

$$= 9350 + 4896 = 14246\,kg.m$$

لقد فرضنا أن البرج يمثل برج نهاية شد أو برج زاوية (k = 1.5):

$$M_o K = 1.5 \times 14246 = 21369\,kg.m$$

4- حساب العزم المثبت:

$$M_s = p\frac{a}{2} + P\left(\frac{h_c}{3}\right)$$

P_i : محصلة ردود فعل التربة على الوجوه الشاقولية.

يتم حساب P_i بوساطة عوامل رانكن على الشكل التالي:

$$P_i = P_r - p_a = \frac{1}{2}\delta_t\, b h_c^2 \left[\tan^2\left(45+\frac{\varphi}{2}\right) - \tan^2\left(45-\frac{\varphi}{2}\right)\right]$$

سوف نفترض أن $\varphi = 14$ ونفرض $\delta_t = 2200$ ومنه:

$$P_i = \frac{1}{2} 2200 \times 1.7 \times (1.7)^2 \left[\tan^2\left(45+\frac{14}{2}\right) - \tan^2\left(45-\frac{14}{2}\right)\right]$$

$$P_i = 5555\,kg$$

وبناء عليه:

$$M_s = 12300 \times \frac{1.7}{2} + 5555 \times \frac{1.7}{3} = 15177\,kg.m$$

$$\frac{M_s}{M_o} = \frac{15177}{14246} = 1.06 \langle K = 1.5$$

إذاً الأبعاد التي جرى اختيارها لهذه القاعدة غير مناسبة.

- نختار قاعدة بارتفاع 2.5m مع بقاء البعدين الآخرين 1.7×1.7.

1- وزن القاعدة:

$$W_c = 2.3 \times 1.7 \times 1.7 \times 2200 = 15895 kg$$

2- الوزن القائم للبرج والقاعدة:

$$P 15895 + 1500 = 17396 kg$$

3- حساب عزم الانقلاب:

$$M_o = 500(17 + 2.5) + 480(8.5 + 2.5) = 15030 kg.m$$

$$P_i = \frac{1}{2} 2200 \times 1.7 \times (2.5)^2 \left[\tan^2 52 - \tan^2 38\right] = 12051 kg$$

$$M_s = 17396 \times \frac{1.7}{2} + 12051 \times \frac{2.5}{3} = 24829 kg.m$$

عامل الأمان (الاستقرار):

$$K = \frac{24829}{15030} = 1.65$$

وهذا يعني أن الأبعاد التي جرى اختيارها مؤخراً مناسبة من حيث تأمين استقرار البرج.

تحقق شرط تحمل التربة:

$$u = \frac{a}{2} - \frac{M_o - \frac{P_i h_c}{3}}{P} = \frac{1.7}{2} - \left[\frac{15030 - \frac{(2051 \times 2.5)}{3}}{17395}\right] = 0.56 m$$

ملاحظة:

بما أنه تم الأخذ بالحسبان بردود فعل التربة على الوجوه الشاقولية فلابد من أخذ عزوم هذه القوى لتحديد العزم الصافي على القاعدة والذي بدوره يحدد مقدار انزياح مركز الثقل.

$$a/3 = \frac{1.7}{3} = 0.57 \rangle u$$

ومنه فإن:

$$\sigma = \frac{2P}{3bu} = \frac{2\times 17395}{2\times 1.7\times 0.56} = 1.22\, kg/cm^2$$

$$\sigma_M = 1.22 \langle \sigma_s = 2.5 kg/cm^2$$

فالإجهاد الناتج هو ضمن الحدود المقبولة.

تطبيق3:

لدينا عمود من البيتون عرض قاعدته 10cm ، موضوع في الأرض بغرس قيمته 1.2 m، على فرض أن القوة الأفقية المؤثرة في العمود هي 750 kg وعلى ارتفاع 8m من وجه الأرض المطلوب إيجاد الضغط الأعظمي على حرف القاعدة الإسمنتية.

➢ **الحل:**

$$M_o = 750(800+60) = 645000 kg.m$$

$$P_{max} = \frac{6\times 645000}{10\times (120)^2} = 26.8 kg/cm^2$$

ملاحظة: تؤخذ قوة القواعد الإسمنتية كالتالي:

- صبة إسمنتية، عادة تؤخذ $12:30 kKg/cm^2$.
- صبة إسمنتية عالية الجودة $55 kg/cm^2$.

بيتون مسلح (صبة مسلحة) $48.85 kg/cm$.

تطبيق 4:

المطلوب إيجاد مسافة الغرس لعمود موضوع في أرض صخرية قطره 24cm طبقت عليه قوى أفقية قدرها 800kg وعلى ارتفاع 12m علماً أن قاعدة العمود هي قاعدة بيتونية وتتحمل ضغطاً $20 kg/cm^2$.

الحل:

$$M = F\left(h + \frac{h_c}{2}\right) = P_{max\,b}\,\frac{h_c^2}{6}$$

$$M = 800\left(1200 + \frac{h_c}{2}\right) 20.24.\frac{h_c^2}{6}$$

$$h_e^2 - 5h_e - 12000 = 0$$

$$h_e = 112\,cm$$

مسافة الغرس.

تطبيق 5:

برج وزنه 3581kg، وزن النواقل والعوازل 1200kg، ارتفاعه الكلي 24m ، ارتفاع القسم المغروز في الأرض 2.4m، القوة الأفقية المكافئة المؤثرة في قمة البرج 3939kg، للبرج أربع قواعد بيتونية مرتبة محاورها على رؤوس مربع ضلعه 4.8m، ارتفاع القاعدة 2.4m ومقطعها مربع ضلعه 0.9 ، والمطلوب: دراسة اتزان هذا البرج وتحمل التربة، يؤخذ الوزن النوعي للتربة $1600kg/m^3$ وللبيتون $2200kg/m^3$، زاوية انهيار التربة 30°، قوة تحمل التربة $3\ kg/cm^2$.

الحل:

عزم الانقلاب عند أسفل القاعدة $M_o = 3939 \times 24 = 94536\,kg.m$

وزن البرج والنواقل $W_t = 3581 + 1200 = 4781\,kg$

وزن القواعد البيتونية $W_c = 0.9 \times 0.9 \times 2.4 \times 4\,2200 = 17107\,kg$

حجم التربة المحيطة بالقاعدة الواحدة:

$$V = \frac{1}{3}\left(A_o + A_1 + A_o A_1\right)h_e - A_o h_e$$

$$A_o = 0.9 \times 0.9 = 0.81\,m^2$$

$$A_1 = (0.9 + 2 \times 2.4 \times \tan 30)^2 = 13.47\,m^2$$

$$V = \frac{1}{3}2.4(0.81 + 13.47 + 3.28) - 0.81 \times 2.4 = 12.06\,m^3$$

وزن التربة المحيطة بالقواعد:

$$4 \times 12.06 \times 1600 = 77184$$

الوزن الكامل المؤثر:

$$P = W_t + W_c + W_s$$

$$= 4781 + 17107 + 77184 = 99072\,kg$$

عامل الاستقرار :

$$K = \frac{PD}{2M_o} = \frac{99072 \times 4.8}{2 \times 94536} = 2.5$$

شرط تحمل التربة: تعطى قيمة ضغط التربة بالعلاقة:

$$P_s = \left(\frac{\omega_t}{4} + \omega_c + \omega_s + \frac{M_o}{2b} \right) / A$$

$$= \left(\frac{4781}{4} + \frac{17107}{4} + 0 + \frac{94536}{2 \times 4.8} / (0.9)^2 10^4 \right)$$

$$= 1.891\,kg/cm^2 \langle 3\,kg/cm^2$$

وقل رب زدني علما
Damascus University

الباب الرابع

تصميم شبكات توزيع التوتر المنخفض 0.4kV

Low Voltage 0.4 kV networks Design

في هذا الباب سوف نقدم معلومات عن تصميم شبكات توزيع وخطوط نقل القدرة الكهربائية ، إن المعلومات التي ستقدم في هذا الفصل بنيت بناءً أساسياً على المعلومات الواردة في فصول الباب الثالث ، لذلك أثناء قراءة فقرات فصول هذا الباب سيضطر القارئ إلى الوصل الدائم ما بين هذه الفقرات وفقرات فصول الباب الثالث .سنقدم في هذا الباب أربعة فصول تتركز حول الأسس والخطوات العملية لتصميم شبكات توزيع القدرة الكهربائية ، وستتم الإشارة أيضاً إلى المبادئ العامة لتصميم خطوط نقل التوتر العالي ، عناوين هذه الفصول هي التالية :

الفصل الأول : أسس حساب الحمولات في شبكات التوزيع الكهربائية.

الفصل الثاني : التصميم الميكانيكي لشبكات التوزيع الكهربائية الهوائية .

الفصل الثالث : التصميم الميكانيكي لشبكات التوزيع الكهربائية الأرضية.

الفصل الرابع : تصميم مراكز التحويل 20/0.4 KV في شبكات التوزيع الكهربائية.

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل الأول

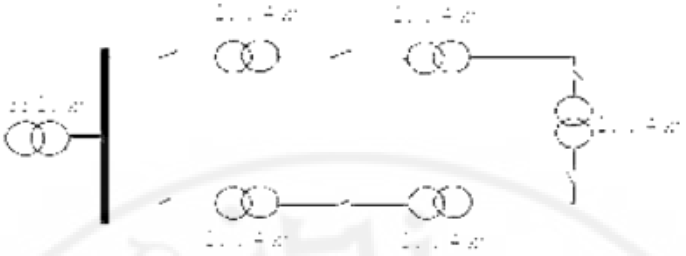
أسس حساب الحمولات في شبكات التوزيع الكهربائية

Basic Electrical load Calculations in Distribution Electrical Networks

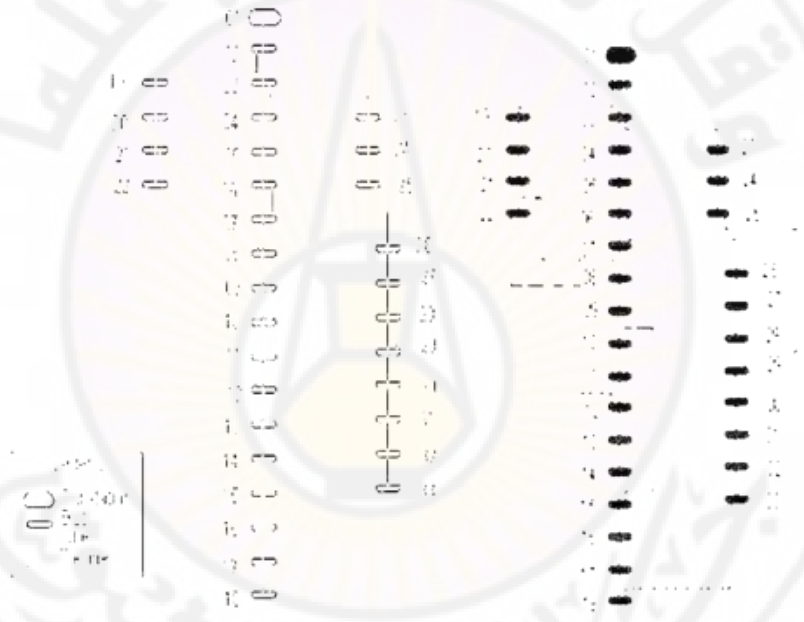
1-1 مقدمة :Introduction

يقصد بمصطلح شبكات التوزيع الكهربائية في هذا الفصل ، شبكات توزيع القدرة الكهربائية منخفضة ومتوسطة التوتر بنوعيها الهوائي والأرضي. تستخدم شبكات توزيع الطاقة الكهربائية من أجل إيصال القدرة الكهربائية إلى المستهلكين ضمن الأحياء في المدن والضواحي والأرياف. تصمم شبكات التوزيع على تصميماً حلقياً بينما تشغل تشغيلاً شعاعياً ، يتم الانتقال من الشكل الحلقي إلى الشكل الشعاعي بوضع قواطع على مسارات الخطوط في مرحلة التنفيذ ثم تفتح هذه القواطع عند التشغيل . ومن ثم يصبح الوضع التشغيلي لهذه الشبكات بأن تنطلق مجموعة من الخطوط الهوائية أو الأرضية من مركز التحويل باتجاه الأحمال. الشكل(1-1) يبين طريقة تصميم شبكة توزيع من حلقة واحدة مزودة بقواطع من أجل تشغيلها بشكل خط مغذى من طرف واحد. الشكلان (1- 2-آ- ب) يوضحان طوري التصميم والتشغيل لشبكة توزيع تتألف من 33 باسبار حيث الباسبار رقم1 يمثل باسبار المحولة أما باقي الباسبارات فهي باسبارات الأحمال . الخطوط المتقطعة على الشكل(1-2- آ) مثل الخط الواصل بين الباسبارين 21-08 وكذلك ما بين 25-29 تمثل الخطوط التي ركبت فيها القواطع والتي تعطي الشبكة الشكل الحلقي . بعد فتح القواطع (تم تحقيق ذلك بحذف تلك الخطوط التي تمثل القواطع) حصلنا على الشكل(1-2-ب) الذي يبين الشكل الشعاعي لشبكة التوزيع.

.[90],[88],[81]



الشكل(1-1) شبكة توزيع من حلقة واحدة



(أ) شبكة توزيع توتر منخفض أثناء طور التصميم(مغلقة)

(ب) شبكة توزيع توتر منخفض أثناء طور التشغيل بعد فتح القواطع

الشكل(1-2) شكل شبكة التوزيع في طوري التصميم والتشغيل

1-2 الأعمال التحضيرية من أجل تصميم شبكة توزيع :Basic Works

عند القيام بالدراسة التصميمية لمشروع شبكة توزيع هوائية كانت أم أرضية لابد من اتباع الخطوات التالية وإنجازها:

1-تحضير المخطط المعماري للمنطقة التي ستنفذ فيها الشبكة من الجهة المصممة له.

2-تحديد مسارات خطوط الشبكة على المخطط المعماري .

3-استطلاع المسارات على الواقع والتأكد من مدى إمكانية تنفيذ الخطوط مستقبلاً.

4-تعديل المسارات على المخطط بعد استطلاعها على الواقع إذا تطلب الأمر ذلك.

5-إنجاز مذكرة حسابية تشمل :

- دراسة طبيعة الأحمال التي ستغذيها الشبكة ونوع هذه الأحمال، وتجميعها في مجموعات (أحمال سكنية، تجارية، صناعية.)
- تحديد عوامل الاستخدام والتباين لكل مجموعة من الأحمال وفق النورمات.
- تحديد استطاعة المتر المربع الواحد لكل مجموعة أحمال وفق النورمات
- حساب استطاعة الأحمال مع الأخذ بعين الاعتبار تطور الحمولة لفترة لا تقل عن 10 سنوات .
- تحديد استطاعة المحولات وعددها، وكذلك تحديد أماكن توضعها حيث تكون قريبة من مراكز الأحمال التي تغذيها.
- حساب مقاطع الكابلات أو الخطوط الهوائية ، ورسم مخطط مساراتها ومقاطع في هذه المسارات تبين طريقة مد الكابلات أو الخطوط الهوائية.
- تصميم لوحات التوزيع الرئيسية والفرعية (تحديد أبعاد اللوحة- تحديد عيار القاطع الرئيسي والقواطع الفرعية – مقطع الباسبارات المستخدمة للتوزيع – ضمن اللوحة – الحمايات اللازمة – تأريض اللوحة).

6- تصميم مراكز التحويل وتشمل :

- أماكن توضع مراكز التحويل .
- المخطط المعماري لبناء مركز التحويل إذا كان المركز أرضياً، أو مخطط العمود الحامل للمحولة إذا كان مركز التحويل هوائياً .
- مخططات تبين مكان وطريقة توضع التجهيزات ضمن مركز التحويل وطريقة توصيلها، وكذلك طريقة دخول الكابلات إلى مركز التحويل وخروجها منه .
- مخططات التأريض والحماية من الصواعق .

7-تنظيم جداول الكميات ودفاتر الشروط الفنية، وتنظيم الإضبارة بشكلها النهائي.

3-1 حساب استطاعة الحمولات وتقديرها:Power Loads calculations

في حساب استطاعة الحمولات الكهربائية نميز بين حالتين:

آ- أحمال المنطقة التي ستغذيها الشبكة مدروسة إفرادياً بصورة مسبقة (شبكات التيار القوي والضعيف) ، في هذه الحالة يمكن معرفة استطاعة المنطقة الكلية بسهولة .

ب- أحمال المنطقة التي ستغذيها الشبكة لم تدرس بعد ، في هذه الحالة يتم تقدير الحمولات بالاعتماد على النورمات العالمية. وفي كلتا الحالتين يجب أن يتم حساب الإستطاعه النهائية بناءً على عوامل الاستخدام والتباين .

1-3-1 تقدير استطاعة الحمولات الكهربائية :

لقد حددت المواصفة العالمية IEC 60364 الخاصة بالتجهيزات الكهربائية ضمن المباني قيمة استطاعة المتر المربع الواحد لمختلف الأحمال الكهربائية. عملياً يمكن اعتماد الجدولين(1-1) (1-2) من أجل تقدير استطاعة الحمولات.

جدول(1-1) تقدير استطاعات الأحمال حسبIEC 60364

Fluorescent lighting (corrected to cos φ = 0.86)

Type of application	Estimated (VA/m²) fluorescent tube with industrial reflector(1)	Average lighting level (lux = lm/m²)
Roads and highways storage areas, intermittent work	7	150
Heavy-duty work: fabrication and assembly of very large workpieces	14	300
Day-to-day work: office work	24	500
Fine work: drawing offices high-precision assembly workshops	47	1000

Power circuits

Type of application	Estimated (VA/m²)
Pumping station, compressed air	3 to 6
Ventilation of premises	23
Electrical convector heaters: private houses flats and apartments	113 to 146 90
Offices	25
Dispatching workshop	50
Assembly workshop	70
Machine shop	300
Painting workshop	350
Heat-treatment plant	750

(1): example: 85 W tube operating at nothing used: flux 5,100 lumens (lm), luminous efficiency of the tube = 76.5 lm/W.

جدول (1-2) تقدير استطاعات الأحمال الكهربائية حسب VDE0100,VDE0101

المكان	رياض أطفال	مدارس	مراكز خدمية وتجارية	مركز صحي	مركز ديني	سكني
الاستطاعة W/m2	50	50	150	200	100	70

2-3-1 عوامل الاستخدام والتباين :Using factors

عملياً لايتم تشغيل الأحمال الكهربائية دائما في آن واحد، وإنما يتم تشغيلها بأوقات متباينة ولفترات زمنية غير متزامنة، أي إن الأحمال لاتملك ذروات متطابقة وإنما متباينة زمنياً. لذلك يمكن التخفيف من استطاعة الأحمال قليلاً الأمر الذي ينعكس على التخفيف من مساحة مقاطع الكابلات واستطاعة محولات التوزيع . العوامل التي يتم على أساسها تخفيض الاستطاعة تدعى بعامل الإستخدام وعامل التباين .

-عامل الاستخدام للشقق السكنية:

يقدر هذا العامل مقدار استهلاك الشقة من الاستطاعة كنسبة مئوية من مجموع الاستطاعة الاسمية لجميع التجهيزات الكهربائية الموجودة ضمن الشقة الواحدة. تقدر قيمة هذا العامل بحدود 80% للأحمال السكنية . الجدول (1-3) يعطى قيم عامل الاستخدام لبعض الأحمال الكهربائية .

جدول (1-3) قيم عامل الاستخدام لبعض الأحمال الكهربائية .

Circuit function		Factor of simultaneity (ks)
Lighting		1
Heating and air conditioning		1
Socket-outlets		0.1 to 0.2 [1]
Lifts and catering hoists [2]	For the most powerful motor	1
	For the second most powerful motor	0.75
	For all motors	0.60

[1]: In certain cases, notably in industrial installations, this factor can be higher.
[2]: The current to take into consideration is equal to the nominal current of the motor, increased by a third of its starting current.

-عامل التباين:

يعبر هذا العامل عن النسبة المئوية لتخفيض استطاعة الأحمال بناء على عدد الشقق في الطابق الواحد، والبناء كاملاً نتيجة عدم تطابق الذروات في شقق المبنى. ويمكن اعتماد الجدول (1-4) لتحديد قيمة هذا العامل حسب عدد الشقق.

جدول (1-4) قيم عامل التباين للأحمال السكنية

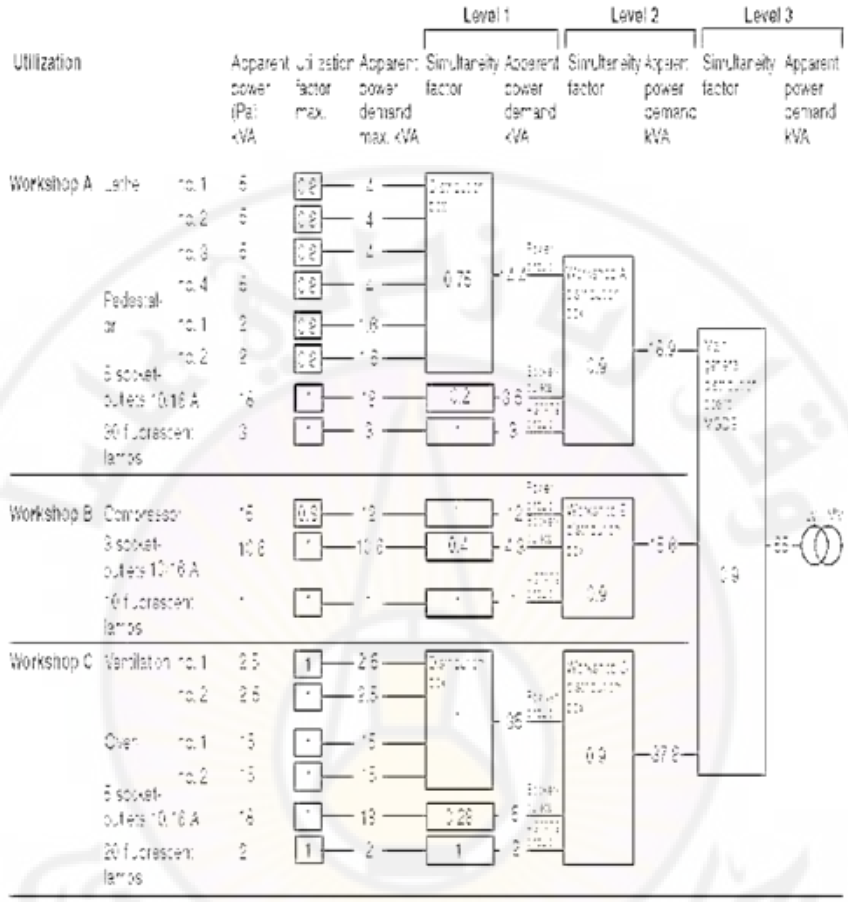
Number of downstream consumers	Factor of simultaneity (ks)
2 to 4	1
5 to 9	0.73
10 to 14	0.63
15 to 19	0.53
20 to 24	0.49
25 to 29	0.46
30 to 34	0.44
35 to 39	0.42
40 to 49	0.41
50 and more	0.40

الشكل (1-3) يبين مثالاً لطريقة حساب عامل التباين في مبنى .



الشكل (1-3) طريقة حساب عامل التباين في مبنى .

حسب الجدول (1-4) والشكل (1-3) نبدأ بحساب عامل التباين بدءاً من الطابق الرابع إلى الطابق الأرضي ، حيث نراكم عدد الشقق عند كل طابق ثم نحدد عامل التباين من الجدول. أما الشكل(1-4) فيوضح طريقة حساب عامل التباين لأحمال متنوعة في الشبكة.



الشكل(1–4) طريقة حساب عامل التباين لأحمال متنوعة في الشبكة .

الجدول (1–5) يبين قيم عامل التباين حسب عدد الدارات .

جدول (1–5) قيم عامل التباين حسب عدد الدارات .

Number of circuits	Factor of simultaneity (ks)
Assembly entirely tested 2 and 3	0.9
4 and 5	0.8
6 to 9	0.7
10 and more	0.6
Assembly partially tested to every case choose	1.0

1-3-3 : تطبيقات :

لتكن لدينا ضاحية سكنية ما، الأحمال في هذه الضاحية متنوعة من أحمال سكنية، خدمية، تجارية. المطلوب تقدير الحمولة الكهربائية الكلية .

الحل:

1- من المخطط المعماري يمكن حساب مساحات جميع الأحمال، إن حاصل جداء المساحة بالاستطاعة المناسبة من الجدولين (1-1)،(1-2) يمكن حساب استطاعات جميع الأحمال. لكن الواقع التشغيلي والاستثماري يقول إننا لسنا في حاجة إلى كل الاستطاعة المحسوبة وفق الجدول (1)، إذ ليست كل الأحمال في المكان الواحد قيد التشغيل معاً(في شقة سكنية مثلا لاتعمل كل التجهيزات الكهربائية في آن معاً)، لذلك للحصول على قيمة الاستطاعة النهائية للمكان نضرب الاستطاعة المحسوبة من الجدولين (1-1)،(1-2) بعامل الاستخدام من الجدول(1-3) وعامل التباين من الجدول(1-4). ثم ننظم النتائج بالجدولين(1-6)،(1-7)التالي :

جدول(1-6) استطاعات أحمال الأبنية السكنية.

S KVA	Pf kw	Pgf kw	Pg kw	Ptb kw	K2	Pt kw	P1kw/m^2	K1	Am^2	Nh	Nb
110	104	20	12	72	0.5	7.4	0.07	0.8	132	20	1
109	104	20	12	72	0.49	7.4	0.07	0.8	132	20	2
218	207	20	19	168	0.4	6.7	0.07	0.8	119	63	3
123	117	20	12	86	0.46	7.4	0.07	0.8	133	25	4
137	130	20	12	98	0.42	6.7	0.07	0.8	119	35	6
218	207	20	19	168	0.4	6.7	0.07	0.8	119	63	8
162	154	20	19	115	0.41	6.7	0.07	0.8	119	42	10
182	173	20	15	137	0.41	7.4	0.07	0.8	133	45	12
297	282	20	12	250	0.4	7.4	0.07	0.8	133	48	13
207	197	20	12	166	0.4	7.4	0.07	0.8	132	56	14
257	244	20	15	209	0.4	7.4	0.07	0.8	133	70	15
161	153	20	12	121	0.41	7.4	0.07	0.8	132	40	16
161	153	20	12	121	0.41	7.4	0.07	0.8	132	40	17
137	130	20	12	98	0.44	7.4	0.07	0.8	133	30	18
123	117	20	12	86	0.46	7.4	0.07	0.8	133	25	19

273	259	20	15	223	0.4	7.4	0.07	0.8	133	75	20
293	278	20	19	238	0.4	7.4	0.07	0.8	133	80	21
273	259	20	15	223	0.4	7.4	0.07	0.8	133	75	22
273	259	20	15	223	0.4	7.4	0.07	0.8	133	75	23
127	121	20	15	86	0.46	7.4	0.07	0.8	133	25	24
144	137	20	19	98	0.42	6.7	0.07	0.8	119	35	25
127	121	20	15	86	0.46	7.4	0.07	0.8	133	25	26
127	121	20	15	86	0.46	7.4	0.07	0.8	133	25	27
162	145	20	19	151	0.41	6.7	0.07	0.8	119	24	28
174	165	20	12	133	0.41	7.4	0.07	0.8	132	44	29
174	165	20	12	133	0.41	7.4	0.07	0.8	132	44	30
174	165	20	12	133	0.41	7.4	0.07	0.8	132	44	31
152	144	20	12	112	0.42	7.4	0.07	0.8	132	36	34
152	144	20	12	112	0.42	7.4	0.07	0.8	132	36	35
152	144	20	12	112	0.42	7.4	0.07	0.8	132	36	36
140	133	20	15	98	0.42	7.4	0.07	0.8	133	30	37
144	137	20	19	98	0.42	6.7	0.07	0.8	119	35	38
218	207	20	19	168	0.4	6.7	0.07	0.8	119	63	39
114	108	20	15	73	0.49	7.4	0.07	0.8	133	20	40
144	137	20	19	98	0.42	6.7	0.07	0.8	119	35	41
144	137	20	19	98	0.42	6.7	0.07	0.8	119	35	42
152	144	20	12	112	0.42	7.4	0.07	0.8	132	63	43
218	207	20	19	168	0.4	6.7	0.07	0.8	119	63	45
110	104	20	12	72	0.49	7.4	0.07	0.8	132	20	46
110	104	20	12	72	0.49	7.4	0.07	0.8	132	20	47
110	104	20	12	72	0.49	7.4	0.07	0.8	132	20	48
140	133	20	15	98	0.44	7.4	0.07	0.8	133	30	49
127	121	20	15	86	0.46	7.4	0.07	0.8	133	25	50
	6884									مجموع (kw)p	

جدول (1-7) جدول استطاعات الأحمال الخدمية.

S KVA	Pf Kw	Pgf kw	Pg Kw	Pf kw	K2	K1	P1 Kw/m²	A m²	وظيفة المكان
148	141	20	12	109	0.7	0.8	0.2	972	صحي /7/

المدرسة /9/	1260	0.05	0.8	0.7	35	0	20	55	58
التجاري /5/	3060	0.15	0.8	0.7	257	12	20	289	304
تجاري /11/	3060	0.15	0.8	0.7	257	0	20	277	292
تجاري/33/	1089	0.15	0.8	0.7	91	7	20	118	124
جامع /32/	1442	0.1	0.8	0.7	81	0	20	101	106
روضة /51/	800	0.05	0.8	0.7	22	12	20	54	57
تجاري /44/	3060	0.15	0.8	0.7	257	9	20	286	301
شبكة الشوارع والإنارة	-	-	-	-	-	-	-	40	42
حدائق عامة	-	-	-	-	-	-	-	40	42
مجموع الاستطاعات pl								1401	

Nb: رقم البناء.
Nh: رقم الشقة.
A: مساحة الشقة.
K1: عامل الإستخدام.
P1: استطاعة المتر المربع الواحد.
Pt: استطاعة الشقة الواحدة.
K2:عامل التباين.
Pt: استطاعة الطابق
Ptb: استطاعة مجموع الشقق .
Pg: استطاعة الكراج.
Pgf:استطاعة القبو.
Pf: الاستطاعة الكلية للبناء.
S: الاستطاعة الظاهرية .

من الجدولين (1-6) و(1-7) نجد أن الاستطاعة الإجمالية للأحمال مقدارها 8285 kw .

2"-بعد ذلك تتم دراسة تطور الحمولة لفترة زمنية محددة 10 سنوات. تحسب قيمة الاستطاعة بعد 10 سنوات مستقبلية من العلاقة :

$$P = P_1(1+x)^n$$

P1: استطاعة الأحمال في سنة الأساس.

P: استطاعة الأحمال لفترة التطور المعتبرة (نأخذ عشر سنوات على سبيل المثال).

X: معدل التطور 9% وهذا الرقم معتمد في مؤسسات توزيع الطاقة.

n: رقم سنة التطور (..5-4-3-2-1)

$$P = 8285(1+0.09)^{10} = 19613\,Kw$$

وباعتبار عامل الاستطاعة 0.85 فإننا نجد أن الاستطاعة المركبة اللازمة هي :

$$S = 19613/0.85 = 23074.2\,KVA$$

تمثل هذه القيمة قيمة الاستطاعة المركبة المطلوبة من محطة التحويل . ولكي نحدد استطاعة محطة التحويل بدقة يجب أن تكون أكبر من قيمة استطاعة الحمل بما لايقل عن 1.3 ومنه فإن استطاعة محطة التحويل الحسابية هي:

$$S = 23074.2 \times 1.3 = 29996.35\,KVA$$

وبالتالي فإن استطاعة المحطة النهائية 30MVA بتوتر 66/20 kv.

3"- تحديد عدد مراكز التحويل واستطاعة كل منها . يتم ذلك بناءً على تقسيم المنطقة العمرانية إلى قطاعات ثم تحديد استراتيجية تغذية الأحمال في كل قطاع على أن تتحقق الشروط التالية :

-أن لاتتجاوز مجموع الحمولات في القطاع الواحد أكبر استطاعة محولة توزيع .

-يجب اختيار موقع المحولة اختياراً يجعلها في مركز حمولات القطاع إن أمكن للتخفيف من هبوط التوتر .

-يجب أن يتم اختيار موقع المحولة بحيث أن تكون المسارات بين موقع المحولة ومحطة التحويل الرئيسة ممكنة وسهلة التنفيذ.

-يجب ربط المحولات بعضها مع بعض ربطاً حلقيا من طرف التوتر المتوسط من أجل ضمان استمرارية التغذية للمستهلكين في حال تعطل أحد مراكز التحويل أو صيانته

-يجب تركيب قواطع في الحلقة من أجل التشغيل الشعاعي لشبكة التوتر المنخفض.

-ينظم جدول ترميز المحولات واستطاعتها وأرقام الأبنية التي تغذيها حسب ماهو موضح في الجدول (1-8).

تبدأ مرحلة التصميم الميكانيكي للشبكة بعد مرحلة حساب استطاعة الحمولة الكلية ، وهذا ما سنتناوله بالتفصيل في الفصول القادمة لكل نوع من أنواع شبكة التوزيع الهوائية والأرضية .

جدول(1-8) استطاعة مراكز التحويل والأحمال التي تغذيها

رمز مركز التحويل	أرقام الأبنية المغذاة	استطاعة المركز KVA
TS1	16-17-18-19	1000
TS2	1-13	630
TS3	3-14-15	1000
TS4	2-4-6	630
TS5	20-21	1000
TS6	22-23-24-25	2× 630
TS7	8-7-9-5	1000
TS8	10-11-12	1000
TS9	26-27-28-29-30-31-34	630
TS10	33-35-36-32-51	1000
TS11	37-38	1000
TS12	40-43-44-49-50	2×630
TS13	39-41	630
TS14	42-45	630
TS15	46-47-48	630

الفصل الثاني

التصميم الميكانيكي لشبكات التوزيع الكهربائية الهوائية

Mechanical Design of Overhead Electrical Distribution Networks

2-1 مقدمة :Introduction

إن الأعمال التي يجب إنجازها لتصميم شبكة توزيع بصورة عامة تم استعراضها في الفصل الأول. عملياً يوجد مستويان لشبكات التوزيع الهوائية، الأول مستوي التوزيع على التوتر المنخفض 0.4 kv، والثاني مستوى التوزيع على التوتر المتوسط 20 kv. في هذا الفصل سنتناول موضوع التصميم الميكانيكي لكل مستو على حدة.

[101],[90],[88],[75],[74],[58],[52],[26]

2-2 التصميم الميكانيكي لشبكات توزيع التوتر المنخفض الهوائية :

Mechanical Design of Low voltage overhead networks

عند دراسة التصميم الميكانيكي لشبكة توتر منخفض هوائية هناك مجموعة من الأعمال لابد من القيام بها، من أهم هذه الأعمال مايلي :

1- حساب الأحمال الكهربائية وتقديرها :

لقد تم تغطية هذا البند في الفصل الأول من هذا الباب .

2-حساب مقاطع النواقل :

تمت تغطية هذا البند في الفصلين الثاني و الثالث من الباب الثالث. ففي الفصل الثاني تم استعراض أسس حساب مقطع الكابل أو الناقل ، وفي الفصل الثالث تم استعراض بنية النواقل الهوائية وأنواعها وخواصها الفنية.

3"-مسارات خطوط الشبكة :

قبل البدء بالدراسة التصميمية للشبكة لابد من تحديد مسارات الخطوط على المخطط الطبوغرافي أو العمراني للمنطقة . عمليا تحدد المسارات في معظم الحالات بشوارع المنطقة العمرانية ، أما خارج المناطق العمرانية فيجب تحديد مسارات الخطوط ضمن الشروط التالية :

-أن تكون قريبة من الطرقات العامة وألا تقع ضمن المناطق الزراعية من أجل تلافي مسألة الاستملاك وما يتبعها من عوائق .

-يجب تحديد المسارات حيث تكون قريبة من الطرقات العامة لتسهيل عملية نقل المواد أثناء تنفيذ الشبكة لأول مرة وكذلك عند صيانتها لاحقا".

-تجنب العوائق الكبيرة إن أمكن ذلك على الواقع مثل وجود أبنية مخالفة ذات تجاوزات على الشارع أو وجود أشجار بارزة تقع على مسار الخط.

-الابتعاد عن التقاطعات مع الطرق الرئيسية ذات حركة السير الكثيفة ما أمكن ذلك .

4"- تركيب العوازل والنواقل:

تستخدم في مد شبكات التوتر المنخفض الهوائية نواقل من النحاس مقطع 95 – 70 – 50 mm^2 أو الألمنيوم ذات مقطع 120 -95 – 70 – 50 mm^2. عدد النواقل المستخدمة في مد هذه الشبكات هو خمسة نواقل متوضعة عمودياً فوق بعضها الشكل (2-1) .النواقل الثلاثة العليا مخصصة للأطوار الثلاثة ، الناقل الرابع هو الناقل الحيادي ،أما الناقل الخامس والأخير فهو مخصص لتغذية مصابيح إنارة الشوارع . تثبت هذه النواقل على عوازل خاصة تملك بدورها آلية للتثبيت بالعمود ويستخدم عازل واحد لكل ناقل . البعد العمودي بين العازل والآخر يكون بحدود 30 Cm في الأعمدة الخشبية وقد تصل إلى 45 Cm في الأعمدة الإسمنتية . يبين الشكل(2-1) طريقة ربط النواقل بالعوازل وتثبيت العوازل على العمود. لوحظ نتيجة التجربة العملية في مد شبكات توزيع التوتر المنخفض أن نواقل الألمنيوم تتدلى بعد شدها ووضعها بالاستخدام ، الأمر الذي تسبب في حالات قصر بين الأطوار وبالتالي حالات انقطاع تغذية متكرر ، لكن هذه النواقل رخيصة الثمن

ومتوفرة ، بينما في الشبكات التي استخدم في مدها نواقل نحاسية، فقد كانت أكثر وثوقيه وأن حالات الأعطال فيها كانت أقل، لكنها مرتفعة الثمن. وقد استخدم مؤخرا نواقل نحاسية معزولة في الحالات التي تكون النواقل أحيانا قريبة من جدران الأبنية .

الشكل (2-1) طريقة ربط النواقل بالعوازل وتثبيت العوازل على العمود.

عادة في شبكات التوتر المنخفض لا تجرى دراسة ميكانيكية لهذه النواقل مثل دراسة الشد والإجهادات في الفرضيات المناخية المختلفة ، وإنما يتم أثناء التنفيذ شد النواقل كي تحقق تدلياً أعظمياً أو ما يسمى بالسهم الأعظمي في منتصف المسافة بين عمودين لا يتجاوز 10Cm في حال استخدام الأعمدة الخشبية و 15Cm في حال استخدام الأعمدة الإسمنتية .الشكل(2-2) يوضح نقطة حدوث السهم الأعظمي .



الشكل(2-2) نقطة حدوث السهم الأعظمي في خطوط التوتر المنخفض الهوائية.

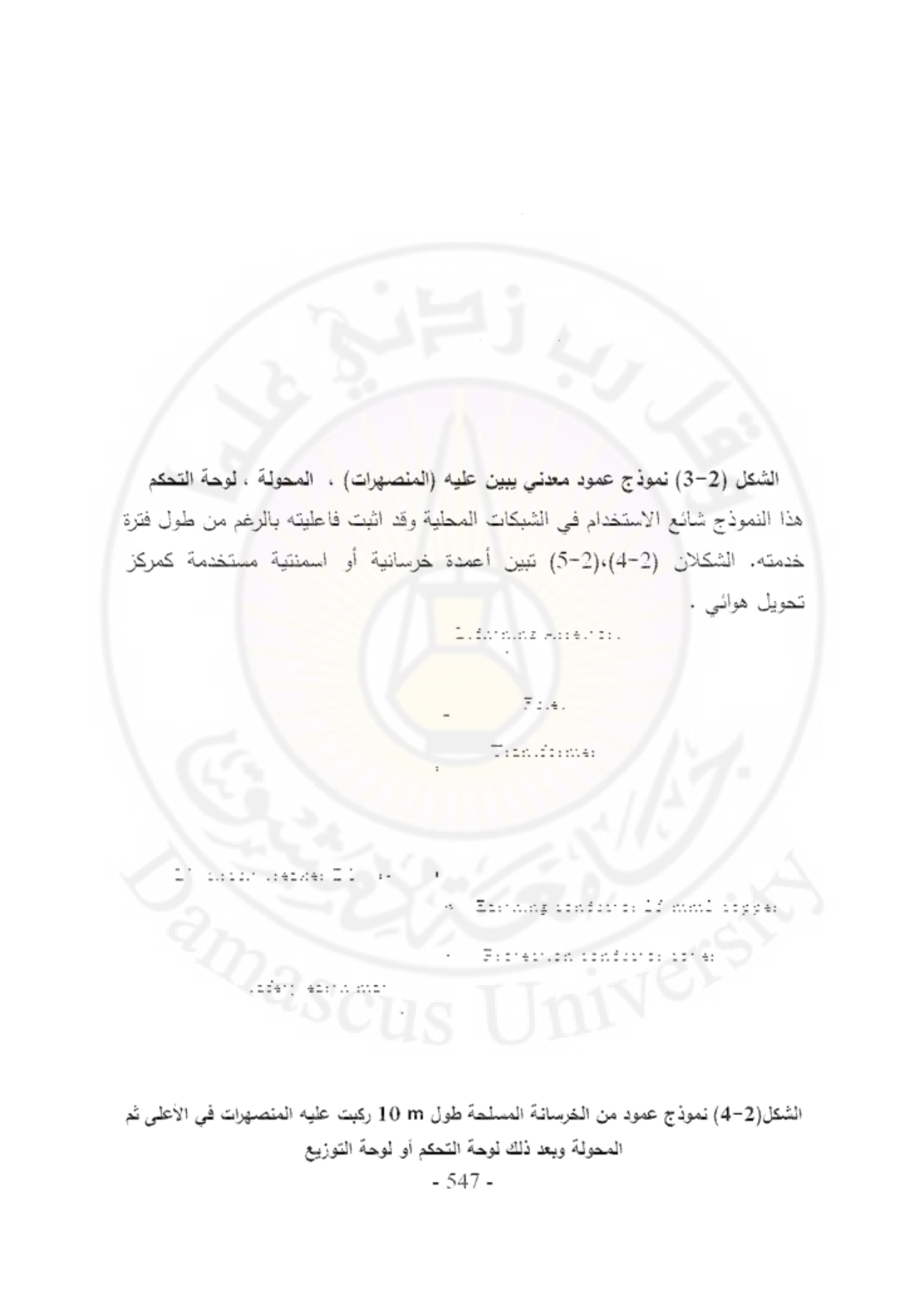
المسندان في الشكل يمثلان عمودين متتاليين. إن النقطتين في أعلى المسندين تمثلان نقطتي تعليق الناقل بالعازلين وهما على مستوى أفقي واحد. إن تنفيذ شد النواقل وتثبيتها بالعوازل على الأعمدة تقوم به ورشات ذات خبرة عملية في هذا المجال ، ولا يحتاج شد هذه النواقل إلى تجهيزات خاصة كما في شبكات التوتر المتوسط والعالي. الخواص الفنية للنواقل موجودة في الفصل الثالث من الباب الثالث.

5- اختيار الحوامل أو الأعمدة:

تستخدم الأعمدة الخشبية أو الخرسانية في مد وتنفيذ شبكات التوتر المنخفض بارتفاعات 8-10-12 m. تجهز الأعمدة الخرسانية في المعمل بثقوب في أعلاها من أجل تركيب العوازل أو تزود بعارضة معدنية على شكل مجرى تثبت في أعلى العمود بالاتجاه الطولاني من أجل تثبيت العوازل عليها. عند تنفيذ الشبكة بأعمدة خشبية فإن هذه الأعمدة تستخدم كأعمدة استقامة . أما أعمدة الزاوية وأعمدة بداية ونهاية الخط فإما أن تكون خشبية مزدوجة (عمودان مثبتان بعضهما مع بعض بواسطة البراغي)، أو أن تكون -وهو الأفضل- أعمدة معدنية مصنوعة من زوايا حديدية مرتبطة مع بعضها بواسطة اللحام وتكون مطلية بدهان من النوع الجيد الذي يتحمل العوامل الجوية أو أن تكون مغلفنة . أما الشبكات التي تنفذ بواسطة الأعمدة الخرسانية فيمكن استخدام الأعمدة نفسها كأعمدة استقامة ، أعمدة زاوية ، أو بداية ونهاية خط .تنفذ شبكات التوتر المنخفض بفتحات بين الأعمدة قدرها بحدود ثلاثة أضعاف ارتفاع العمود أي بحدود 30m للأعمدة الخشبية و 30-40 m للأعمدة الخرسانية على أن لا يتجاوز بعد آخر عمود في أي خط عن مركز التحويل 1200m حتى لا يتجاوز هبوط التوتر النسبي القيمة المسموح بها3%-5%. عند التقاطعات مع الطرقات يجب اختيار أعمدة ذات ارتفاعات مناسبة بحيث تضمن مسافة أمان بين أخفض نقطة من الناقل والأرض لا تقل عن 5m ، أما عند التقاطع مع خطوط التوتر المتوسط فيجب المحافظة على مسافة بين الخطوط لا تقل عن 2m.عمليا يوجد أيضا أعمدة خاصة تركب عليها تجهيزات مراكز التحويل(محولات ، الفيوزات ، القواطع اليدوية، بالإضافة إلى لوحة التحكم أو لوحة التوزيع الرئيسية). توجد من هذه الأعمدة عدة نماذج ، الشكل(2-3) يبين نموذج عمود معدني له أربع قوائم يثبت كل منها في قاعدة منفردة أبعادها100/100/100 Cm . أثناء تركيب هذا العمود يتم رفعه بواسطة رافعة تعمل على إنزال قوائمه في القواعد ثم يصب عليها البيتون عيار 300 أي ستة أكياس من مادة الإسمنت لكل متر مكعب واحد.

الشكل (2–3) نموذج عمود معدني يبين عليه (المنصهرات) ، المحولة ، لوحة التحكم

هذا النموذج شائع الاستخدام في الشبكات المحلية وقد اثبت فاعليته بالرغم من طول فترة خدمته. الشكلان (2–4)،(2–5) تبين أعمدة خرسانية أو اسمنتية مستخدمة كمركز تحويل هوائي .



الشكل(2–4) نموذج عمود من الخرسانة المسلحة طول 10 m ركبت عليه المنصهرات في الأعلى ثم المحولة وبعد ذلك لوحة التحكم أو لوحة التوزيع

الشكل(2-5) نموذج عمود من الخرسانة المسلحة يبين المنصهرات والمحولة

المواصفات الفنية للأعمدة الخشبية والخرسانية والفولاذية تم استعراضها في الفصل الخامس من الباب الثالث .

6"- قواعد الأعمدة :

تثبت الأعمدة الخشبية أو الخرسانية في قواعد أبعادها 50/50/150 Cm تحفر بواسطة آلات حفر خاصة ذات رأس حلزوني، حيث يتم غرس العمود فيها ثم تملأ الفراغات بالبيتون. أما الأعمدة المعدنية فتثبت في قواعد ابعادها 100/100/150-200 Cm، حيث يوضع العمود في القاعدة ثم تملأ القاعدة بالبيتون .

7"- مراكز التحويل :

يستخدم في شبكات توزيع التوتر المنخفض نوعان من مراكز التحويل :

- **مركز تحويل هوائي :** في هذا النوع تركب المحولة وتجهيزات الحماية (فيوزات، فواصم) على عمود في العراء كما في الأشكال(2-3)،(2-4)،(2-5).
- **مركز تحويل أرضي :** تعد مراكز التحويل الأرضية القاسم المشترك بين شبكات التوزيع الهوائية والتحت أرضية ، وهي أيضاً العنصر الأهم في مكونات شبكة التوزيع، انطلاقا من ذلك فقد أفردنا لها الفصل الرابع من هذا الباب. تستخدم مراكز التحويل الهوائية لاستطاعات لا تتجاوز 400 kVA ، أما في مراكز التحويل ذات الاستطاعة أعلى من 400 kVA يجب استخدام مراكز تحويل أرضية.

8- تأريض أعمدة مراكز التحويل وحمايتها من الصواعق :

يتم تأريض العمود الحامل للمحولة باستخدام بار نحاسي مقطع $30\times20\times3mm$ يربط مع قائمة العمود ربطاً محكماً باستخدام البراغي وبسطح تماس لايقل طوله عن 10Cm. يجب أن تراعي إزالة الدهان عن سطح العمود في مكان الربط كيلا يشكل عزلاً ولو كان بسيطاً بين البار النحاسي وقائمة البرج. يوصل البار إلى وتد أرضي بطول 1.5 m . يغرس هذا الوتد على مسافة أفقية لا تقل عن 50Cm من قائمة البرج، ومسافة شاقولية لا تقل عن 30Cm عن سطح الأرض. يصنع الوتد من الحديد المغلفن مقطع $50mm^2$ أو زوايا الحديد ذي المقطع $50\times50\times5mm$. في حالتي استخدام القضيب أو الزوايا يجب أن يكون الرأس مدبباً من أجل سهولة غرسه في الأرض. يتم ربط البار مع الوتد بواسطة البراغي تحت الأرض، كما ويجب تنفيذ صيانة دورية لدارة التأرض. الشكل(2-6) يبين طريقة تأريض العمود .



الشكل(2-6) تأريض عمود مركز التحويل

9- الحماية من الصواعق :

إذا ضربت الصاعقة منطقة العمود الحامل للمحولة ، فإن الصاعقة سوف تفرغ في خط النقل أي الأطوار أو خط الحماية الأرضي. في حال ضربت الصاعقة خط الحماية الأرضي فإن هذا الخط مؤرض حكما، حيث يكون موصولاً مع وتد التأريض بواسطة

ناقل نحاسي مقطع 35-50 mm^2. أما في حال ضربت الصاعقة نواقل أحد الأطوار فإن موجة تيار الصاعقة ستنتقل عبر الأطوار إلى المحولة، لكن وجود الفيوزات (المنصهرات) في قمة العمود قبل المحولة وكذلك وجود تجهيزات مفرغات الجهد والتيار الزائدين أيضا قبل المحولة تعملان على حماية المحولة والعمود. سنأتي على شرح عمل هذه التجهيزات ومواصفاتها في الفصل الرابع من هذا الباب. أما إذا ضربت الصاعقة جسم العمود فسوف تفرغ عبر دارة التأريض.

10"- توقيع الأعمدة على مخطط الشبكة :

بعد الانتهاء من البنود السابقة يجري توقيع الأعمدة على المخطط الطبوغرافي للمنطقة . يبين على المخطط مواقع الأعمدة ومواقع مراكز التحويل، بالإضافة إلى تقاطع المسارات مع الطرقات والخطوط الهوائية الأخرى.

11"-إعداد الإضبارة: وتشمل:

- إعداد المخططات .
- إعداد جداول الكميات ودفاتر الشروط الفنية ،مع الكشف التقديري .

2-3 التصميم الميكانيكي لشبكات توزيع التوتر المتوسط الهوائية :

Mechanical Design of Medium voltage overhead networks

إن مراحل وخطوات تصميم شبكة توزيع توتر متوسط تختلف عن مراحل تصميم شبكة توتر منخفض في التفاصيل ولكن تتشابه بالخطوط العامة . عند تصميم شبكة توزيع توتر متوسط يجب الانتباه إلى أن الشبكة هي عبارة عن مجموعة خطوط هوائية تنطلق من محطة تحويل 66/20 kVA باتجاه مراكز التحويل ، لذلك سيتناول الشرح في هذه الفقرة مسألة تصميم خطوط توزيع توتر متوسط. لكن إذا تم وصل هذه الخطوط بعضها مع بعض بواسطة خطوط تحوي قواطع فصل – وصل فيمكن الحديث عندها عن تصميم شبكة توزيع توتر متوسط . إن تصميم خط نقل متوسط يمر بالمراحل التالية :

2-3-1 دراسة الحمولة الكهربائية للخط :

لقد تم شرح هذه المسألة في الفصل الأول من هذا الباب .

2-3-2 حساب مقطع الناقل :

تمت أيضا تغطية هذه المسألة في الفصلين الثاني والثالث من الباب الثالث .

2-3-3 تحديد المسار :

عند تحديد مسارات خطوط التوتر المتوسط يجب أخذ النقاط التالية بعين الاعتبار :

-أن تكون قريبة من الطرقات العامة وألا تقع ضمن المناطق الزراعية لتلافي مسألة الاستملاك وما يتبعها من عوائق.

- يجب تحديد المسارات حيث تكون قريبة من الطرقات العامة لتسهيل عملية نقل المواد أثناء تنفيذ الشبكة لأول مرة وكذلك عند صيانتها لاحقاً.

-تجنب العوائق الكبيرة إن أمكن ذلك على الواقع مثل وجود أبنية مخالفة ذات تجاوزات على الشارع أو وجود أشجار بارزة تقع على مسار الخط.

-الابتعاد عن التقاطعات مع الطرق الرئيسية ذات حركة السير الكثيفة ما أمكن ذلك .

2-3-4 تركيب العوازل والنواقل :

تستخدم في خطوط التوتر المتوسط نواقل Al-St بمقاطع 50/8,120/20 في الخطوط الفرعية والمقطع 240/40 كخط نقل رئيسي. تم شرح المواصفات الفنية للنواقل في الفصل الثالث من الباب الثالث. أما العوازل فهي متنوعة من حيث المواد التي صنعت منها أو من حيث شكلها، وفي جميع الحالات يجب أن تؤمن سلسلة العازل عدم حدوث انهيار كهربائي بين الناقل وجسم الحامل. يمكن التمييز عمليا" بين ثلاثة أصناف من سلاسل العوازل المستخدمة في شبكات التوتر المتوسط الهوائية.

-سلسلة عازل وتدية Pin type Insulators.

يركب هذا النوع من سلاسل العوازل تركيباً عمودياً فوق حاملة العوازل الأفقية ، تتميز هذه السلاسل بأنها ثابتة لا تتأرجح. يبين الشكل(2-7-أ) طريقة تركيب هذا النوع من السلاسل على حاملة عوازل. أما الشكل(2-7-ب) يبين نموذج سلسلة نوع PIN كما يبين مواصفات هذه السلسلة.

الشكل(2-7-أ) نموذج حاملة عوازل أفقية

الشكل(2-7-ب) نموذج سلسلة عوازل Pin

تستخدم هذه السلسلة في أبراج الاستقامة والشد والزاوية معاً. لذلك عند استخدام هذا النوع من السلاسل لسنا مضطرين لتركيب سلاسل تعليق وسلاسل شد ، وهي أيضاً تعمل على عدم السماح للناقل بالتأرجح وهذا يمكننا من استخدام حاملات عوازل بالأبعاد الدنيا المفروضة لتباعد طورين بعضهما عن بعض دون الأخذ بعين الاعتبار مسألة تأرجح سلسلة العازل. لكن من أهم مساوئها أنه في حال تلف جزء منها يجب تغيير كامل السلسلة. الجدول (2-1) يبين مواصفات هذا النوع من السلاسل.

جدول (2-1) يبين المواصفات الكهربائية والميكانيكية لهذا النوع من السلاسل.

Technical Data		
Catalogue Number		0304-1
Leakage Distance/mm		432
Critical Impulse Flashover	Positive/KV	160
	Negative/KV	225
Low Frequency Flashover Voltage	Wet/KV	70
	Dry/KV	110
Low Frequency Puncture Voltage/kv		145
Radio Influence Voltage Data	Test Voltage To Ground/KV	22
	Max.RIV a 1000KHZ/uv	12000
Cantilever Strength/KN		13.6

- سلسلة تعليق : Suspension Insulators

يبين الشكل(2—8-آ) سلسلة نموذج تعليق من البورسلين. أما الشكل(2-8-ب) فهو يبين نموذج صحن واحد من سلسلة تعليق وخواصه الفنية .

الشكل(2-8-آ) نموذج سلسلة تعليق **الشكل(2-8-ب) نموذج صحن من سلسلة تعليق**

هذا النوع من السلاسل هو النوع الأكثر شيوعاً واستخداماً إذ يتم تعليق سلسلة العازل في الجهة السفلى من حاملة العوازل. تستخدم في أعمدة الاستقامة فقط ، من ميزات هذه السلاسل أنها تعطي بعض المرونة لاهتزاز الناقل ومن ثم تمتص من تركيز قوى ضغط الريح عليه بصورة كبيرة ولا تعرضه للانقطاع، وعند تلف أحد الصحون يمكننا تبديله ولا نضطر إلى تغيير كامل السلسلة، تفيد هذه السلاسل في حال رفع توتر الخط ، إذ يمكن إضافة صحون جديدة إلى السلسلة دون تبديلها وهذا يؤدي إلى توفير كبير على طول مسار خط النقل بالمقارنة مع السلسلة من نوع Pin. يبين الجدول(2-2) مواصفات صحن عازل واحد من هذه السلاسل.

جدول(2-2) مواصفات صحن عازل واحد من هذه السلاسل.

Technical Data						
Catalogue Number			0201-70	0201-80	0201-100	0201-120
Porcelain Disc Diameter/mm			255	255	225	225
Unit Spacing/mm			146	146	146	146
Creepage Distance/mm			295	295	295	295
Electromechanical Failing Load/KN			70	80	100	120

Minimum Flashover Voltage	Power Frequency	Dry/KV	75	75	75	75
		Wet/KV	45	45	45	45
	50% Impulse	Positive/KV	125	125	125	125
		Negative/KV	130	130	130	130
Withstand Voltage	Power Frequency	Dry/KV	70	70	70	70
		Wet/KV	40	40	40	40
	Impulse		110	110	110	110
Power Frequency Puncture Voltage/KV			110	110	110	110
Ball & Socket Size			16mm A	16mm A	16mm A	16mm A
Locking Device			R Clip	R Clip	R Clip	R Clip

- **سلسلة شد :Strain Insulators**

يبين الشكل(2-9)سلسلة شد. تستعمل في أعمدة الشد والزاوية ونهاية وبداية الخط .

الشكل(2-9) نموذج سلسلة شد .

إن عدد الصحون العازلة في سلسلة العازل يحدده التوتر الاسمي للخط، إذ إن كل صحن من نوع البورسلين أو الزجاج يتحمل توتراً بحدود 11kV، لذلك فإن سلسلة العازل في شبكات التوتر المتوسط تتكون على الأغلب من صحنين عازلين. أما عدد الصحون العازلة في شبكات 66 kV فهو غالباً 6 صحون. أود أن أشير هنا إلى أن نماذج سلاسل العوازل المبينة أعلاه مع مواصفاتها الفنية هي للإيضاح وللتعرف على البارامترات التي

تعبر عن مواصفات سلسلة العازل. عند تصميم خط النقل يجب دراسة نوع سلسلة العازل من ناحية المواد المصنعة منها وطريقة تركيبها على حاملة العوازل، إلى جانب مواصفاتها الكهربائية والميكانيكية بدقة وعناية. إن من أهم المواصفات الميكانيكية لسلسلة العازل وهي الضرورية لتصميم عناصر الخط الأخرى ما يلي :

- طول سلسلة العازل في سلاسل التعليق، لأن طولها يؤثر في أبعاد حاملة العوازل ، إذ يجب أن تؤمن الحاملة عدم وصول الناقل المعلق في أسفل السلسلة إلى جسم الحامل عندما تكون زاوية تأرجح سلسلة العازل عظمى ومساوية إلى 60 درجة.
- تحمل سلسلة التعليق لوزن طول فتحة من الناقل .
- تحمل سلسلة الشد إلى قوى شد النواقل في الحالة العادية عند انقطاع أحد الأطوار .

2-3-5 الدراسة الميكانيكية للناقل وسلسلة العازل :

بعد تحديد مقطع الناقل ونوع سلسلة العازل وأبعادها ، يتم الانتقال إلى مرحلة التصميم الميكانيكي للناقل. لقد تمت تغطية مسألة التصميم الميكانيكي في الفصل الرابع من الباب الثالث وتشمل:

1°-دراسة معادلة السليسلة :

تفيد دراسة معادلة السليسلة في استنتاج معادلة طول الناقل ومعادلة السهم الأعظمي و الوسيط التصميمي أيضاً. تصمم خطوط التوتر المتوسط على فتحة وسطية 80 m وقد تصل إلى 100 m في حال اجتياز عائق ما، وعلى وسيط تصميمي ما بين 800-1200. يصمم الخط عادة على وسيط واحد ،ويمكن أن نضطر لاستخدام أكثر من وسيط حسب تضاريس مسار الخط ويشترط ألايتجاوز العدد ثلاثة وسطاء. ومن الأفضل أن يكون تغيير الوسيط ضمن فتحة شد. تعرف فتحة الشد بأنها المسافة بين عمودي شد، أما فتحة التعليق فتعرف بأنها المسافة بين عمودي تعليق .

2°-استنتاج المنحنيات التصميمية :

تمكننا المنحنيات التصميمية من معرفة الإجهاد المطبق على الناقل في فرضية مناخية محددة وعند قيمة وسيط محدد. ويمكن تصميم مساطر تفيد في رسم الناقل على المقطع الطولي لمسار الخط.

3-استنتاج منحنيات العمل :

هذه المنحنيات مهمة في مرحلة تنفيذ الخط على الواقع، إذ يتمكن المنفذ من معرفة الإجهاد بدلالة درجة حرارة اليوم الذي يعمل به، وبالتالي شد النقل بالقوة الملائمة.

4-حساب تأرجح سلسلة العوازل والأبعاد بين النواقل وبين النواقل وجسم البرج :

حساب هذه البارامترات مهم جداً في اختيار نوع حاملة العوازل الملائمة وأبعادها. وأياً كان نوع الحاملة (أفقية، هرمية) يجب أن تؤمن الأبعاد بين النواقل، وبين النواقل وجسم الحامل وتكون ضمن الحدود المسموح بها حسب النورمات العالمية.

2-3-6 اختيار الحامل المناسب :

استعرضنا أنواع الحوامل ومواصفاتها الفنية وأنواع القوى التي تتعرض لها في الفصل الخامس من الباب الثالث. بقي أن نقرر نوع الحامل ماهو خشبي، إسمنتي، معدني، أم برج معدني مشبك يجب استخدامه في الخط المدروس. إن واقع تضاريس المسار والعوائق الموجودة عليه قد تفرض على المصمم استخدام نوعين من الحوامل خشبي- أبراج، إسمنتي – أبراج وهكذا. نلجأ أحيانا في خطوط التوتر المتوسط إلى استخدام أبراج معدنية عند انحراف الخط عن مساره المستقيم. تسمى هذه الأعمدة أو الأبراج عمود أو برج زاوية. يجب على المصمم أن يخفف قدر الإمكان من استخدام أعمدة من عدة أنواع على مسار الخط، ويستطيع تحقيق ذلك بتغيير مواقع الأعمدة على المسار قليلا" من أجل تجنب حدوث زوايا انحراف قاسية للمسار، ومن ثم عدم اللجوء إلى استخدام أعمدة زاوية من نوع آخر، وأيا كان نوع العمود الذي تم اختياره يجب على المصمم دراسة تحمل الأعمدة التالية للقوى الخارجية المطبقة عليها وضمها إلى إضبارة المشروع:

- **أعمدة التعليق أو الاستقامة:**

تستخدم هذه الأعمدة في المسارات ذات الخط المستقيم، أو المسارات التي تحوي زوايا انحراف صغيرة .تتعرض أعمدة الاستقامة إلى محصلة قوى ضغط ريح أفقية ناتجة من مجموع قوى ضغط الريح على النواقل ،سلاسل العوازل وجسم العمود نفسه كما ورد في الفصل الخامس من الباب الثالث. تركز محصلة القوى هذه عند قمة العمود و يجب أن تكون أصغر من القوة التي يتحملها العمود في قمته والواردة في جداول الأعمدة بعامل

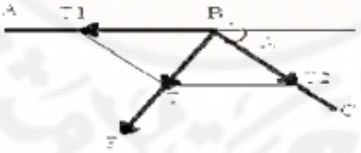
أمان تختلف قيمته باختلاف نوع العمود. وإذا لم يتحقق هذا الشرط يجب على المصمم اختيار عمود آخر ذي قوة تحمل أكبر .

-أعمدة الشد:

تركب هذه الأعمدة في المسارات المستقيمة وفي بداية ونهاية فتحة الشد . يجب أن تتحمل هذه الأعمدة محصلة قوى ضغط الريح الأفقية المطبقة على عمود استقامة مع قوى الشد على طرفي عمود الشد. تكون قوى الشد على طرفي العمود متساوية حين تكون الفتحات على جانبي العمود متساوية، وبناءً على ذلك فإن محصلة قوى الشد تساوي الصفر، أما في حال عدم تساوي الفتحات الجانبية فتظهر قوى شد من جهة الفتحة الأطول، ويجب على العمود أن يتحملها. لذلك على المصمم اختيار عمود الشد الذي يتحمل محصلة القوى الأفقية بالإضافة إلى قوى الشد بعامل أمان مناسب. يجب الانتباه عند حساب محصلة قوى ضغط الريح الأفقية أن عدد سلاسل العوازل مضاعف عن عددها في عمود استقامة لأنها مركبة على طرفي حاملة العوازل.

•أعمدة الزاوية:

يستخدم هذا النوع من الأعمدة عند انحراف مسار الخط كما في الشكل (2-10)، يجب أن تتحمل هذه الأعمدة محصلة القوى الأفقية المؤثرة في عمود استقامة إلى جانب قوى الشد المطبقة على العمود من شد الأسلاك على الفتحتين الجانبيتين للعمود .



الشكل(2-10) تغيير مسار الخط بزاوية α

T_1 و T_2 : قوى الشد من الفتحتين الجانبيتين .

تعطى قيم قوى الشد بالعلاقات :

$$T_1 = t_1 . s \qquad (2-1)$$

$$T_2 = t_2 . s \qquad (2-2)$$

t_1, t_2 : الإجهاد في ناقلي الفتحتين الجانبيتين وتؤخذ قيمته من المنحنيات التصميمية حسب طول الفتحة ويقدر بـ Kg/m^2 .

s : مقطع الناقل m^2

إن محصلة قوتي الشد تعطى بالعلاقة :

$$T = \sqrt{T_1^2 + T_2^2 + 2.T_1.T_2.Cos(180 - \alpha)}$$

$$\Rightarrow \quad T = \sqrt{T_1^2 + T_2^2 - 2.T_1.T_2.Cos(\alpha)} \qquad (2-3)$$

α :هي الزاوية الخارجية التي ينحرف فيها الخط عن مساره.

إن الحالة الأسوأ عندما تكون محصلة قوى ضغط الريح لها حامل قوى الشد نفسه، وبالتالي فإن القوى الكلية المؤثرة على عمود زاوية تعطى بالعلاقة:

$$F_{total} = F + T \qquad (2-4)$$

إن محصلة القوى T محسوبة لناقل واحد، وللحصول على المحصلة النهائية يجب ضربها بعدد النواقل أي إن:

$$F_{total} = F + n.T \qquad (2-5)$$

حيث:

F : محصلة قوى ضغط الريح على جميع النواقل والعوازل والعمود.

T : قوة الشد على ناقل واحد.

n : عدد النواقل .

حتى يكون اختيار العمود صحيح يجب أن تكون القوة التي يتحملها العمود في قمته أكبر من القوة F_{total} بعامل أمان لا يقل عن 1.5 أو حتى 2. عند تصميم الخط باستخدام

أعمدة خشبية أو إسمنتية وكانت القوة F_{total} أكبر من تحمل هذه الأعمدة ،عندها نلجأ إلى استخدام أبراج معدنية كأعمدة زاوية.

•أعمدة البداية والنهاية:

تستخدم هذه الأعمدة في بداية الخط ونهايته، تتعرض هذه الأعمدة إلى محصلة قوى ضغط ريح متعامدة مع مسار الخط، بالإضافة إلى قوى شد من جانب واحد متطابقة مع مسار الخط كما في الشكل (2-11).



الشكل(2-11) القوى المطبقة على عمود بداية أو نهاية خط

يتم اختيار أعمدة بداية ونهاية الخط بناءً على قوى الشد، لأن تأثير قوى ضغط الريح ضعيفة ،حيث تعتبر في الحسابات نصف محصلة قوى ضغط الريح المؤثرة في برج استقامة (قوى نصف فتحة فقط). تحسب قوى الشد من العلاقة :

$$T = n.(t.s) \qquad (2-6)$$

حيث:

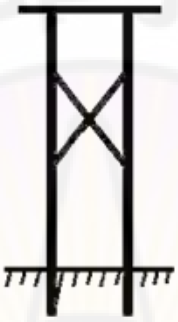
t : الإجهاد في الناقل الواحد وتؤخذ قيمته من المنحنيات التصميمية حسب طول الفتحة ويقدر بـ Kg/m^2 .

s : مقطع الناقل m^2

n : عدد النواقل.

حتى يكون اختيار العمود صحيحاً يجب أن تكون القوة التي يتحملها في قمته أكبر من القوة T بعامل أمان لا يقل عن 2. ومن الجدير بالذكر أنه لا تستخدم أعمدة خشبية أو إسمنتية مفردة كأعمدة بداية أو نهاية خط، وإنما تستخدم أعمدة هيكلية مشكلة من عمودين على شكل حرف H تربطهما من الأعلى حاملة عوازل معدنية أفقية، بالإضافة

إلى ذلك تدعم هذه الأعمدة بزوايا معدنية متصالبة كما في الشكل(2-12). تستخدم في تشكيل هذه الأعمدة أعمدة الزاوية لأن قوة تحملها أكبر من أعمدة الاستقامة، ويفضل أن تغرز في قاعدة بيتونية واحدة مشتركة للعمودين وبعمق لا يقل عن 2m. إن قوة تحمل هذه الأعمدة الهيكلية تقدر بـ 2.5 مرة قوة تحمل العمود الواحد. إذ تعذر تنفيذ هذه الأعمدة فالأفضل عندها استخدام برج معدني .



الشكل(2-12) عمود هيكلي يستخدم في بداية ونهاية الخط

- **أعمدة التفريع:**

هذه الأعمدة تستخدم في التفريعات من الخط الرئيسي كما في الشكل (2-7-أ). يفضل تنفيذ بداية تفريعات الخطوط الفرعية من عمود استقامة وليس عمود زاوية حتى لا تتضاعف قوى الشد على العمود، إذ إن محصلة قوى الشد ستكون كبيرة خصوصا إذا كانت التفريعة من جهة الزاوية الداخلية بين للفتحتين الجانبيتين أي من جهة قوى الشد الأساسية قبل تنفيذ التفريعة. لذلك من الأفضل وضع التفريعة على عمود استقامة ، **لكن مع التخلي عن عمود الاستقامة هذا ووضع عمود آخر ذي تسليح أكبر .**

- **أعمدة العبور :**

يستخدم هذا النوع من الأعمدة عند تقاطع الخط مع خطوط القدرة الأخرى أو الطرق أو أي نوع من العوائق. تكون أعمدة العبور ذات طول أكبر من أعمدة الاستقامة، ويتم اختيار هذه الأعمدة على أنها أعمدة شد إذا كان مسار وصلة العبور يتطابق مع مسار الخط ، أما إذا شكل مسار وصلة العبور زاوية ما مع مسار الخط فيتم اختيار عمود العبور على أنه عمود زاوية .

2-3-7 تصميم حاملة العوازل (نظرية انقطاع أحد الأطوار):

تستخدم في خطوط التوتر المتوسط حاملات العوازل الهرمية كما في الشكل(2-8-أ). تصمم هذه الحاملة بمقاطع زوايا حديد (60X60X6mm) و (80X80X6mm). تكون الحاملة مستقرة في حالة العمل العادية للخط، أما عند انقطاع أحد الأطوار فسوف يؤثر في هذه الحاملة قوى شد من جهة واحدة، هذه القوى تعمل على إنتاج عزم فتل يؤدي إلى انحناء أو تقوس الحاملة. لذلك يجب تصميم عناصر هذه الحاملة بطريقة تقاوم عزم الفتل وتبقى مستقرة عند انقطاع أحد الأطوار. يبين الشكل(2-13) القوى عند انقطاع طور.



الشكل(2-13) عزم الفتل لدى انقطاع أحد الأطوار

تحسب قوة الشد للناقل T من العلاقة :

$$T = t.s \qquad (2-7)$$

t : الإجهاد في ناقل واحد وتؤخذ قيمته من المنحنيات التصميمية حسب طول الفتحة ويقدر بـ Kg/m^2.

s : مقطع الناقل m^2

T : قوة الشد الناتجة عن الناقل المقطوع Kg.

أما إجهاد الانحناء أو التقوس الذي يؤثر في الزاوية المعدنية يعطى بالعلاقة:

$$\sigma_b = K_r.T \qquad (2-8)$$

K_r : عامل تصميمي للزاوية المعدنية(عامل ريزل) ويعطى بالعلاقة:

$$K_r = 1 = \frac{0.011 . l^2 . S_r}{\mu^2 . I} \qquad (2-9)$$

l : الطول المعرض للتقوس.

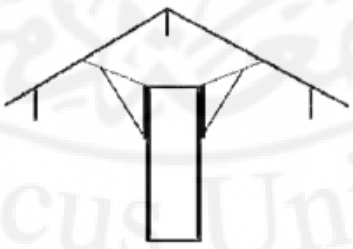
S_r : مساحة مقطع الزاوية المعدنية .

η : عامل تثبيت وتؤخذ قيمته 2.

عزم العطالة لزاوية الحديد، ويؤخذ من جداول الزوايا المعدنية.

بعد حساب هذا الإجهاد σ_r يقارن مع الإجهاد المسموح به للحديد فمثلاً:

إذا كانت الحاملة مصنعة من الحديد عيار فولاذ ($36 {kg}/{mm^2}$) فيجب أخذ عامل أمان قدره ($36/3=12 {kg}/{mm^2}$) وهو الإجهاد المسموح به للحديد. وحتى يكون تصميم حاملة العوازل صحيحاً، يجب أن يكون الإجهاد (σ_b) أصغر من الإجهاد المسموح به بعامل أمان لا يقل عن (1.5). وإذا كان الإجهاد المسموح به قريباً من الإجهاد (σ_b) فيجب استبدال الزوايا المعدنية بزوايا ذات مقطع أكبر. في شبكات توزيع 20 kV المحلية تدعم هذه الحاملة بزوايا معدنية من أجل التغلب على هذه العزوم الشكل(2-14) .

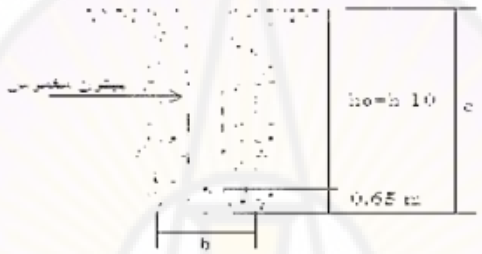


الشكل(2-14) تدعيم حاملة العوازل الهرمية

إن استخدام حاملات عوازل معدنية أفقية يقلل كثيراً من الآثار السلبية لعزوم الفتل هذه، وقد تم التطرق لهذا النوع من الحاملات في الفصل الخامس من الباب الثالث.

2-3-8 تصميم قواعد الأعمدة:

تستخدم قواعد الحوامل لتثبيت الأعمدة في الأرض ، الشكل(2-15) نموذج قاعدة عمود أبعادها $b \times b \times c$.



الشكل(2-15) نموذج قاعدة عمود

يحدد ارتفاع القاعدة من العلاقة :

$$c = h_0 + 0.65 \qquad (2-10)$$

$$h_0 = \frac{h}{10} \qquad (2-11)$$

أما أبعاد قاعدة القاعدة $b \times b$ فتحدد من العلاقة :

$$b = 2.D \qquad (2-12)$$

حيث:

c : الارتفاع الكلي للقاعدة m.

h_0 : طول جزء العمود المغروس في الأرض m .

h : الارتفاع الكلي للعمود m .

b : طول ضلع قاعدة القاعدة m .

D : قطر العمود في الأسفل m .

تحفر قواعد الأعمدة بواسطة آلات خاصة ذات رأس حلزوني. تملأ الفراغات بين جسم العمود وجدران الحفرة بالبيتون المغموس (بيتون غير مسلح بالحديد) عيار 300. في حالة استخدام أبراج معدنية في خطوط التوتر المتوسط يبين الشكلان(5-37)،(5-38) الموجودان في الفصل الخامس من الباب الثالث تصميم العمود بالإضافة إلى أبعاد القاعدة.

2-3-9 توقيع الحوامل على الخط :

بعد الانتهاء من جميع الأعمال السابقة يتم توقيع الأعمدة على المقطع الطولي لمسار الخط يجب الانتباه عند توقيع الأعمدة المقطع الطولي لمسار الخط إلى ترميز الأعمدة أعمدة استقامة، زاوية...، ويجب التركيز عند وضع رمز العمود على المخطط، ويجب ألا يوضع رمز بدلاً من الآخر، لأن ذلك يعني تبديل نوع العمود، وخصوصاً عند أعمدة الزاوية والشد والعبور والتفريعات.

2-3-10 إعداد الإضبارة:

تضم الإضبارة ما يلي:

- جميع الرسومات التوضيحية التي تساعد في تنفيذ الخط.
- دفاتر الشروط الفنية العامة والخاصة .
- جداول الكميات .
- كشف تقديري بكلفة المشروع .

4-2 التصميم الميكانيكي لخطوط نقل القدرة الكهربائية الهوائية عالية التوتر :
Mechanical Design of High voltage overhead networks

إن هذا الفصل مخصص لتصميم خطوط شبكات التوزيع، مع ذلك أود أن أستعرض خطوات التصميم الميكانيك لخطوط التوتر العالي من أجل المقارنة مع خطوات التصميم الميكانيكي لخطوط التوتر المتوسط. إن تسلسل خطوات تصميم خطوط نقل القدرة الهوائية عالية التوتر لا تختلف عن تسلسل الخطوات الواردة في تصميم خطوط التوتر المتوسط إلا في نوعية عناصر الخط .مع ذلك سنعرض في هذه الفقرة خطوات تصميم خطوط نقل القدرة الكهربائية عالية التوتر عرضاً موجزاً.

2-4-1 الدراسة الكهربائية للحمولة :

تشمل هذه الخطوة ما يلي:

- تقدير استطاعة الحمولة (الفصل الأول من الباب الرابع).
- تحديد بعدها عن محطة التحويل التي ستغذى منها .
- تحديد مستوى توتر النقل للخط(الفصل الأول من الباب الثالث).
- تحديد عدد دارات خط النقل .
- تحديد نوع النواقل (عادية – حزمية – مفرغة ...)
- دراسة أثر الحقول الكهربائية الناتجة عن الخط على المحيطات بمسار الخط وخصوصاً التجمعات السكنية والصناعية .
- إذا كانت مسافة الحمل بعيدة والاستطاعة المنقولة على الخط كبيرة ، تجرى دراسات جدوى اقتصادية بين إنشاء خط نقل أو إنشاء محطة توليد جديدة .

2-4-2 تحديد المسار :

وردت خطوات تحديد مسار خطوط التوتر العالي في الفصل الأول من الباب الثالث، وهي خطوات أكثر تعقيداً من خطوات تحديد مسار خطوط التوتر المتوسط. إن للآثار السلبية للحقول الكهربائية على ما هو محيط بالخط أهمية كبيرة في تحديد المسار ، إذ

يجب أن يبتعد عن المجمعات الصناعية والنفطية تفاديا لحصول حرائق، وكذلك يجب أن يكون بعيدا عن التجمعات السكنية ومنشآت الاتصالات لمنع الأضرار الصحية وظواهر التشويش. إن مرحلة تحديد المسار تأخذ جهدا لابأس به من فريق التصميم، لذلك قد يلجأ الفريق إلى استخدام نماذج رياضية وبرامج حاسوبية من أجل اختيار المسار الأمثل. معظم النماذج الرياضية تعتمد في إيجاد المسار الأمثل على الطريقة التالية :

- اعتبار عرض مسار لا يقل عن $2\,Km$ وطول يساوي طول الخط.
- تقسيم المنطقة أو المستطيل الناتج إلى مربعات لا يتجاوز طول ضلعها $100\,m$.
- حساب كلفة إنشاء الخط في كل مربع من المربعات.
- صياغة تابع هدف (علاقة الكلفة الاقتصادية لبناء الخط).

بعد ذلك تصمم خوارزمية اختيار المسار الأمثل بين كل مركز مربع وآخر، وتراكم هذه المسارات المثلى الجزئية على بعضها من نقطة البداية وحتى نهاية الخط فنحصل على المسار الأمثل.

2-4-3 التصميم الميكانيكي للنواقل :

يوجد أنواع ونماذج مختلفة من النواقل (الفصل الثالث من الباب الثالث) ، بعد تحديد نوع الناقل ونموذجه يتم إجراء الدراسة الميكانيكية للناقل، وقد تمت تغطية هذه المسألة في الفصل الرابع من الباب الثالث، وهي يجب أن تشمل:

- دراسة معادلة السلسلة وتحديد الوسيط التصميمي والسهم الأعظمي.
- دراسة المنحنيات التصميمية للناقل الذي تم اختياره.
- دراسة منحنيات العمل.
- دراسة الأبعاد بين النواقل والنواقل والبرج.

- دراسة تأرجح سلسلة العازل وتحديد أبعاد حاملة العوازل.

2-4-4 اختيار نماذج الأبراج :

إن نماذج أبراج التوتر العالي كثيرة (الفصل الخامس من الباب الثالث). في جميع الأحوال وفي كل خط نقل توتر عال يجب اختيار نموذج لكل من :

- برج الاستقامة، برج الشد، برج الزاوية، أبراج النهاية الميتة.

كما ويجب التحقق من تحمل هذه الأبراج للقوى التي تتعرض لها (الفصل الرابع من الباب الثالث).

2-4-5 تصميم قواعد الحوامل :

تختلف نماذج قواعد الحوامل فيما بينها حسب نموذج البرج وأبعاده، لقد تم استعراض أنواع قواعد الحوامل وطرق تصميمها في الفصل السادس من الباب الثالث.

2-4-6 إعداد إضبارة المشروع :

لقد تم شرح هذه المرحلة وهي مرحلة مابعد الانتهاء من مرحلة التصميم الميكانيكي في الفصل الأول من الباب الثالث.

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل الثالث

تصميم شبكات التوزيع الكهربائية الأرضية

Underground Electrical Distribution Networks Design

3-1 مقدمة: Introduction

إن الأعمال التي يجب إنجازها لتصميم شبكة توزيع بصورة عامة تم استعراضها في الفصل الأول من هذا الباب، وسنفرد الشرح في هذا الفصل لتصميم هذه الشبكة باستخدام الكابلات .

[100],[85],[84],[73],[68],[67],[66],[65],[64],[63],[62],[58],[45],[37],[26]

3-2 تصميم شبكات توزيع التوتر المنخفض الأرضية :

Design of Low voltage Underground networks

عند تصميم شبكات التوزيع الأرضية لابد من دراسة النقاط التالية :

1"- تقدير الحمولات الكهربائية:

تمت تغطية هذه المسألة في الفصل الأول من هذا الباب.

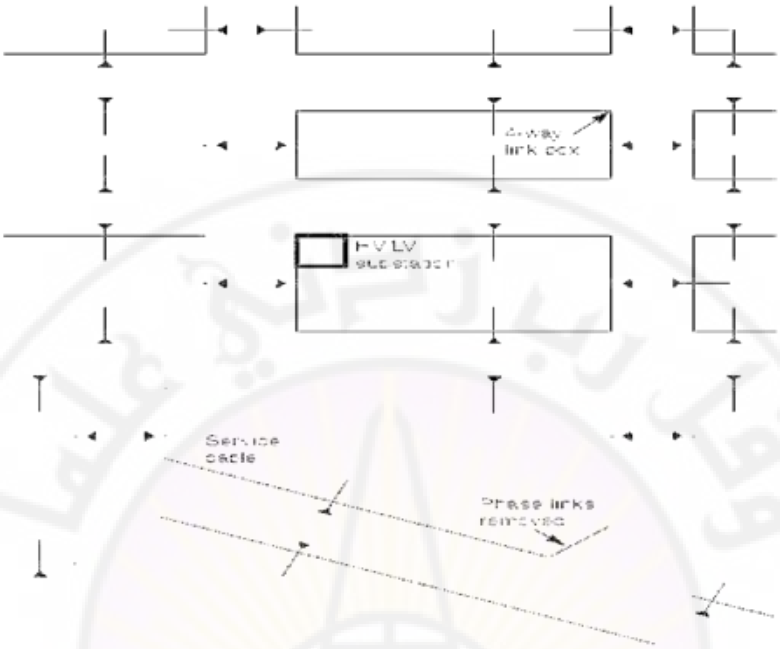
2"- حساب مقاطع الكابلات :

تمت تغطية هذه المسألة في الفصل الأول من هذا الباب.

3" - تحضير المخطط العمراني للمنطقة التي ستمدد فيها الشبكة .

4"- تصميم مسارات خطوط شبكة التوزيع الأرضية وتقاطعاتها .

إن مسارات شبكة التوزيع الأرضية تتبع المخطط العمراني للمنطقة، فخطوط الكابلات سوف تنفذ في الشوارع المحددة مسبقاً على المخطط العمراني. يبين الشكل (3-1) نموذج مسارات خطوط الكابلات ضمن حي من الأحياء. المسارات المستقيمة هي عبارة عن خنادق ذات أعماق ضمن المجال 80-100 cm وعرض بحدود 45- 70 cm، ويمكن أن يكون أكثر من ذلك تبعا لعدد الكابلات التي ستمدد في الخندق.



الشكل (3-1) مسارات خطوط الكابلات ضمن حي من الأحياء

يبين الشكل (3- 2 آ- ب) نموذج خندق لتمديد كابل واحد ضمنه .

(آ) (ب)

الشكل(3-2) نموذج لمقطع خندق لتمديد كابل واحد .

يبين الشكل(3-3 آ- ب) التالي توضعاً أفقياً وعمودياً لكابلات ذات توتر منخفض أو توتر منخفض ومتوسط ممددة في الخندق نفسه.



(آ)كابلا توتر منخفض (ب)كابلات متعددة منخفضة ومتوسطة التوتر

الشكل(3-3 آ- ب) توضع عدة كابلات في خندق واحد(الأبعاد مقدرة بـ mm)

يمدد الكابل في المسارات المستقيمة على طبقة من الرمل الناعم تفرش على أرضية الخندق بسماكة لا تقل عن 5 cm، ثم تفرش طبقة من الرمل الناعم فوق الكابل لحمايته من الخدوش الميكانيكية، بسماكة لا تقل عن 10 cmأيضاً. فوق طبقة الرمل الناعم توضع بلاطات أو بلوك ذو سماكة 5cm وبعرض حسب عدد الكابلات المتوضعة بجانب بعضها أفقياً. بعد رصف البلوك يتم إعادة نواتج حفر الخندق مع الرص، ثم يلي ذلك إعادة رصف الرصيف ببلاط جديد. هذه الطبقات المتتالية من الردم فوق الكابل تشكل حماية جيدة وآمنه إذ إن الأرصفة لا يوجد فوقها حمولات كبيرة كالسيارات. في شبكات التوزيع الأرضية ليست كل المسارات مستقيمة، وإنما قد نضطر إلى تجاوز عائق ما كطريق رئيسي أو غيره من عوائق كخطوط الصرف الصحي والمياه وخطوط كابلات منفذة سابقاً. في هذه الحالات يجب مد الكابل في قساطل أو أنابيب PVC القاسية أو أنابيب معدنية ووضع طبقات ردم تؤمن حماية الكابل الميكانيكية. ويمكن تبيان الحالات التالية لتقاطع خطوط الكابلات مع عوائق:

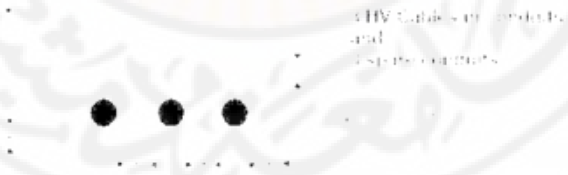
آ- حالة تقاطع مسار كابل مع طريق رئيسي:

يبين الشكل (3-4) يبين كيفية التقاطع بين خط كابل وطريق مرور مركبات .



الشكل (3-4) تقاطع بين خط كابل وطريق مرور مركبات .

وبهدف تبيان طريقة توضع الكابل وآلية حمايته من الصدمات الميكانيكية نأخذ مقطعاً عرضياً في خندق العبور تحت الطريق. يبين الشكل (3-5) التالي مقطع عرضي في خندق عبور طريق .



الشكل (3-5) مقطع عرضي في خندق عبور طريق.

الشكل (3-5) يبين استخدام قساطل من نوع PVC القاسية لتمديد الكابل ضمنها ، ويبين طبقات الحماية حول هذه القساطل وأبعادها ، ويلاحظ من الشكل أيضا وجود قساطل فارغة احتياطية يمكن استخدامها مستقبلا دون حفر الطريق. إن قطر هذه القساطل يمكن

أن يكون 125mm أو 150mm. الجدول (3-1-آ-ب) يبين الأبعاد المطلوبة بين هذه القساطل حسب العدد الممدد في قناة واحدة.

جدول (3-1-آ) أنواع قساطل PVC والأبعاد بينها .

Number of Conduits	Classified Roadway Trench			Unclassified Regional and Local Roadway Trench	
(125mm PVC)	Width(mm)	Depth(mm)		Width(mm)	Depth(mm)
		Conduits protected	Conduits unprotected		
1 x 2	450	1190	1060	450	920
1	600	1190	1060	600	920
2	750	1190	1060	750	920
3	900	1190	1060	900	920

OD of 125mm PVC conduit is approx. 140mm

جدول (3-1-ب) أنواع قساطل PVC والأبعاد بينها .

Number of Conduits	Classified Roadway Trench			Unclassified Regional and Local Roadway Trench	
(150mm PVC)	Width(mm)	Depth(mm)		Width(mm)	Depth(mm)
		Conduits protected	Conduits unprotected		
1 x 2	600	1230	1100	600	960
1	750	1230	1100	750	960
2	900	1230	1100	900	960
3	1050	1230	1100	1050	960

ب-عبور مسار كابل لجسر :

عند عبور الكابل لعائق على شكل جسر معدني أو من الخرسانة المسلحة يجب استخدام أقنية عبور خاصة لتمرير الكابل ضمنها. هذه الأقنية عادة تنفذ من القساطل المعدنية أو PVC تغلف بطبقة من الخرسانة المسلحة لحمايتها بطريقة جيدة وآمنة. الشكل (3-6) يبين طريقة مد الكابل على سطح جسر أو على جانبه.

الشكل (3-6) طريقة مد الكابل على سطح جسر أو جانبه

ج_ تقاطع مسار كابل مع عائق مائي:

إن عبور الكابلات للمسطحات المائية أمر وارد ، في هذه الحالة أيضا يجب تنفيذ قاعدة خرسانية تحت المسطح المائي يمرر من خلالها الكابل. الشكل (3-7) يبين طريقة تنفيذ تقاطع مسار كابل مع معبر مائي. نلاحظ من الشكل أن مسار الكابل ضمن القاعدة الخرسانية ليس مسارا مستقيماً أو أفقيا بل يشكل انحناءً بمقدار معين. في هذه الحالة لا يمكن استخدام القساطل بل يجب استخدام أنابيب مصنعة من مادة PVC وهي مرنة قليلا وقابلة للانحناء وتتحمل الإجهادات الميكانيكية العالية. يوجد نوع من هذه الأنابيب مصنع على شكل أنبوب حلزوني مشابه للأنابيب المستخدمة في التمديدات الكهربائية الداخلية ضمن المباني (تيب حلزوني) ولكن بأقطار أكبر بكثير وتتحمل إجهادات ميكانيكية عالية. يمدد الأنبوب أولاً ثم تصب الخرسانة البيتونية حوله من جميع الجوانب، بعد ذلك يتم تمديد الكابل.

الشكل(3-7) طريقة تنفيذ تقاطع مسار كابل مع معبر مائي

د- انطلاق المسارات من مركز التحويل :

من الناحية العملية إن المسافة الفاصلة بين بناء مركز التحويل ونقطة انطلاق مسارات(أقنية أو خنادق) شبكة كابلات التوتر المنخفض باتجاه الأحمال تقدر بعدة أمتار. في هذه المسافة يمدد الكابل ضمن قساطلPVC قاسية تتباعد فيما بينها بمقادير محددة. الشكل(3-8- آ- ب) يبين طريقة توضع القساطل أو الأنابيب البلاستيكية التي سيمدد فيها الكابل عند نقطة خروجه من مركز التحويل .

الشكل(3-8-آ) طريقة توضع القساطل عند نقطة خروجها من مركز التحويل

الشكل(3-8-ب) طريقة توضع القساطل عند نقطة خروجها من مركز التحويل

هـ – مسارات الكابلات عند وجود انحناء في مسار الكابل :

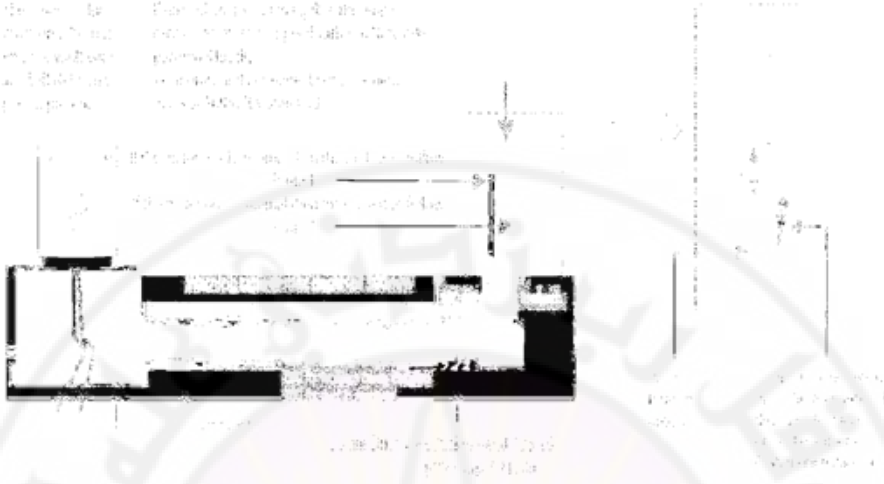
هنا الحالة يمدد الكابل ضمن أنابيب PVC مرنة قابلة للانحناء بزوايا صغيرة نسبياً.

يبين الشكل (3-9- آ – ب – ج – د) طريقة تنفيذ مد الكابلات عند المنعطفات.

(أ)

(ب)

(ج)مقطع جبهي

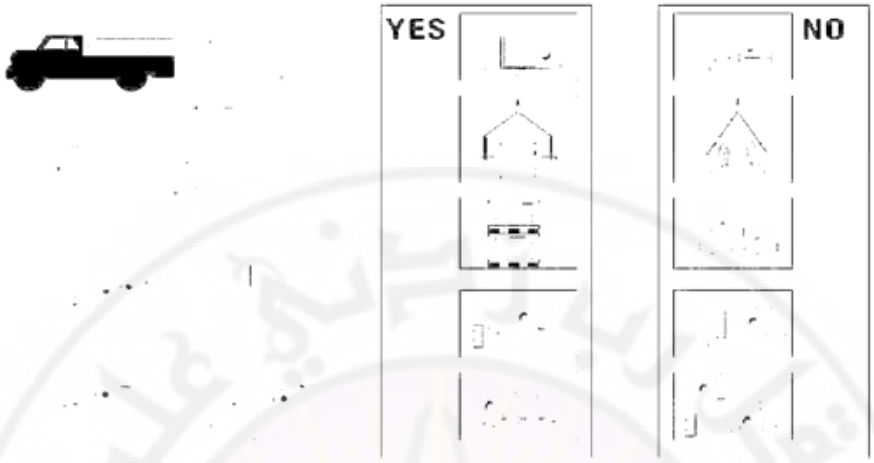


(د)

الشكل (3-9- آ – ب – ج – د) يبين طريقة تنفيذ مسارات الكابلات عند المنعطفات

من الضروري أثناء مد الكابل في القناة أو الخندق أو خلال القساطل عند عبور عوائق وجوب التزام قواعد وشروط تؤمن حماية الكابل بالدرجة الأولى من الخدوش الميكانيكية وعدم الثني بزوايا حادة تجنبا لتلف طبقات العزل. إن أماكن الخدوش والثني تؤدي إلى تشوه الحقل حول الكابل ونشوء منطقة ذات مقاومة عالية تؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الكابل في هذه المنطقة الأمر الذي يهدد بتلفه وانهياره. الشكلان (3-10) ،(3-11) تبين الطرق المثلى لنقل الكابل ومده في الخنادق أو القساطل.

الشكل(3-10) طريقة تنزيل الكابل إلى الخندق



الشكل (3-11) مد الكابلات بشكل فني

5" – المحولات – لوحات التوزيع – الفيوزات – مفرغات التوتر وبقية التجهيزات الخاصة بمراكز التحويل الأرضية: سوف تشرح في الفصل الرابع من هذا الباب.

6"– إعداد الإضبارة:

يجب أن تضم الإضبارة ما يلي:

- جميع الرسومات التوضيحية التي تساعد في تنفيذ الخط.
- دفاتر الشروط الفنية العامة والخاصة .
- جداول الكميات ، بالإضافة إلى كشف تقديري بكلفة المشروع .

3-3 تصميم شبكات توزيع التوتر المتوسط الأرضية :

Mechanical Design of Medium voltage Underground networks

3-3-1 مقدمة: Introduction

من أهم مسائل تصميم خطوط كابلات التوتر المتوسط في المدن، هي مسألة اختيار المسار الأمثل لمسار الخط من المحولة 66/20 kV حتى المحولة 20/0.4 . إذا تم حل هذه المسألة بالطريقة المثلى فسوف يتم توفير كلفة اقتصادية لا يستهان بها من الناحية التأسيسية أو التشغيلية، إذ تنخفض قيمة هبوط التوتر بصورة ملحوظة. في حقيقة الأمر

لهذا الموضوع أهمية كبيرة، فقد كان موضع بحث في العديد من المقالات والأوراق العلمية. لقد ركزت هذه الأبحاث في مضمونها على شرح النماذج الرياضية التي تؤدي إلى اختيار المسار الأمثل لخط كابل توتر متوسط ضمن شبكة توزيع توتر متوسط أرضية. في هذا الفصل سوف أعني بتركيز البحث على تفاصيل صياغة تابع هدف (تابع رياضي) يساعد في دقة اختيار المسار الاقتصادي الأمثل. أود أن أوضح جانباً وهو أن المسار الأقصر ليس بالضرورة أن يكون المسار الأقل كلفة أو المسار الأمثل من ناحية الكلفة التأسيسية. إن صياغة هذا التابع تتطلب توضيح وشرح الشروط الفنية اللازم تحقيقها أثناء تصميم وتنفيذ خط كابل توتر متوسط حسب المواصفات العالمية.

3-3-2 مراحل تصميم خط كابل توتر متوسط:Underground Line design

إن مراحل تصميم خط كابل توتر متوسط تتلخص بالنقاط التالية:

1- الدراسة الكهربائية للحمولة وتحديد مقطع الكابل :

لقد تم استعراض هذه المسألة في الفصل الأول من هذا الباب .

2- تحضير المخطط المعماري للمنطقة .

3- تحديد شبكة المسارات:

إن المسارات التي يمكن تنفيذ الخط عليها متعددة وتشكل ما يسمى بشبكة المسارات. يجب مراعاة أن تكون المسارات بعيدة عن خطوط المياه والغاز والاتصالات ما أمكن ذلك، لأن تقاطع المسار مع أي عائق سيزيد من كلفة تنفيذ الخط، ويسبب مخاطر كبيرة.

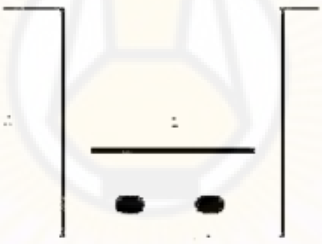
4- تحديد العوائق الموجودة على كل من هذه المسارات :

التقاطعات قد تكون تقاطع مع طرق رئيسية أو فرعية ، تقاطع مع شبكات أخرى كشبكة الاتصالات، المياه ،أو تقاطع مع خطوط كابلات قدرة أخرى. الشكل(3-12) يبين الأبعاد التي يجب تحقيقها بين الكابل والشبكات الأخرى .

الشكل(3-12) البعد بين خط الكابل والخطوط الأخرى

5"- رسم مقاطع في المسار المستقيم وعند التقاطعات:

الشكل(3-13) يبين مقطع في قناة مسار كابل تحوي كابلين



الشكل(3-13) مقطع في قناة تحوي كابلين

حيث:

h: ارتفاع القناة [cm]

d: عرض القناة في حال تمديد كابل واحد وهي تساوي 40 cm ، تتم زيادة هذا العرض 20 cm لكل كابل إضافي.

a: طول البلوكة.

إن أبعاد مقطع القناة يجب أن يكون $40\times100\,cm$ في حال تمديد كابل واحد في القناة ويزداد العرض مسافة 20 cm لكل كابل إضافي يمدد في القناة. يتم تحديد عمق القناة يتم

حسب واقع الشبكات الخدمية المنفذة سابقاً على المسار ، إذ يجب تحديد عمق حفرٍ لا يسبب تلفاً للشبكات الخدمية الأخرى. إن أبعاد مقطع القناة عموماً ومهما كان عدد الكابلات هي $h\times(nd-(n-1)*20)$. باستخدام هذه الأبعاد يمكن حساب كمية الحفر لمتر طولي واحد من العلاقة (1-3).

$$V_{soil}=h*(nd-(n-1)*20)10^{-4} \qquad (3-1)$$

حيث:

Vsoil: حجم كمية الحفر لمسافة متر طولي واحد m^3 .

h: ارتفاع القناة [cm].

d: عرض القناة في حال تمديد كابل واحد وتساوي 40 cm .

n: عدد الكابلات الممتدة في القناة .

في العلاقة (1-3) لم نعتبر قطر الكابل لأنه محسوب من ضمن زيادة الـ 20 cm التي تضاف عند زيادة كل كابل على القناة. عند تنفيذ القناة يتم وضع طبقة من الرمل الناعم بسماكة 10 cm في أسفل القناة تحت الكابل قبل مد الكابل، ثم تضاف طبقة رمل ثانية بسماكة 20 cm فوق الكابل بعد مده، وبناءً على ذلك يمكن تحديد كمية الرمل اللازمة لمتر طولي واحد من المسار من العلاقة:

$$V_{sand}=(h*(nd-(n-1)*20)-n*R)*30*10^{-4} \quad (3-2)$$

حيث:

Vsand:حجم الرمل اللازم لمسافة متر طولي واحد m^3 .

R:قطر الكابل الواحد[cm] .

أما بقية المتحولات فتأخذ التعريف نفسه في العلاقة (1-3). يجب الانتباه إلى أن الواحدة في العلاقة (2-3) مقدرة بالمتر المربع وبعد أخذ الجداء لمسافة 1 m طولي نحصل على رقم واحدته متر مكعب وهو حجم الرمل اللازم وضعه تحت وفوق الكابلات لمسافة متر طولي واحد. فوق طبقة الرمل يتم رصف بلوك أبعاد الواحدة منها $a\times b\times c\,cm$

حيث:

a: طول البلوكة [cm].

b: عرض البلوكة [cm].

c: سماكة البلوكة [cm].

إن أبعاد البلوك المستخدم عملياً هو $40\times20\times6cm$، ويستخدم البلوك من أجل حماية الكابل من قوى الضغط التي قد يتعرض لها من الأعلى. ترتب هذه البلوكات كما هو مبين في الشكل (2-2) الذي يبين مقطعاً في قناة خط كابل توتر متوسط تحوي كابلين. إذا كان عدد الكابلات في القناة أكثر مما هو مبين على الشكل(3-17)، ويمكن وضع بلوكة بالطول وأخرى إلى جانبها بالعرض كما في الشكل(3-18) حيث تصبح مسافة تغطية البلوكتين 60cm، وإذا كانت القناة أعرض من ذلك توضع بلوكتين بعضهما إلى جانب بعض لتصبح مسافة تغطية البلوكتين 80cm. إن عدد البلوكات في المتر الطولي من المسار مبين في الجدول(3-2).

جدول(3-2) عدد البلوكات في المتر الطولي من المسار

اتجاه توضع البلوك	العدد في المتر الطولي الواحد N_b
a	5
a+b	7.2
a+a	10

وقد تم رسم مقطع في المسار ويجب رسم مقطع أيضاً عند التقاطعات. الشكل(3-14) يبين طريقة مد الكابل عند اجتياز طريق ، ممر مائي ، مسار سكك حديدية ...) .

الشكل(3-14) يبين مقطعاً في مسار الكابل عند التقاطع مع طريق

حيث:

h:ارتفاع القناة [cm]

d:عرض القناة في حال تمديد أنبوب واحد وتساوي 50cm ، تتم زيادة هذا العرض X لكل كابل إضافي .

a: طول البلوكة [cm].

b:عرض البلوكة[cm] .

عند التقاطعات وتجاوز العوائق يمدد الكابل في أنابيب بلاستيكية من نوع PVC مقسى، أو أنابيب معدنية. يبين الشكل استخدام ستة أنابيب بلاستيكية وضعت تحت الطريق، إذ تم استخدام ثلاثة منها والثلاثة الباقية احتياطية. لما كانت كلفة هذه الأنابيب ليست مرتفعة فيصمم المعبر بسعة ستة أنابيب عموماً ولو استخدم منها أنبوب واحد. عند التقاطعات تحسب كمية الحفر من العلاقة (1-3) وكمية الرمل اللازم من العلاقة (2-3) أما عدد البلوك أيضا يحدد من الجدول (3-2). كمية الردميات مساوية تقريباً لكمية الحفر، أما كمية الزفت اللازم للمتر الطولي للمسار والتقاطعات فتحسب من العلاقة:

$$Vc = 10 * (nd - (n-1) * 20) 10^{-4} \qquad (3-3)$$

Vc: حجم الزفت اللازم لمسافة متر طولي واحد m^3.

d: عرض القناة يساوي 40 cm للمسار و 50 cm عند التقاطعات .

في العلاقة (3-3) اعتبرنا أن سماكة طبقة الزفت 10 cm. أما في حال استخدام البلاط على الأرصفة فتحسب كمية البلاط حسب نوعه وأبعاده.

6- رسم مخطط تمثيلي رمزي لشبكة المسارات :

يتألف المخطط التمثيلي الرمزي من مجموعة عقد ومجموعة فروع. إذ إن العقدة تمثل نقطة تقاطع على المسار أو نقطة بداية المسارات، أي باسبارات محولة 66/20 kV. الشكل(3-15) يبين مخطط المسارات الممكنة لخطوط توتر متوسط.



الشكل(3-15) المسارات الممكنة لخطوط كابلات شبكة توتر متوسط

نبين على الشكل(3-15) ما يلي:

- إن توصيلات مسارات الخطوط المبينة على الشكل تحدد وفقاً للمخطط المعماري للمنطقة.
- نلاحظ أنه لتغذية محولة توزيع 20/0.4 kV ما من محطة 66/20 kV يوجد عدة مسارات، إذن فإن شبكة المسارات حلقية، ولكن بعد اختيار الأمثل لتغذية كل محولة توزيع تصبح الشبكة شعاعية.

7- ترقيم عقد المخطط الرمزي لشبكة المسارات:

يتم الترقيم باستخدام الأعداد الصحيحة، عندها تعرف العقدة برقمها والفرع برقم عقدتي البداية والنهاية له، أو يمكن وضع ترقيم خاص بالفروع مختلف عن ترقيم العقد باستخدام الأعداد الصحيحة أيضاً كما هو مبين على الشكل (3-15).

8- تشكيل جدول المسارات :

يحدد في هذا الجدول رقم خاص للمسار أو يحدد المسار برقمي عقدة البداية والنهاية له ،طول المسار، عدد الكابلات المتوضعة في القناة، عدد العوائق الموجودة على المسار، نوع العائق كما في الجدول(3-3). أبعاد القناة موجودة على الشكل(3-14).

جدول (3-3) جدول المسارات

رقم متسلسل	رقم عقدة بداية الفرع	رقم عقدة نهاية الفرع	عدد الكابلات في القناة	أبعاد القناة		طول المسار L[m]	عددالعوائق الموجودة على المسار	نوع العائق
				h[m]	d[m]			

سيتضمن العمود الأخير من الجدول (3-3) عبارات تشير إلى نوع العائق(تقاطع مع طريق، أومع شبكة مياه)، هذه العبارات التي تبين نوع العائق بصيغتها الحرفية تشكل عقبة عند كتابة برنامج اختيار المسار الأمثل، لذلك يفضل وضع ترميز خاص للعوائق يسهل على المبرمج برمجة معلومات هذا العمود. الجدول (3-4) يبين مقترح ترميز .

جدول (3-4) جدول ترميز العوائق

نوع العائق	رمز العائق
تقاطع مع طريق	1
تقاطع مع شبكة مياه	2

9- إعداد الإضبارة التي تحوي :

آ- المخططات التنفيذية (مقاطع في المسار ، مقطع في تنفيذ أي عائق، طريقة تنفيذ وصلات الكابلات ، مخطط طريقة مد الكابل عند المنعطفات ..).

ب-جداول الكميات :تحسب كميات الحفر من العلاقة (3-1) وكمية الرمل اللازم من العلاقة (3-3)، أما عدد البلوكات فيحدد من الجدول (3-2).يمكن اعتبار أن كمية الحفر مساوية لكمية الردم. أما كمية الزفت اللازم تحسب من العلاقة (3-3). وتملأ المعلومات بالجدولين(3-3)، (3-4).

ج – إعداد دفاتر الشروط الفنية :وفيها توضع شروط التنفيذ للمتعهد.(الفقرة 2-3 التالية تحوي بعض الشروط التنفيذية)

د – تحليل الأسعار والكشف التقديري وفيه يتم تحليل التكاليف لكل من البنود التالية :

- كلفة 1m من الكابل واصل إلى موقع العمل .
- كلفة تنفيذ الوصلة الواحدة للكابل .
- كلفة حفر المتر المكعب من المسار بما يشمل تكسير أو إزالة بلاط الأرصفة أو حفر الأسفلت.
- كلفة مد 1m من الكابل على المسار وتشمل(أجور مد الكابل + كلفة الرمل تحت الكابل وفوقه + كلفة بلوك أو بلاط حماية الكابل).
- كلفة تنفيذ 1m من التقاطعات أو العوائق.
- كلفة ردم 1mمن المسار.
- كلفة إعادة البلاط إذا كان المسار على الرصيف أو التزفيت إذا كان المسار على الطريق لكل 1m.
- تقدير أجور العمال والإداريين .
- تقدير كلفة النثريات.

3-3-3 مراحل تنفيذ خط كابل توتر متوسط:

إن تنفيذ خط كابل توتر متوسط يمر بالمراحل التالية :

1"- قبل بدء التنفيذ يتم استطلاع المسار على الواقع حيث يجري تهيئة الأرصفة وتحديد مكان الحفر ، و يتم أيضاً تحديد وتهيئة مكان التقاطعات مع كل العوائق ووضع الخطط الميدانية لتنفيذها . الشكل (2-1) يبين البعد بين خط الكابل والخطوط الأخرى .

2"- تنفيذ أعمال الحفر بالأبعاد الموجودة على المخططات .

3"- فرش الرمل على أرضية القناة .

4"- مد الكابل . يتم مد الكابل سحباً من بكرة الكابل وهي محملة على مقطورة مد الكابلات مع دوران البكرة أثناء المد ،ويتم السحب عن طريق ماكينة سحب الكابل بحيث لا يكون هناك أي شد زائد على الكابل أثناء، كما ويجب عدم تعرضه لإجهادات شد فوق الحدود المسموح بها المبينة في نشرة مواصفات الكابل، وفي حال وجود انحناء في مسار

الكابل يجب ألا يقل نصف قطر انحناء الكابل عن 15 إلى 20 مرة من قطر الكابل حسب نوعه.

5"- فرش طبقة رمل فوق الكابل .

6"-وضع البلوك فوق طبقة الرمل. ويمكن الاستعاضة عن طبقة البلوك بتعبئة حفرة القناة

بالبحص الناعم (زرد) من سطح طبقة الرمل العليا حتى سطح القناة العلوي مع ترك مسافة من أجل إعادة البلاط أو التزفيت، لأن البحص يؤمن امتصاص الصدمات الميكانيكية التي قد يتعرض لها الكابل من الجهة العلوية .

7"- إعادة الردم فوق البلوك عند استخدامه وإلا ستملأ حفرة القناة بالبحص الناعم .

8"-يجب تنفيذ وصلات البداية والنهاية أو الوصلات في أي منطقة من المسار للكابلات بالسرعة الممكنة حتى لا تتسرب الرطوبة إلى الكابل .

9"- إعادة البلاط أو التزفيت .

3-3-4 خوارزمية اختيار المسار الأمثل :

إن مسألة اختيار المسار الأمثل في شبكة هي أحد المسائل الشهيرة في مجال البرمجة الخطية، وتعرف بمسألة المسافر . تقضي مسألة المسافر أن هناك شخصاً يريد السفر من مدينة إلى أخرى بأقل زمن ممكن، طبعا لدى هذا الشخص مجموعة من الطرق أو المسارات وعليه اختيار المسار الأمثل الأقل زمناً. لقد تصدى علماء الرياضيات لهذا النوع من المسائل وكان من أشهر الذين ساهموا في حل هذه المسألة ووضع نموذج رياضي لها العالم Bellman. لقد اعتمد Bellman في نموذجه الرياضي على صياغة علاقة رياضية سماها التابع القياسي أو تابع الهدف ، واعتبرها مقياس المفاضلة بين المسارات جميعها حتى يصل للمسار الأمثل. لقد اعتمد في حله للنموذج الرياضي على عملية التكرار والتراكم. إن طريق بيلمان تتكون من مرحلتين، الأولى: وضع النموذج الرياضي للمسألة (صياغة تابع الهدف) وهي من مهمة محلل المسألة المطروحة ، والثانية: تصميم الخوارزمية وهي مصممة من قبل بيلمان .

آ- وضع النموذج الرياضي :

بناءً عليه وللاستفادة من النموذج الرياضي لـ bellman في اختيار المسار الأمثل لخط كابل توتر متوسط في شبكة كابلات فقد تم تشكيل تابع قياسي كما يلي:

$$F = \left[n.c1 + \left(V_{soil}.c2 + V_{sand}.c3 + N_b.c4\right).c2 + V_{soil}.c5 + V_c.c6 + c7\right]L + m.c8 + c9 \qquad (3-4)$$

حيث :

n :عدد الكابلات في القناة .

$c1$:سعر المتر الطولي من الكابل .

V_{soil} : حجم الحفريات لمتر طولي من المسار .

V_{sand} : حجم الرمل اللازم لمسافة متر واحد طولي من الكابل .

N_b : عدد البلاطات اللازمة .

$c2$:كلفة حفر المتر المكعب الواحد.

$c3$: كلفة المتر المكعب من الرمل .

$c4$: كلفة المتر الطولي من البلاط.

$c5$: كلفة ردم المتر الطولي من المسار .

$c6$:كلفة المتر المكعب من الزفت .

$c7$:كلفة مد المتر الطولي من الكابل .

L : طول المسار الواحد.

m : عدد وصلات الكابلات .

$c8$: كلفة الوصلة الواحدة .

$c9$: مبلغ إجمالي يشمل المصاريف النثرية.

تحسب قيمة هذا التابع لكل مسار بناءً على العلاقات (3-1)،(3-3)،(3-4) والجدولين (3-3)،(3-4) .

ب- خوارزمية Bellman لاختيار المسار الأمثل :

تعتمد خوارزمية بيلمان في البحث عن المسار الأمثل على الأسلوب التكراري والتراكمي في آن واحد ، يبدأ البحث عن المسار الأمثل بدءاً من العقدة رقم N العقدة الأخيرة في ترتيب عقد الشبكة، وحتى الوصول إلى العقدة رقم 1، مثلاً على الشكل (3-15) نجد أن العقدة رقم N هي العقدة 9. إذن البحث ينطلق من العقدة N ، حيث يتم البحث عن الفروع التي تتصل مع العقدة N ثم يتم اختيار الأمثل منها حسب التابع القياسي المبين في العلاقة (3-4)، وليكن أول مسار أمثل هو الفرع N,p ،حيث p عقدة من عقد الشبكة رقمها أدنى من N وتتصل مع العقدة N مباشرة بالفرع N,p ، يتم الاحتفاظ في هذا الفرع ثم ينطلق البحث في المرحلة التالية بدءاً من العقدة p ،حيث يتم البحث عن الفروع التي تتصل بها باستثناء الفرع N,p ، ثم يتم اختيار الأمثل من هذه الفروع الجديدة ، يضاف الفرع الأمثل الجديد إلى الفرع الأمثل N,p السابق ، وهكذا تتكرر عملية البحث، وتتراكم الفروع المثلى حتى نصل إلى العقدة رقم 1، فيكون تسلسل الفروع المثلى هو المسار النهائي الأمثل . هذه الخوارزمية تعطينا ترتيب الحلول(المسارات) حسب درجة الأمثلية ،فإذا تعذر تنفيذ المسار الأمثل الأول لسبب من الأسباب يمكن اعتماد المسار الأمثل الثاني بالترتيب وهكذا .آلية عمل هذا الخوارزمية يعبر عنها بالعلاقة الرياضية التالية :

$$f[j,N]=\min\{K_j[j,p]+f[p,N]\} \quad j=1,2,3,..N-1 \qquad (3-5)$$
$$f[N,N]=0$$

أما ترتيب البحث عن الحل الأمثل فيعبر عنه بالعلاقات التالية:

حيث :

$$g[j,N]^{(0)} = K_i[j,N]$$

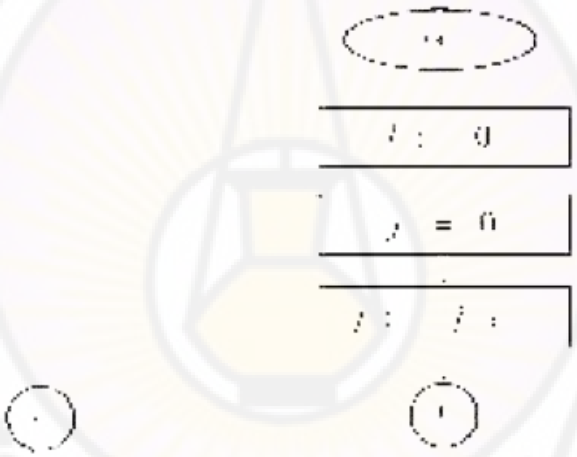
$$g[j,N]^{(l)} = \min_{\substack{p=1,2,..N-1 \\ p\neq j}} \{K_i[j,p] + g[p,N]^{l-1}\} \qquad (3-6)$$

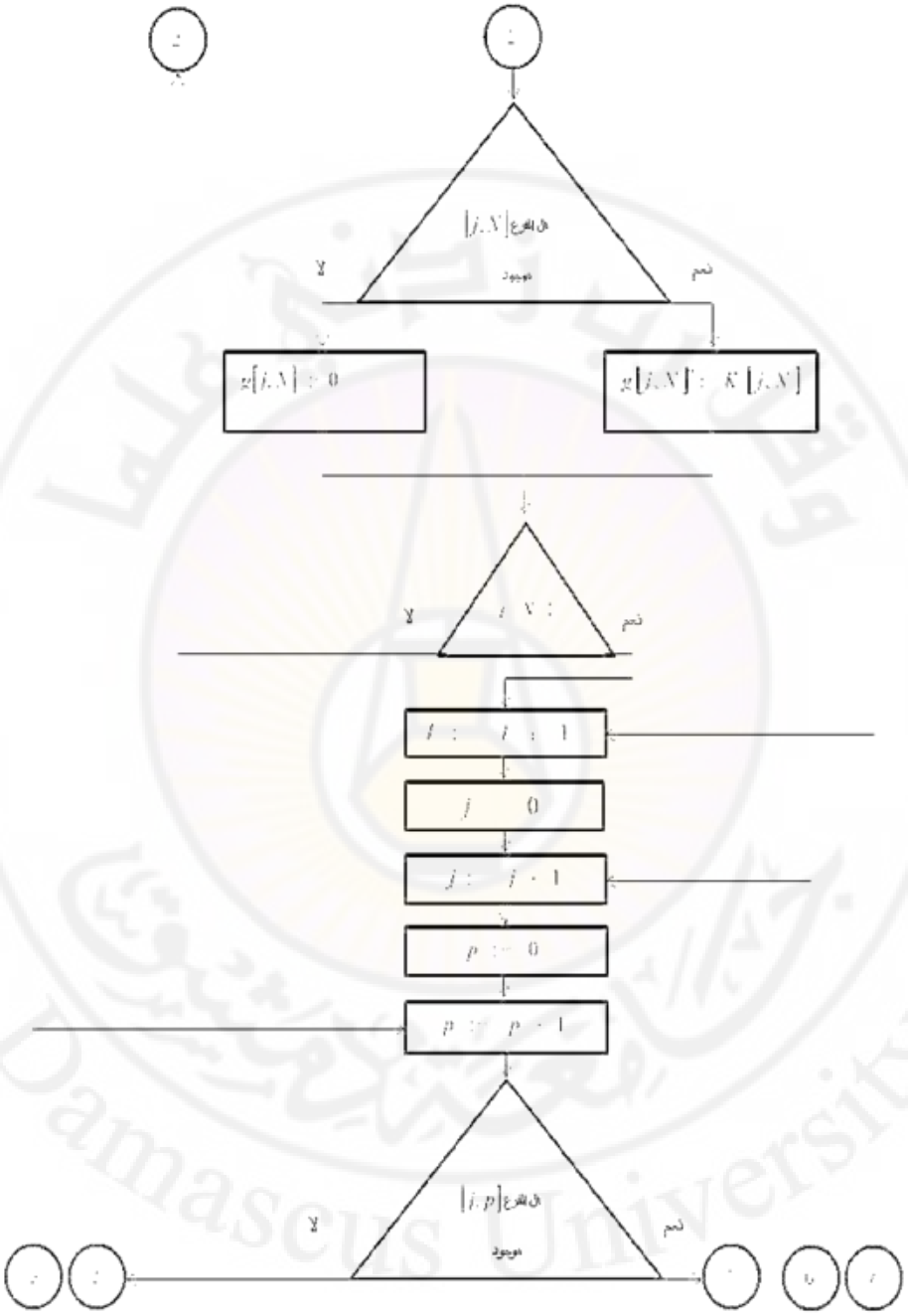
$$for \quad j = 1,2,3....,N-1$$

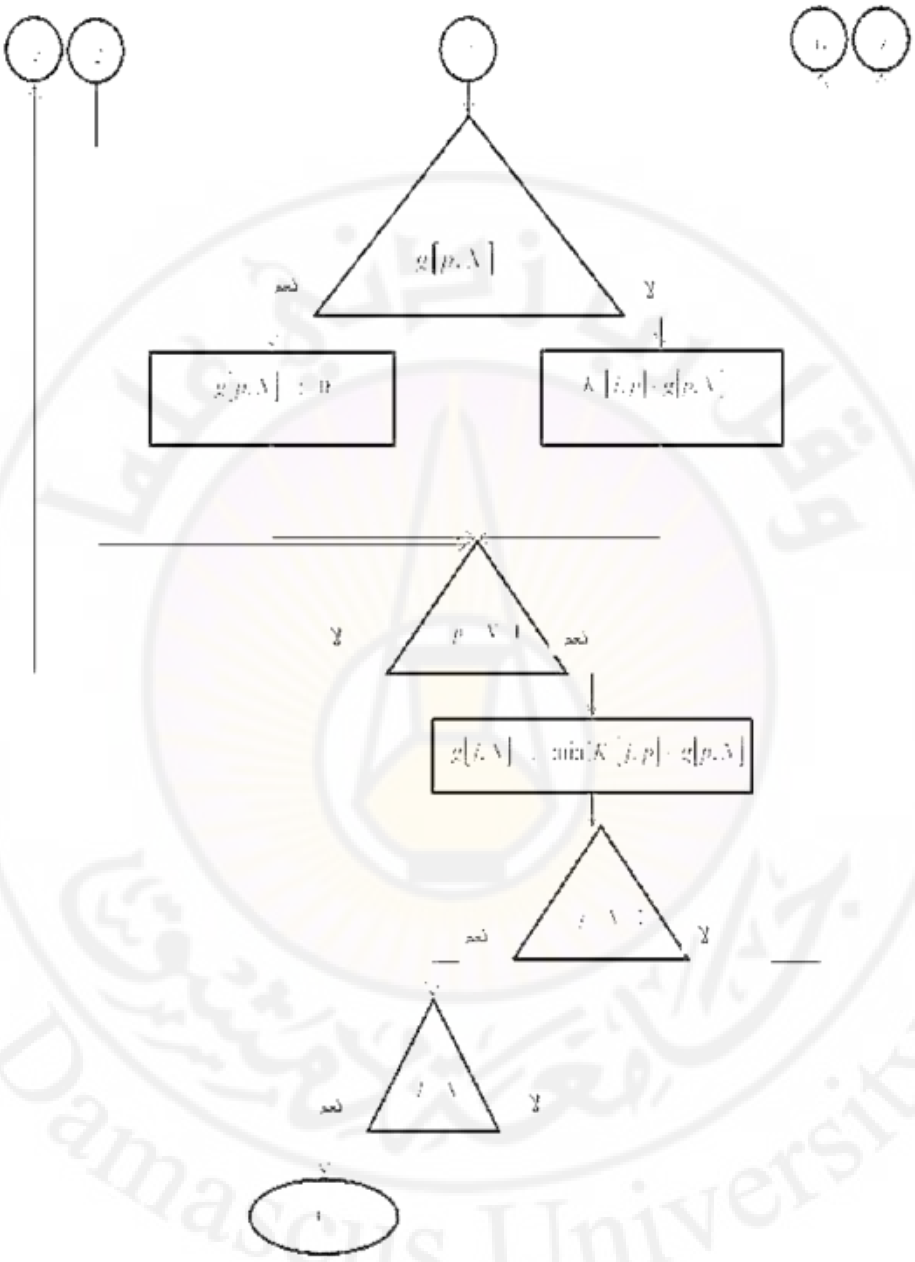
$g[j,N]^l$: يمثل تراكم الفروع المثلى من $l = 0,1,2..$.

$K_i[j,N]$: يمثل كلفة الفرع j,N محسوبا من علاقة التابع القياسي (3-4).

الشكل(3-16) يبين مخطط هذه الخوارزمية .







الشكل(3-16) مخطط خوارزمية البحث عن المسار الأمثل في شبكة توزيع توتر متوسط

الفصل الرابع

تصميم مراكز التحويل 20/0.4 kV في شبكات التوزيع الكهربائية

Designing of 20/0.4 Kv Sub Station using in Distribution Electrical Networks

4-1 مقدمة : Introduction

يعتبر تصميم مركز التحويل من المسائل ذات الأهمية البالغة التي يجب دراستها بعناية عند تصميم شبكة توزيع توتر منخفض ، فهو يؤمن الحماية للمحولة وتجهيزاتها من الأخطار الميكانيكية والعوامل الجوية ، إلى جانب حماية العنصر البشري من حوادث الصدمات الكهربائية .

[5],[12],[22],[25],[33],[34],[35],[38],[39],[40],[51],[61],[79],[81],

[82],[99]

4-2 اختيار موقع مركز التحويل :

إن اختيار موقع مركز التحويل يجب أن يحقق الشروط التالية:

- أن يكون في مركز الحمل لتجنب حدوث هبوط توتر عند المستهلكين .
- أن لا يتجاوز بعد آخر مستهلك عن مركز التحويل 1200m حسب تعليمات المؤسسة، كيلا يصبح هبوط التوتر النسبي أكبر من الحدود المسموح بها 3%.
- أن لا يشوه بناء مركز التحويل المشهد المعماري الجمالي للمنطقة.
- سهولة تنفيذ مسارات خطوط التوتر المتوسط الأرضية القادمة من محطة التحويل 66/20 kv إلى مركز التحويل 20/0.4 kv .
- سهولة تنفيذ مسارات خطوط التوتر المنخفض من مركز التحويل إلى الأحمال.

إن مراكز التحويل قد تكون هوائية ، وهذا ينفذ في شبكات توزيع التوتر المنخفض الهوائية ولاستطاعة محولة لا تتجاوز 400 kVA كما في الشكل (4-1).

الشكل(4-1) مركز تحويل هوائي .

أما المحولات ذات الاستطاعة الأكبر من ذلك فيجب أن تركب ضمن مركز تحويل أرضي. أما في شبكات التوزيع الأرضية فالمحولات تركب في مراكز تحويل أرضية تكون إما على شكل حاويات معدنية للاستطاعات الصغيرة أو بناء للاستطاعات الأكبر. ويمكن الإشارة هنا إلى أن مركز التحويل الأرضي قد يحوي محولة واحدة أو محولتين، الشكل(4-2-آ- ب) يبين مخطط التوصيل الكهربائي العام لمحولة واحدة أو محولتين .



(آ) محولة واحدة (ب) محولتين

الشكل(4-2) مخطط التوصيل الكهربائي العام لمحولة واحدة أو محولتين ضمن مركز تحويل أرضي

3-4 الشروط الفنية لبناء مراكز التحويل الأرضية والهوائية :

لقد حددت النورمات العالمية أبعاد مراكز التحويل وطريقة توضع التجهيزات الكهربائية داخلها. وبناء" على هذه النورمات صممت الشركات عدة نماذج من هذه المراكز تبعا لاستطاعة المحولات المركبة في هذه المراكز وعددها . ويمكن أن نميز من الناحية العملية بين ثلاثة أنواع من مراكز التحويل الأرضية:

آ- مراكز تحويل أرضية ضمن حاويات معدنية :

تستخدم هذه المراكز في شبكات توزيع التوتر المنخفض، وتستخدم في المنشآت الصناعية والتجارية، وذلك لأجل محولات ذات استطاعات صغيرة حتى 400 KVA عموماً ، ولكن يمكن مصادفة مراكز تحويل معدنية تحوي محولات باستطاعة تصل حتى 1600 KVA. تتميز هذه المراكز بسهولة نقلها وتركيبها وسهولة الوصول إلى التجهيزات بداخلها من أجل التركيب والصيانة . الشكل (4-3- آ - ب - ج) يبين الشكل الخارجي والبنية الداخلية لنموذج مركز تحويل أرضي معدني مصمم وفق المواصفة التالية :

(آ) المظهر الخارجي (ب) تجهيزات التوتر المنخفض

(ج) المحولة (د)تجهيزات التوتر المتوسط

الشكل(4-3) بنية مركز تحويل أرضي معدني .

الأبعاد التصميمية لمراكز التحويل المعدنية مبينة بالجدول (4-1).

جدول (4-1) الأبعاد التصميمية لمراكز التحويل المعدنية حسب استطاعة المحولة.

ومن الجدير ذكره أن هذه الحاويات المعدنية تصمم بدرجة حماية IP23D,to IP 56.

ب- مراكز تحويل أرضية مسبقة الصنع :

تستخدم هذه المراكز أيضاً في شبكات التوزيع والشبكات الصناعية . تصمم هذه المراكز بسعة محولة واحدة أو محولتين، ولاستطاعات محولات تصل إلى 1600 kVA. تصنع هذه المراكز في معامل خاصة من البيتون المسلح مسبق الإجهاد، الأمر الذي يؤمن لها متانة ميكانيكية عاليةً جداً ضد الصدمات الميكانيكية والعوامل الجوية ، وتصمم حسب المواصفات العالمية المبينة في الجدول(4-2).

جدول(4-2) المواصفات العالمية لتصنيع وتصميم مراكز التحويل مسبقة الصنع .

IEC no	TSE no	
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]

يبين الشكل(4-4) مظهر مركز تحويل مسبق الصنع ذي سعة محولتين650 kVA. على الشكل يظهر بابان أحدهما يحوي فتحات تهوية وهو باب لإدخال التجهيزات وعمال الصيانة والتركيبات، أما الباب الآخر فهو مخصص لإدخال المحولات .الفتحات الموجودة في أسفل المركز تستخدم لتمرير كابلات التوتر المتوسط والمنخفض.

الشكل(4-4) مركز تحويل مسبق صنع

الأبعاد التي تصمم بها هذه المراكز الجدول مبينة في الجدول(4-3) وهي تتسع لمحولتين. من المفضل في شبكات توزيع التوتر المنخفض استخدام مراكز مسبقة الصنع

ذات سعة محولتين بالرغم من تركيب محولة واحدة، وذلك على سبيل توقع زيادة الأحمال في المستقبل وتوسيع الشبكة. تصمم هذه المراكز بدرجة حماية IP23.

جدول (4-3) أبعاد مراكز التحويل مسبقة الصنع

الشكل (4-5) يبين طريقة توضع التجهيزات في مركز تحويل مسبق صنع.

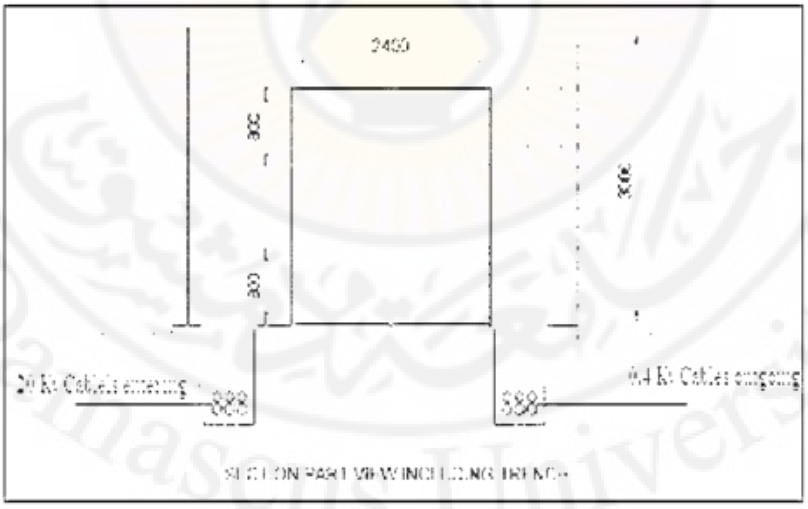
الشكل (4-5) توضع التجهيزات في مركز تحويل مسبق الصنع.

ج – مراكز تحويل أرضية إنشائية:

تبنى هذه المراكز في المكان باستخدام مواد البناء المعروفة بأبعاد سبق ورودها في الجدول (4-3) أو قريبة منها حسب توفر المساحة المعدة للبناء .أثناء بناء هذه المراكز يجب مراعاة الأبعاد الدنيا التي يجب توفرها بين التجهيزات حسب المواصفات العالمية .الشكل(4-6- آ- ب) يبين مخططاً معمارياً لمركز تحويل يتسع لمحولة واحدة ، والشكل (4-7 -آ- ب) يبين مخططاً معمارياً لمركز تحويل يتسع لمحولتين .



(أ)مخطط المركز من الداخل



(ب)واجهة مركز التحويل وأقنية دخول الكابلات وخروجها

الشكل(4-6) مخطط بناء مركز تحويل أرضي /سعة محولة واحدة.

(أ) مخطط مركز تحويل من الداخل /سعة محولتين



(ب) واجهة مركز تحويل سعة محولتين

الشكل(4-7) مخطط معماري لمركز تحويل/ سعة محولتين.

4-4 المواصفات الفنية لتجهيزات مراكز التحويل الهوائية والأرضية :

في هذه الفقرة سنستعرض محتويات مركز تحويل من التجهيزات على طرفي التوتر المتوسط والمنخفض، وكذلك طريقة توضع هذه التجهيزات وتأثيرها في أبعاد البناء.

4-4-1 : تأثير توضع التجهيزات ضمن المبنى على أبعاده:

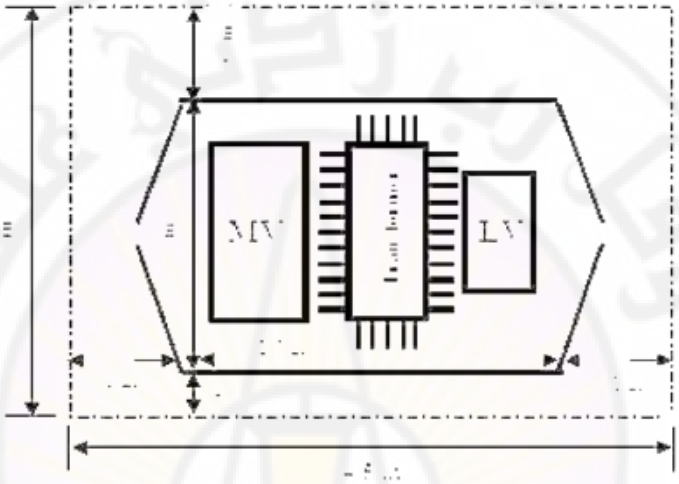
لا تختلف المواصفات الفنية لتجهيزات مراكز التحويل الهوائية والأرضية بعضها عن بعض. الشكل (4-8) يبين البنية العامة لتجهيزات مركز التحويل. يظهر على الشكل أن تجهيزات مركز التحويل تنقسم إلى ثلاثة أقسام هي :

- تجهيزات طرف التوتر المتوسط.
- المحولة .
- تجهيزات طرف التوتر المنخفض.

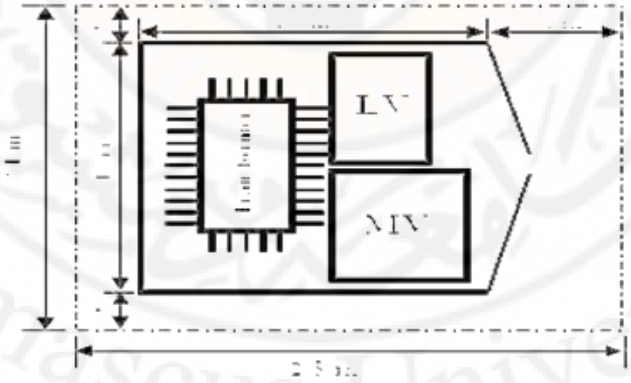
وسنأتي على محتويات كل قسم من هذه الأقسام بالتفصيل في الفقرات القادمة .

الشكل(3-8) البنية العامة لتجهيزات مركز تحويل .

إن طريقة توضع التجهيزات داخل مركز التحويل الأرضي تؤدي مهمة كبيرة في الأبعاد المعمارية لمركز التحويل. الشكل (4-9 – آ- ب) يبين نموذجين لتوضع التجهيزات داخل مركز التحويل .



(آ) نموذج أول لتوضع التجهيزات ضمن مركز تحويل أرضي



(ب) نموذج ثان لتوضع التجهيزات ضمن مركز تحويل أرضي

الشكل(4-9) نماذج توضع التجهيزات داخل مركز تحويل أرضي (محولة واحدة) 630 kVA.

من مقارنة نموذجي توضع التجهيزات ضمن مركز تحويل أرضي في الشكل(4-9) نلاحظ أن أبعاد بناء المركز في النموذج (ب) أصغر منها في النموذج (أ)، لذلك يجب أن نولي موضوع دراسة توضع التجهيزات ضمن المركز أهمية لما له علاقة بتخفيض كلفة بناء المركز . إن مراكز التحويل عموماً تضم التجهيزات الكهربائية التالية :

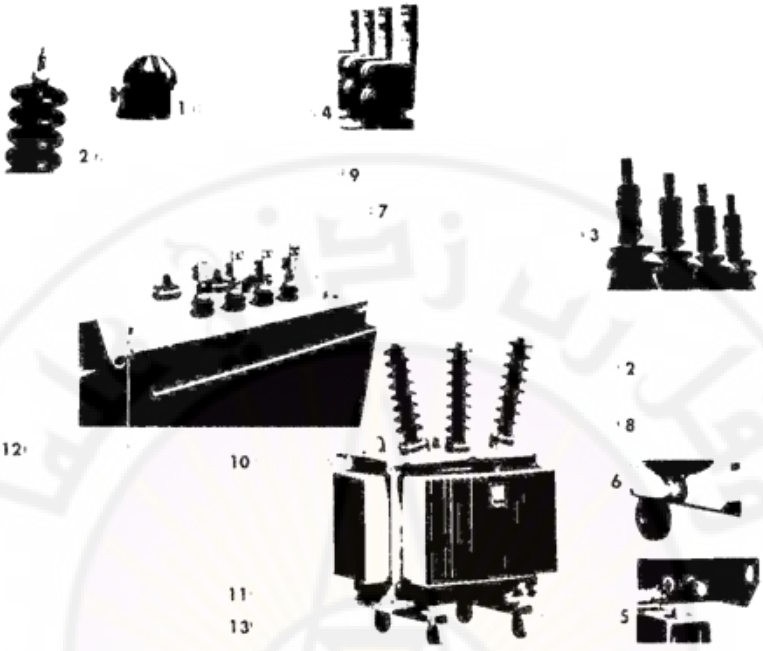
4-4-2 المحولات :

تستخدم في شبكات التوزيع محولات تتراوح استطاعاتها بين 100 – 3150 kVA ، الجدول (4-4) يبين الاستطاعات والتوترات الاسمية المستخدمة في شبكات التوزيع وفق المواصفة IEC60364. أما الاستطاعات الإسمية للمحولات المستخدمة في شبكات التوزيع المحلية فهي: 200 , 400 , 630 , 1000 , 1600 kVA .

جدول(4-4) الاستطاعات الاسمية لمحولات التوزيع

Apparent power	In (A)	
kVA	237 V	410 V
100	244	141
160	390	226
250	609	352
315	767	444
400	974	563
500	1218	704
630	1535	887
800	1949	1127
1000	2436	1408
1250	3045	1760
1600	3896	2253
2000	4872	2816
2500	6090	3520
3150	7673	4436

توجد طرفيات على السطح الخارجي للمحولة تستخدم في توصيل كابلات التوتر المنخفض والمتوسط، وتوجد أيضاً بعض التجهيزات الأخرى. الشكلان (4-10)،(4-11) يبينان مختلف الطرفيات الموجودة على الغطاء الخارجي للمحولة بالأرقام ، أما الجدولان (4-5)،(4-6) فيما يبينان تسمية كل طرفية حسب رقمها.



الشكل (4-10) طرفيات محولة توزيع .

جدول(4-5) مسميات الطرفيات حسب الأرقام .

	Uninhibited mineral insulating oil		IEC 60296
1.	Off-circuit regulation tap changer (can only be operated without voltage)		IEC 60214
	Off circuit voltage tap changer for dual primary voltage transformers (can only be operated without voltage)		IEC 60214
2.	MV porcelain bushings		EN 50180
3.	LV porcelain bushings		EN 50386
4.	LV connection Flags	≥630 kVA	
5.	2 Earthing terminals in the tank		EN 50216-4
6.	Draining and sampling device		EN 50216-4
7.	Filling device		EN 50464-1
8.	Rating plate		EN 50464-1
9	2 Lifting eyes		EN 50464-1
10.	4 Latching eyes		EN 50464-1
11.	4 Pulling eyes		EN 50464-1
12.	Thermometer pocket		EN-50216-4
13.	Wheels	≥250 kVA	EN-50216-4

عند تصميم مراكز أبنية مراكز التحويل، قد تبدو الحاجة ماسة إلى معرفة أبعاد التجهيزات والمساحة التي ستشغلها بدقة، الشكل(4-11) يبين أبعاد محولات التوزيع من الجوانب كافة باستخدام الترميز، أما قيم الرموز فهي مبينة في الجدول(4-6) الذي يبين أيضا مواصفات محولات التوزيع.

جدول(4-6) المواصفات الفنية لمحولات التوزيع .

Electrical characteristics			**24 kV: D_0 C_K (AB')**									
Rated Power [kVA]			250	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500(*)
Rated Voltage (Ur)	Primary [V]		20									
	No-load Secondary [V]		400 / 410 / 415 / 420 (to be defined)									
Vector Group			Dyn11 / Dyn5									
No-Load losses - Po [W]		for D,	530	750	880	1030	1150	1400	1750	2200	2700	3200
Load losses - Pk [W]		for C,	3250	4600	5500	6500	8400	10500	13500	17000	21000	26500
Short-Circuit Impedance [%] at 75°C			4	4	4	4	6	6	6	6	6	6
Sound Power Level ,wA [dB]		for D	60	63	64	65	66	68	69	71	73	76
Voltage drop at full load [%]		cos(f=1	1.37	1.22	1.16	1.11	1.19	1.22	1.25	1.24	1.22	1.23
		cos(f=0.8	3.33	3.25	3.21	3.17	4.44	4.47	4.49	4.48	4.47	4.47
Efficiency [%]	load 100%	cos(f=1	98.51	98.68	98.75	98.82	98.86	98.82	98.79	98.81	98.83	98.83
		cos(f=0.8	98.15	98.36	98.44	98.53	98.58	98.53	98.50	98.52	98.54	98.54
	load 75%	cos(f=1	98.76	98.90	98.96	99.02	99.06	99.04	99.01	99.03	99.04	99.04
		cos(f=0.8	98.45	98.63	98.70	98.78	98.83	98.80	98.77	98.79	98.81	98.81
Dimensions (mm)												
Rated Power (kVA)			250	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
A (Length)			1376	1537	1622	1622	1932	1997	2007	1922	1965	2093
B (Width)			930	94'	962	962	1161	1200	1200	1224	1277	'467
C (Height to cover)			915	1004	1026	1092	1112	1158	1230	1517	1715	'737
D1 (Height to MV with porcelain bushings)			1300	1389	1411	1477	1697	1543	16'5	1902	2100	2122
D3 (Height to MV Flush bushings)			1004	1093	1115	1'81	1201	1247	13'9	1606	1804	'826
D2 (Height to MV with Flags)			1149	1238	1287	1353	1445	1491	1563	1886	2084	2167
E (Separation between MV bushings)			275	275	275	275	275	275	275	275	275	275
H (separation between LV bushings)			150	150	150	150	'50	150	150	200	200	200
J (D-stance between wheel axis)			670	670	670	670	570	670	820	820	820	'070
K (wheel width)			40	40	40	40	40	40	70	70	70	70
Ø (wheel diameter)			125	125	125	125	'25	125	200	200	200	200
L (Wheel)			110	110	110	110	'10	110	165	165	165	165
Oil Volume (Litres)			260	330	390	410	510	530	540	1000	1200	'400
Total weight [Kg]			1010	1330	1600	1750	2250	2430	2750	3850	4750	5350

الجدول(4-7) يبين الخصائص الكهربائية لمحولات التوزيع .

جدول(4-7) بين الخصائص الكهربائية لمحولات التوزيع

4-4-3 كابلات التوتر المتوسط و المنخفض :

تستخدم الكابلات في مراكز التحويل الهوائية عادة على طرف التوتر المنخفض للمحولة، وتستخدم أحيانا على طرف التوتر المتوسط عند نقل الاستطاعة من عمود نهاية خط نقل التوتر المتوسط (في حال أن شبكة 20 kV هي شبكة هوائية) إلى طرف التوتر العالي للمحولة . أما في حال كون شبكة 20 kV شبكة أرضية وكذلك شبكة التوتر المنخفض أرضية ، عندها تستخدم الكابلات في كلا طرفي المحولة .ومن الواضح أنه تستخدم في مراكز التحويل كابلات توتر منخفض ومتوسط. إن كابلات التوتر المتوسط غالباً تكون من الألمنيوم وبنسبة أقل من النحاس ومن نوع XLPE نظراً لمقاومته العالية للصدمات الميكانيكية. إن مقطع هذه الكابلات المستخدمة في شبكات التوزيع هو $185mm^2$ للخطوط الرئيسية و $120mm^2$ للخطوط الفرعية، ووصلات دخول مراكز التحويل بغض النظر عن كونها من النحاس أو الألمنيوم. أما مقاطع كابلات التوتر المنخفض سواء منها المنطلقة من طرف التوتر المنخفض للمحولة إلى شبكة توزيع التوتر المنخفض الهوائية (وصلة الكابل بين طرف التوتر المنخفض للمحولة والعمود الأول من الخط الهوائي) ، أو المنطلقة من طرف التوتر المنخفض للمحولة إلى شبكة كابلات توزيع التوتر المنخفض فهي مبينة في الجدول (4-8) .

جدول (4–8) مقاطع كابلات شبكة التوتر المنخفض .

Transformer Power	Busbar	Phase (mm^2)	Neutral TTIIT (mm^2)	Neutral TNC (mm^2)	Phase (mm^2)	Neutral TTIIT (mm^2)	Neutre TNC (mm^2)

4-4-4 أجهزة الحماية والتحكم :

إن تجهيزات التحكم والحماية في مراكز التحويل الهوائية والأرضية يجب أن تضم مايلي:

4-4-4-1 على طرف التوتر المتوسط:

1- القواطع :

تبين الأشكال التالية أنواع القواطع ومواصفاتها الاسمية التي تركب على طرف التوتر المتوسط من المحولة:

Ratings of Switchgears in Medium Voltage

Short circuit breaking currents:

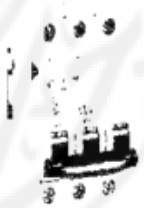
8 kA, 12.5 kA, 16 kA, 20 kA, 25 kA

Rated nominal currents:

630 A, 800 A, 1250 A, 1600 A, 2000 A, 2500 A

Rated nominal voltages (line-to-line):

6 kV, 7.2 kV, 12 kV, 24 kV, 36 kV



Ratings of Switchgears in Medium Voltage

Short circuit breaking currents:

8 kA, 12.5 kA, 16 kA, 20 kA, 25 kA

Rated nominal currents:

630 A, 800 A, 1250 A, 1600 A, 2000 A, 2500 A

Rated nominal voltages (line-to-line):

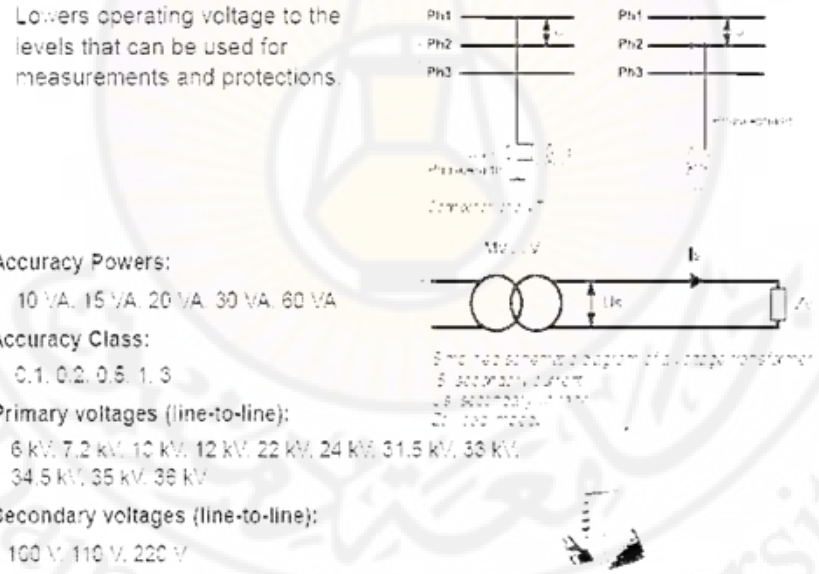
6 kV, 7.2 kV, 12 kV, 24 kV, 36 kV



الشكل(4-11) نماذج قواطع توتر متوسط 20Kv

2- محولات التوتر :

تستخدم محولات التوتر والتيار على طرف التوتر العالي لتأمين توتر وتيار منخفضي القيمة من أجل تغذية أجهزة القياس والتحكم. تعطي محولات التوتر على الطرف الثانوي لها توترات 100،110،220 V. يبين الشكل (4-12) طريقة وصل محولات التوتر وتوتراتها الاسمية على الطرف الابتدائي والثانوي.



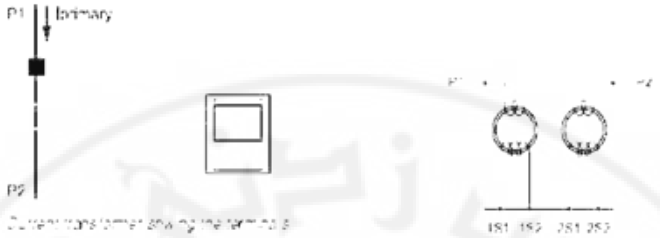
الشكل (4-12) محولات التوتر

3- محولات التيار :

تعطي محولات التيار على خرجها تيار 1A أو5A .الشكل(4-13-أ -ب-ج) يبين طريقة توصيلها.

CT connection is made to the terminals identified according to the IEC:

- P1 and P2 on the MV side
- S1 and S2 on the corresponding secondary. In the case of a double output the first output is identified by 1S1 and 1S2, the second by 2S1 and 2S2.



(أ)

Rated primary currents (I_{pn}):

5 A, 10 A, 15 A, 20 A, 25 A, 30 A, 40 A, 50 A, 75 A, 100 A, 150 A, 200 A, 250 A, 300 A, 350 A, 400 A, 450 A, 500 A, 600 A, 700 A, 800 A, 900 A, 1000 A, 1250 A, 1500 A

Rated secondary currents:

1 A, 5 A



Accuracy powers:

10 VA, 15 VA, 20 VA, 30 VA



Voltage measurement unit (phase-ground VT)



Voltage and current measurement unit



Input-output with circuit breaker (phase-ground VT)

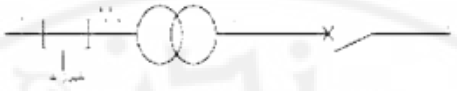
(ب)

(ج)

الشكل(4-13) محولة تيار

4"- الفيوزات(المنصهرات) :

تركب الفيوزات على طرف التوتر المتوسط 20 kV للمحولة. يبين الشكل(4-14) مخططاً رمزياً يوضح مكان تركيب الفيوزات .

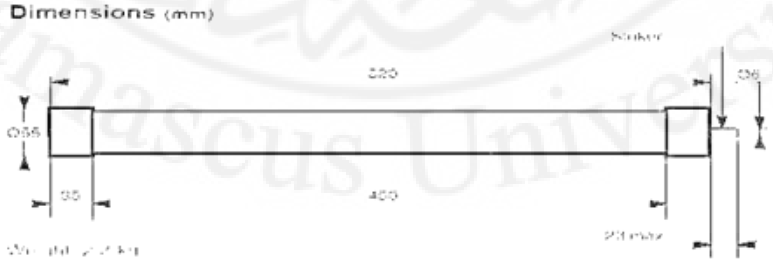


الشكل(4-14) مكان تركيب الفيوزات .

من الناحية العملية تركب الفيوزات في قمة العمود المعدني (عمود نهاية خط 20 kV هوائي)الذي يحمل المحولة في المراكز الهوائية كالموجود في الشكل (4-1)، أو تركب داخل مبنى مركز التحويل الأرضي في المراكز الأرضية وهو مبين في الشكل(4-15) الذي يبين طريقة تركيب الفيوزات في تجهيزات مركز أرضي . تملك الفيوزات المظهر الخارجي المبين في الشكل(4-16).

الشكل(4-15) طريقة تركيب فيوز **الشكل(4-16) مظهر الفيوزات**

أما أبعاد هذه الفيوزات تختلف فيما بينها حسب الاستطاعة الاسمية للمحولة ، الشكل (4-17) يبين أبعاد فيوز لمحولة 630 kVA.



الشكل(4-17) أبعاد ووزن فيوز يستخدم في مركز 630 kVA.

الجدول (4-9) يبين مواصفات الفيوزات والفواصم المستخدمة في مراكز تحويل شبكات توزيع التوتر المنخفض الهوائية والأرضية. تركب الفواصم على طرف التوتر المنخفض.

جدول(4-9)مواصفات الفيوزات والفواصم حسب المواصفة العالمية

من المعتاد أن يكون عيار الفيوز أعلى من التيار الاسمي بقليل من أجل تحمل التيار في حال حملت المحولة باستطاعة أكبر من استطاعتها الاسمية، فمثلا التيار الاسمي على طرف توتر 20kV لمحولة ذات الاستطاعه الاسمية 200kVA هو :

$$20000/\left(\sqrt{3}\times 0.85\times 2000\right)=6.9A$$

وبأخذ عامل أمان يمكن حساب عيار الفيوز مباشرة من العلاقة التقريبية :

$$200/20 = 10\ A$$

لكن المعتمد حسب النورمات العالمية المبينة في الجدول (4-10) هو الفيوز عيار 16A ،وللمحولة 400kVA يمكن اختيار قاطع لها بطريقة حسابية مباشرة مع الأخذ بعين الاعتبار عامل أمان من العلاقة التقريبية 400/20=20A لكن النورمات توجب استخدام فيوز عيار 25A وهكذا بالنسبة إلى بقية المحولات. إن عيار الفيوزات المستخدمة عمليا في شبكات التوزيع يقع ضمن المجال 63A – 6.3 حسب استطاعة المحولة.

5- مفرغات التوتر الزائد :(Surge Arresters)

يعد عمل مفرغات التوتر عنصر حماية لمحولة التوزيع 20/0.4 kV من :

-موجات التوتر الزائد المؤقت : (Temporary overvoltage's)

من أهم أسباب حدوث موجات التوتر الزائد حدوث عطل طور مع الأرض، حيث تسري عبر نواقل 20 kV موجات توتر ذات مطال كبير باتجاه المحولة إلى أن تصطدم بوجود مفرغات التوتر التي تعمل على تمرير هذه الموجات إلى الأرض وتمنعها من دخول المحولة وبذلك نكون قد ضمنا حماية المحولة .

-موجات التوتر الزائد الناتج عن عمليات فصل -وصل: (Switching Over voltage)

عند إجراء عمليات فصل الأحمال ووصلها يمكن أن تمر موجة توتر زائد عابرة باتجاه المحولة تعمل مفرغات التوتر على تمريرها إلى الأرض.

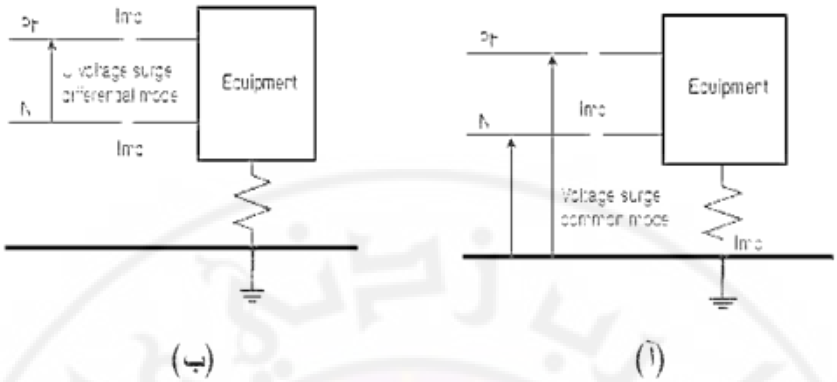
-موجات التوتر الزائد البرقي : (Lightning overvoltage's)

قد يحدث أحياناً أن صاعقةً تضرب خطوط التوتر المتوسط فتنشئ فيها موجة توتر عالية المطال تسافر باتجاه المحولة، وقبل وصولها المحولة تلتقطها المفرغات وتمررها إلى الأرض. الشكل(4-18-أ-ب) يبين أشكال موجة التوتر هذه .



الشكل(4-18) شكل موجة التوتر الزائدة أو النبضية.

تقوم مفرغات التوتر بتمرير الموجات الشاذة إلى الأرض عبر سلك التأريض الخاص بها، وتمنعها من المرور إلى المحولة. الأشكال(4-19-أ-ب-ج) تبين مبدأ الربط والتفريغ .



(ب) (أ)

الشكل(4-19) مبدأ تفريغ مفرغات التوتر .

الشكل(4-20) يبين شكل هذه المفرغات،والشكل (4-21) يبين مكان تركيبها قبل المحولة على جانب توتر 20 kV.

الشكل(4-20) أشكال مفرغات التوتر الزائد

الشكل(4-21) مكان تركيب مفرغات التوتر الزائد على جانب 20 kV من المحولة

تعطى المواصفات الفنية لمفرغ التوتر كما في الجدول (4-11) .

جدول (4–10) المواصفات الفنية لمفرغ التوتر الموجود على الشكل (4–22)

DA1 series	4 - 39 kV
Rated discharge current (8/20µs)	10 kA
Line discharge class 1 according to	IEC 60099-4
Operating duty impulse withstand current (4/10µs)	100 kA
Long duration current impulse (2000µs)	325 A
10 second TOV, (U_{TOV} / Uc)	1.29 * Uc
High current short circuit: (pre-failing method) (Safe non-shattering failure mode)	21 kA
Energy	5.6 kJ/kV
Ambient temperature range	- 60°C to + 60°C

أما الجدول (4–11) فيبين مواصفات عدة مفرغات توتر من نوع DA1 ومصنعه حسب ISO 9001 and 14001compliant ولعدة مستويات توتر اسمي.

جدول(4–11) المواصفات الفنية لمفرغات توتر .

	U_c	U_r	Residual Voltage - kV (Using IEC Standard Impulses)				Housing size (see Table 3)	
			Lighting - [8/20 µs]		Steep Lighting - [1/20 µs]	Switching - [30/60 µs]		
Description	kV	kV	at 10 kA	at 20 kA	at 10 kA	at 500 A	Standard	Extended
DA1-04	3.2	4	10.6	11.6	11.1	8.4	A	B
DA1-06	4.8	6	15.9	17.4	16.7	12.7	A	B
DA1-08	6.4	8	21.2	23.2	22.3	16.9	A	B
DA1-10	8	10	26.5	29.1	27.9	21.1	A	B or C
DA1-12	9.6	12	31.8	34.9	33.4	25.3	A	B, C or D
DA1-15	12	15	39.6	43.6	41.8	31.6	B	C or D
DA1-18	14.4	18	47.7	52.3	50.2	38	C	B, F or F
DA1-21	16.8	21	55.7	61	58.5	44.3	C	D or F
DA1-22	17.6	22	58.3	63.9	61.3	46.4	D	F or G
DA1-24	19.2	24	63.6	69.7	66.9	50.6	D	F or G
DA1-27	21.6	27	71.6	78.4	75.2	56.9	F	G or H
DA1-30	24	30	79.5	87.2	83.6	63.3	F	G or H
DA1-33	26.4	33	87.5	95.9	92	69.6	G	H
DA1-36	28.8	36	95.4	104.6	100.3	75.9	G	H
DA1-39	31.2	39	103.4	113.3	108.7	82.2	H	--

U_c = Continuous operating voltage
U_r = Rated voltage

TABLE 3: PRODUCT HOUSING PARAMETERS

A	4	134	50	152	329	147	1.2
B	5	160	56	177	404	172	1.4
C	7	194	66	227	553	222	1.8
D	8	205	75	252	627	247	2
F	10	427	102	302	776	297	2.6
G	12	273	122	352	925	347	2.9
H	14	295	135	402	1074	397	3.4

يتم اختيار المفرغ حسب قيمة التوتر الاسمي للجهاز المراد حمايته من الجدول(4–11).

4-4-4-2 على طرف التوتر المنخفض:

1"- القواطع :

تركب القواطع في كلا نوعي مراكز التحويل الهوائية والأرضية ضمن لوحة معدنية أبعادها 120/100/40 cm، لها باب معدني قابل للفتح والإغلاق . يجب أن تكون هذه اللوحة كتيمة ضد الغبار وتسرب المياه، ويجب أن تتحمل الصدمات الميكانيكية، ويجب أن تكون مطلية بدهان حراري مقاوم للعوامل الجوية . تسمى هذه اللوحة لوحة التحكم. الشكل (4-22) يبين شكل هذه اللوحة ومحتوياتها.

الشكل (4-22) شكل ومحتويات لوحة التحكم لمركز تحويل هوائي.

تركب هذه اللوحة على البرج المعدني الحامل للمحولة في مراكز التحويل الهوائية أو داخل مركز التحويل الأرضي، حيث يخصص لها مكان ضمن المركز. يختلف عيار القاطع الرئيسي باختلاف استطاعة المحولة، ويكون عادة قابلاً للمعايرة .يتم تحديد عيارالقاطع حسب الحمولة المسحوبة من الحمل . الجدول (4-12- أ- ب) يبين عيار القواطع الاسمية المستخدمة في مراكز تحويل شبكات التوتر المنخفض الهوائية والأرضية وفق المواصفة IEC60947-2 .

الجدول (4-12) عيار القواطع حسب استطاعة المحولات

(أ) عيار القواطع حسب الاستطاعة الاسمية للمحولات.

Power, KW	Block type index	Nominal current, A	Thermal release adjustment range
0.12	17	0.5	0.4-0.63
0.18	18	0.63	0.4-0.63
0.25	19	0.8	0.63-1
0.37	20	1	0.63-1
0.55	22	1.6	1-1.6
0.75	23	2	1.6-2.5
1.1	24	2.5	2.5-4
1.5	25	3.2	2.5-4
2.2	27	5	4.0-6.3
3	28	6.3	6-10
4	29	8	6-10
5.5	30	10	9-14
7.5	32	16	13-18
11	35	20	20-25
13	34	25	24-32
18.5	35	32	25-40
22	36	40	40-63
30	37	50	40-63
37	38	63	56-80
45	39	80	63-100
55	40	100	90-150
75	41	125	90-150
90	42	160	132-220
110	43	200	132-220
132	44	250	160-400
160	45	320	160-400
250	46	400	252-630
300	48	500	252-630
400	50	800	320-800
630	52	1000	400-1000
800	54	1250	500-1250
1000	56	1600	640-1600
1200	58	2000	800-2000
1600	60	2500	1000-2500
2000	62	3200	1280-3200
2500	64	4000	1600-4000

(ب) عيار القواطع المستخدمة في شبكة توزيع التوتر المنخفض المحلية

استطاعة المحولة KVA	200	400	630	1000	1600
عيار القطع A	400	500-800	500-800	1200	1200-1500

2"- الفواصم :

تركب هذه الفواصم على مخارج خطوط شبكة توزيع التوتر المنخفض ضمن اللوح للحماية من زيادة التيار، وهي فواصم سكينية كما هو مبين في الشكل (4-22). عيارات هذه الفواصم تختلف أيضا حسب استطاعة المحولة. إن عيارات الفواصم الاسمية مبينة بالجدول (4-11). أماعيارات الفواصم المستخدمة محلياً فهي مبينة في الجدول (4-13).

جدول (4-13) عيارات الفواصم حسب استطاعة المحولة .

استطاعة المحولة KVA	200	400	630	1000	1600
عيار الفاصمة A	315	315-500	500-630	630	630

3"- عدادات قدرة ومقاييس:

تركب هذه العدادات في لوحة التحكم وتشمل عداد قدرة الكتروني ثلاثي لقياس الاستطاعه المستهلكة من الحمل المربوط على مركز التحويل ومجموعة مقاييس توتر وتيار ولمبات إشارة.

4"- لوحات تعويض الاستطاعة الردية (مرصف المكثفات):

إن لوحة تعويض الاستطاعه الردية هي أيضاً صندوق معدني بالمواصفات نفسها الخاصة بلوحة التحكم، يركب بداخلها مجموعة مكثفات لتعويض الإستطاعة الردية ، بالإضافة إلى عداد الكتروني تظهر على شاشته قيمة عامل الاستطاعة في اللحظة الآنية. إن عدد وسعة وطريقة ربط المكثفات بعضها مع بعض، وكذلك تحديد نقطة الوصل مع أطوار الشبكة تحددها طبيعة استطاعة الحمل الردية، من هنا يجب أن يكون لكل مركز تحويل لوحة خاصة. تثبت هذه اللوحة عادة على البرج بصورة مشابهة للوحة التحكم أو عند قائمة البرج على الأرض في مراكز التحويل الهوائية. أوتثبت داخل مبنى مركز التحويل الأرضي. يتم تحديد سعة بنك المكثفات من الجدول(4-14) .

جدول(4-14)تحديد سعة بنك المكثفات.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

من الجدول يتم تحديد الرقم الناتج من تقاطع سطر عامل الاستطاعة قبل التعويض مع عمود عامل الاستطاعة بعد التعويض . إن الرقم الناتج من التقاطع يمثل 1kVAr لكل 1kW من استطاعة الحمل.بعد ذلك يتم ضرب الرقم باستطاعة الحمل الحقيقية فنحصل على سعة بنك المكثفات :

مثال :ليكن لدينا حمل استطاعته 666 kVA بعامل استطاعه 0.75 والمطلوب حساب سعة بنك المكثفات لرفع قيمة معامل الاستطاعة إلى 0.928 .

$$666 \times 0.75 = 500\,KW$$

بالرجوع إلى الجدول وأخذ تقاطع السطر 0.75 مع العمود 0.928 نحصل على القيمة 0.487kVAr/kW . وبأخذ جداء هذه القيمة باستطاعة الحمل 500 kW نحصل على سعة بنك المكثفات أي :

$$500 \times 0.487 = 239\,kVAr$$

يتألف بنك المكثفات من مجموعات من المكثفات ذات استطاعات محددة متساوية ،قد يدخل جميعها في العمل معا للحصول على عامل الإستطاعة المطلوب أو يدخل بعضها بشكل مؤتمت، وذلك تبعاً لوصل وفصل الحمولات على الشبكة .

5-مفرغات التوتر الزائد :(Surge Arresters)

كما مر معنا في طرف التوتر المتوسط فإنه يمكن أن تركب مفرغات توتر على طرف التوتر المنخفض للمحولة وبعد المحولة مباشرة لتفريغ أي موجات توتر زائدة قد تعبر إلى الطرف الثانوي للمحولة ومنه إلى تجهيزات الأحمال. الشكل(4-23) يبين مفرغ جهد للتوتر المنخفض 400/220 V والجدول (4-15) يبين المواصفات الفنية له.

الشكل(4-23) مفرغ جهد توتر منخفض

جدول(4-15) المواصفات الفنية لمفرغ توتر منخفض

Technical data		L-N	N-PE
Nominal voltage	U_n	230 V AC	—
Maximum operating voltage	U_c	260 V AC	255 V AC
Nominal discharge current (8/20 µs)/pole	I_n	30 kA	100 kA
Maximum discharge current (8/20 µs)	I_{max}	60 kA	100 kA
Lighting impulse current (10/350 µs)/pole	I_{imp}	25 kA	100 kA
Voltage protection level	U_p	1,5 kV	1,5 kV
Response time	t_A	100 ns	100 ns
Ability to independently switch off the following current	I_fi	no following current	100 A
Short-circuit proof at maximum overcurrent protection		50 kA_{rms}	—
Maximum overcurrent protection		250 A gL/gG	—
Maximum overcurrent protection for serial connection		125 A gL/gG	—
Degree of protection		IP 20	IP 20
Range of operating temperatures		-40 °C ... + 80 °C	-40 °C ... + 80 °C
Mounting on		DIN rail 35 mm	DIN rail 35 mm
Cross-section of connected conductors			
Solid min/max		ISO: 1,0/50 mm^2; AWG: 7/1	ISO: 1,0/50 mm^2; AWG: 7/1
Stranded min/max		ISO: 1,0/35 mm^2; AWG: 7/2	ISO: 1,0/35 mm^2; AWG: 7/2
Stripping length of the supply conductor		11 mm	11 mm
Tightening torque		max. 4 Nm	max. 4 Nm
Visual fault indication		red indication field	no
Remote indication*		potential-free change-over contact	—
Remote indication contacts		250 V / 0,5 A AC, 250 V / 0,1 A DC	—
Cross-section of remote indication conductors		max. 1,5 mm^2	—

يمكن الإشارة هنا إلى أنه توجد مفرغات توتر باستطاعات وأحجام مختلفة يمكن استخدامها لحماية منزل بكامله أو حماية جهاز واحد فقط .يمكن تركيب هذه المفرغات على المآخذ المستخدمة في شبكات التيار القوي في التمديدات الداخلية.

4-5 تأريض مراكز التحويل :

إن تأريض مراكز التحويل تعد من المسائل المهمة جداً التي يجب تنفيذها عند بناء مركز، أو تركيب تلك المراكز .يتم التأريض باستخدام نواقل من النحاس المطلي أو المقصدر ذي المقطع $35-50\ mm^2$ ، حيث تشكل حلقة من هذه النواقل تركب تحت

المركز وتربط بها جميع الأغطية المعدنية للتجهيزات الكهربائية المركبة داخل المركز ، ثم تربط هذه الحلقة بوتد تأريض. إن شبكة التأريض يجب أن تحقق مقاومة تأريض لاتزيدعن 5 Ω. يبين الشكلان (4-24) نموذج تأريض مركز تحويل .

الشكل(4-24) نموذج تأريض مركز تحويل أرضي

وإذا كانت المقاومة أكبر من ذلك فيجب اتخاذ إجراءات تجعل قيمة هذه المقاومة ضمن الحدود المسموح بها. من أهم هذه الإجراءات زيادة عدد الأوتاد أو معالجة التربة التي غرس بها وتد التأريض لجعل ناقليتها أعلى، أو تشكيل شبكة من قضبان معدنية توضع تحت المركز ثم توصل إليها شبكة التأريض النحاسية بدلاً من وتد التأريض.

4-6 الأبعاد الدنيا المسموح بها بين تجهيزات مركز التحويل الأرضي:

عند تركيب التجهيزات داخل مراكز التحويل تكون المسافات الفاصلة بين هذه التجهيزات غير عشوائية، فهي يجب أن تكون متوافقة مع النظم العالمية التي حددت هذه المسافات

بدقة . من أهم النظم العالمية التي تناولت هذا الموضوع IS, NEC, IEC,IEE . تبين الجداول (4-16)،(4-17)،(4-18) قيم هذه المسافات حسب النورمات العالمية.

جدول(4-16)

Descriptions	Distance
Horizontally between any item of equipment and the substation wall	0.9 Meter
Horizontally between any Two items of equipment	0.6 Meter
Horizontally in front of any HV switchgear	1.2 Meter

جدول(4-17)

INDOOR		
Phase to phase in mm	Phase to earth in mm	Voltage in KV
19.05	15.8	0.415
19.05	19.05	0.6
50.8	50.8	3.3
88.9	63.5	6.6
127	76.2	11
165.1	101.6	15
241.3	139.7	22
355.6	222.25	33

جدول(4-18)

OUTDOOR		
Phase to phase in mm	Phase to earth in mm	Voltage in KV
177.8	139.7	6.6
228.6	177.8	11
330.2	279.4	22
431.8	381	33
787.4	685.8	66
990.6	863.6	110
1219.2	1066.8	132
2057.4	1778	220

الملحق A

جدول (A-1) سويات الإنارة المعتمدة في بعض الأمكنة بموجب النظم الألمانية

Space/activity	Recommended illuminance (lux)	Light source
Office	500	T, FC
[illegible] office	500	[illegible]
Open plan office	750	T, FC
Technical drawing office	750	T, FC
Data processing	500	T, FC
[illegible]	300/500	[illegible]
[illegible] room	300	FC
Corridor	100	FC
Staircase	150	T, FC
Canteen	200	[illegible]
Washroom, WC	100	T, FC
Sales area	300	[illegible]
Department store	300	[illegible]
Cash desk	500	T, FC
Supermarket	500	[illegible]
Reception	200	[illegible]
Restaurant	200	[illegible]
[illegible]	200	[illegible]
Self-service restaurant	300	T, FC
[illegible]	500	[illegible]
Museum, gallery	200	[illegible]
Exhibition space	300	[illegible]
[illegible]	300	[illegible]
[illegible]	300	T, FC
Reading room	500	T, FC
Gymnasium, competition	400	[illegible]
[illegible]	200	[illegible]
[illegible]	500	[illegible]
Beauty salon	750	[illegible]
Hairdressing salon	500	[illegible]
Hospital, ward	100	[illegible]
general lighting		
reading light	200	[illegible]
examination light	300	[illegible]
Hospital, corridors	300	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	200	[illegible]
Classroom	300/500	[illegible]
[illegible]	750	[illegible]
[illegible]	500	[illegible]
[illegible]	300	[illegible]
Laboratory	500	[illegible]
[illegible]	500	[illegible]
[illegible]	300	[illegible]
[illegible]	300	[illegible]
[illegible]	750	[illegible]
[illegible]	300	[illegible]
Church	300	[illegible]

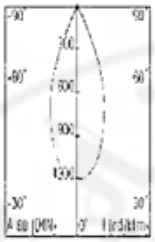
جدول (A-2) قيم توجيهية لسويات الإنارة العظمى والدنيا والمتوسطة



Damascus University

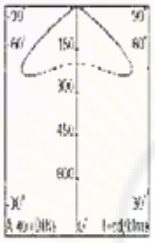
جدول (A-3) عوامل الاستخدام

Utilance values η_a for typical interior luminaires (from the top downwards), narrow-beam luminaires (A 60, DIN 5040)



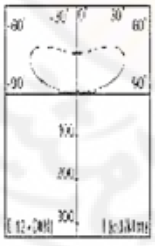
η_a	ρ_c	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.50	0.50	0.20	0.00
	ρ_w	0.70	0.50	0.50	0.20	0.20	0.50	0.20	0.20	0.00
	ρ_f	0.50	0.20	0.10	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00
k										
0.60		1.04	0.86	0.84	0.81	0.80	0.84	0.80	0.80	0.78
1.00		1.17	0.95	0.92	0.90	0.88	0.91	0.88	0.87	0.85
1.25		1.26	1.06	0.98	0.98	0.95	0.97	0.95	0.94	0.92
1.50		1.30	1.04	1.00	1.00	0.97	0.99	0.97	0.96	0.94
2.00		1.35	1.07	1.02	1.04	1.00	1.01	0.99	0.98	0.97
2.50		1.38	1.09	1.03	1.06	1.02	1.02	1.01	0.99	0.97
3.00		1.41	1.11	1.05	1.08	1.03	1.03	1.02	1.00	0.99
4.00		1.43	1.11	1.05	1.09	1.03	1.03	1.02	1.00	0.98

Wide-beam luminaires (A 40, DIN 5040)



η_a	ρ_c	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.50	0.50	0.20	0.00
	ρ_w	0.70	0.50	0.50	0.20	0.20	0.50	0.20	0.20	0.00
	ρ_f	0.50	0.20	0.10	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00
k										
0.60		0.63	0.43	0.42	0.31	0.31	0.41	0.31	0.30	0.26
1.00		0.87	0.63	0.61	0.51	0.50	0.59	0.49	0.48	0.44
1.25		0.99	0.73	0.70	0.62	0.61	0.68	0.60	0.59	0.55
1.50		1.06	0.79	0.76	0.69	0.67	0.74	0.66	0.65	0.61
2.00		1.17	0.88	0.83	0.79	0.76	0.81	0.75	0.73	0.70
2.50		1.23	0.93	0.89	0.86	0.82	0.86	0.81	0.79	0.76
3.00		1.29	0.98	0.92	0.91	0.87	0.90	0.86	0.84	0.81
4.00		1.34	1.02	0.96	0.96	0.91	0.94	0.90	0.88	0.85

Indirect luminaires (E 12, DIN 5040)



η_a	ρ_c	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.50	0.50	0.20	0.00
	ρ_w	0.70	0.50	0.50	0.20	0.20	0.50	0.20	0.20	0.00
	ρ_f	0.50	0.20	0.10	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00
k'										
0.60		0.27	0.14	0.14	0.07	0.07	0.11	0.05	0.03	0
1.00		0.43	0.25	0.25	0.15	0.15	0.19	0.11	0.05	0
1.25		0.50	0.31	0.30	0.20	0.20	0.23	0.14	0.07	0
1.50		0.56	0.36	0.35	0.25	0.24	0.26	0.18	0.08	0
2.00		0.65	0.43	0.42	0.32	0.31	0.30	0.22	0.10	0
2.50		0.71	0.49	0.47	0.38	0.37	0.34	0.26	0.11	0
3.00		0.76	0.53	0.51	0.42	0.41	0.36	0.29	0.12	0
4.00		0.82	0.58	0.55	0.49	0.47	0.40	0.34	0.14	0

جدول (A-4) مواصفات المصابيح المستخدمة في إنارة الشوارع

المصباح	اللون	الاستطاعة [w]	الفيض الضوئي [Lm]	المردود الضوئي [Lux/W]	العمر [hr]	مكان الاستخدام
هالوجين	أبيض مصفر	500	12000	24	2000	إنارة الملاعب
		1000	25000	25		
مختلط متوهج- بخار زئبق	أبيض	160	2750	17	6000	إنارة الحدائق
		250	5600	22		
		500	13500	27		
بخار الزئبق	أبيض مزرق	80	3500	44	6000	إنارة شوارع المناطق السكنية الريفية- مواقف السيارات
		125	6200	50		
		250	13500	54		
		400	23000	58		
		700	42500	61		
		1000	57000	57		
بخار الصوديوم ذي ضغط عال	أبيض ذهبي	150	14000	93	6000	شوارع ذات سير كثيف
		250	25500	102		عقد السير
		400	47000	118		أنفاق
		1000	120000	120		مواقف السيارات
بخار الصوديوم	أصفر	35	4650	133	6000	

ضغط منخفض	برتقالي	55	7700	140		-ساحات التخزين والتقديم
		90	12500	139		
		135	21500	160		-المناطق الصناعية
		180	32000	178		-الشوارع

جدول (A-5) تصنيف أجهزة إنارة الشوارع حسب توزيع الشدة الضوئية

IESI classification of road lighting luminaires.

IESI (U.K.) 1965 Type of light controlled, candela distribution within the (PIR) beam	In plane of principal vertical polar curve: Angle of elevation	In plane of principal vertical polar curve: Limits of intensity peak-intensity ratio	Limits of intensity ratio in any direction within the cone from downward vertical to "B" direction (maximum not exceed 80% of PIR)		In vertical plane parallel to street axes: Angle of elevation at which candela intensity is maximum, but not exceeding	In vertical plane parallel to street axes: Maximum intensity at which candela intensity is not exceeding	
		min.	min.	max.	max.	max.	max.
Cut off	65o	2,0	5,0	0,3	2,0	75o	78o	0,15
Semi-cut off	75o	1,5	5,0	0,3	1,7	78o	84o	0,6
Semi cut off (SA)	75o	1,5	5,0	0,3	1,7	85o	86o	0,7

* For semi-cut-off systems employing low-pressure sodium discharge lamps.

** Intensity ratio = intensity in a particular direction / average intensity in lower hemisphere

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

EC classification of road lighting criteria

ES/LSA	Maximum permissible value of intensity emitted at	
	90°	80°
Cut-off	25 cd/1000lm	100cd/1000lm
Semi-cut-off	50 cd/1000 lm	200 cd/1000 lm
Non-cut-off		

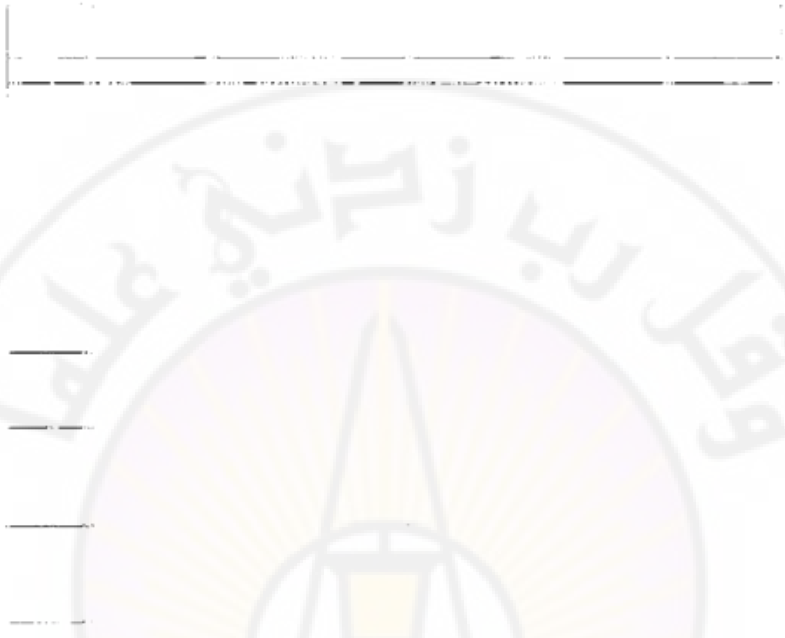
جدول(A-6) قيم زاوية الحماية بدلالة طول الإبرة وبعدها عن طرف المنشأة

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

جدول(A-7)مقاطع الأسلاك والكابلات المستخدمة في تنفيذ نظم PV

Conductor numbers with types of Insulation													
A1			PVC2	PVC2		XLPE2	XLPE2						
A2		PVC3	PVC3		XLPE3	XLPE3							
B1					PVC3	PVC3		XLPE3		XLPE3			
B2				PVC3	PVC2		XLPE3	XLPE2					
C						PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2		
E							PVC3		PVC2	XLPE3		XLPE2	
F								PVC3		PVC2	XLPE2		XLPE2
Required cross section													
	mm²	Maximum current in A for the above conductors in IA											
Cu	1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	16,5	19	20	21	24	25
	2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	23	26	20,5	29	33	34
	4	20	21	23	24	27	30	31	34	36	38	45	46
	6	25	27	30	32	36	37	40	44	46	48	57	59
	10	34	37	40	44	50	52	54	60	66	68	76	80
	16	45	49	54	60	66	70	73	81	87	91	105	110
	25	59	64	70	77	84	88	95	103	113	116	123	140
	35	73	77	86	95	104	110	116	127	137	144	154	154
	50	89	94	103	112	123	128	145	153	167	179	186	210
	70	108	116	130	148	160	171	188	199	214	234	244	269
	95	150	145	156	180	194	207	234	241	257	277	296	327
	120	190	164	192	208	225	240	200	290	301	319	346	389
	150	171	186	205	236	260	278	298	322	348	359	404	438
	185	194	213	233	258	297	317	341	366	391	415	464	500
	240	227	249	272	215	350	374	401	445	465	490	552	589
	300	255	285	311	250	336	423	481	523	565	630	674	713
Al	2,5	11,5	12	13,5	14	16	17	18	20	20	22	25	-
	4	15	16	18,5	19	22	24	24	25,5	27,5	29	33	-
	6	20	21	24	25	28	30	31	33	36	38	45	-
	10	27	28	32	34	38	40	43	46	50	55	61	-
	16	35	38	42	45	51	56	57	63	68	70	83	82
	25	46	50,5	54	63	64	71	73	78	84	88	94	104
	35	-	61,5	67	75	78	88	90	97	104	108	117	133
	50		73	80	90	96	106	102	116	127	132	143	163
	70				106	123	138	159	151	162	170	187	206
	95	-	-	-	140	148	107	138	186	197	207	230	251
	120				162	171	154	1vb 2	215	228	2v8	255	25>
	150	-	-	-	187	197	223	217	246	264	277	312	328
	185	-	-	-	212	225	226	259	281	301	310	356	388
	240	-	-	-	278	185	300	306	333	355	372	429	461
	300	-	-	-	285	313	343	383	400	423	452	494	558

جدول (A-8) العلاقة بين شدة بوفورت وسرعة الريح



الرموز (حسب تسلسلها الألفبائي)

طول المكان المراد إنارته	a
طول الفتحة بين الأعمدة	ar
طول الفتحة الوسطية	asu
مصفوفة الربط A	Ai,g
عرض المكان المراد إنارته	b
السعة	c
متحول يعبر عن الحلقة في النموذج التمثيلي للشبكة	cc
كانديلا	cd
عامل التمريس	cm
قوة ضغط الريح على واحدة السطوح	cw
متحول يعبر عن المسار المفتوح في النموذج التمثيلي للشبكة	Do
متحول يعبر عن المسار المغلق في النموذج التمثيلي للشبكة	Dk
قطر الحلقة الدائرية الواصلة بين أوتاد التأريض	D_E
القطر (الناقل، قضيب التأريض)	d
ديسيبل	db
سوية الإنارة	E
سوية الإنارة في النقطة B	E_P
سوية الإنارة في المستوي الأفقي	E_H
سوية الإنارة في المستوي العمودي	E_V
سوية الإنارة الدنيا	Emen
سوية الإنارة العظمى	Enae
سوية الإنارة الوسطى	Eaow
عامل المرونة (عامل يونغ)	E_L
قوى شد أو ضغط في قوائم البرج	F_1,F_2,F_3
قوة ضغط الريح على سلسلة العوازل	F_i
قوة ضغط الريح على الأبراج	F_w
قوة ضغط الريح على النواقل	F_c
التردد	f
السهم الأعظمي	fmax
غراف (مخطط بياني تمثيلي للشبكة)	G

h	بعد جهاز الإنارة عن سطح العمل
I	متحول يعبر عن عداد الخوارزميات وهو من نوع صحيح (integer)
I_a	التيار الاسمي
I_z	تيار العمل المسموح به
I_e	تيار العمل المار في شبكة التأريض
I_θ	الشدة الضوئية في الاتجاه θ
I_o	الشدة الضوئية الناظمية $(\theta = 0)$
j	متحول يعبر عن عداد في الخوارزميات وهو نوع صحيح (integer)
k	عامل قرينة الغرفة
L_{Line}	طول خط النقل
L_I	متحول يعبر عن عداد في الخوارزميات وهو نوع صحيح (integer)
LL	مجموعة أضلاع الشبكة في النموذج التمثيلي للشبكة
L	الوضوح
Lux	لوكس
ℓ	طول قضيب التأريض (أو طول)
M,m	عامل يعبر عن عداد في الخوارزميات وهو نوع صحيح (integer)
MF	عامل الصيانة والتقادم
MT	العزم الكهربائي للخط
mL	عامل الحمولة
mi	عامل الحمولة في الفرضية المناخية I
mf	عامل الحمولة في الفرضية المناخية f
Mr	العزم المقاوم (عزم الأرباع)

Damascus University

المراجع

1	150W DIMMING LEDWorklite-Houselite,2013
2	1KW WIND TURBINE ,Operation Manual,2005
3	A.T.Johns,D.F.Warne,Wood Pole Overhead Lines,London,2008
4	ABB, XLPE Land Cable Systems User´s Guide,2010
5	ABB,MV/LV transformer substations: theory and examples of short-circuit calculation,2008
6	AJAY KUMAR GARG ENGINEERING COLLEGE,ELEMENTS OF POWER SYSTEM,2010
7	Alcad,TV Reception and Distribution,TECHNICAL ANNEX -2013
8	Alfanar Co.Overhead Conductors,2014
9	Alfanar,Medium Voltage Power Cables,2013
10	American Electric Lighting,Product Guide,,2009
11	Anne Kimber, Jonathan Roberts, Joel Logan,LED Street Lighting,Iowa energy center,2012
12	APATOR,Surge arresters,2015
13	ARB,DISTRIBUTION, TRANSMISSION AND CONDUCTORS CATALOGUE 2013
14	Asian Development Bank,HANDBOOKFOR ROOFTOP SOLAR DEVELOPMENT IN ASIA,Manila, Philippines2014
15	Ausgrid,Overhead Design Manual,2011
16	Bahra Cables Company,MEDIUM VOLTAGE POWER CABLES,2015
17	Bicsi,TV Distribution,2010
18	Bill Wright,TV Reception and Distribution ,2004
19	BRB Cables, Technical Information for Medium Voltage Power Cables up to 33 Kv,2008
20	CEYLON ELECTRICITY BOARD ,33KV FIBREGLASS REINFORCED PLASTIC (FRP) CROSS ARMS,SRI LANKA,2008
21	Chisholm Institute,Design overhead distribution systems,2010
22	CLP,CODE OF PRACTICE 101 FOR DISTRIBUTION SUBSTATION DESIGN Version 11.0,2010
23	D.H.Douglas Phan, H.Craig Howard ,Evaluation of the Structural Steel Framing Data Model,Stanford University,1990
24	Dalekovod, Steel lattice towers for 10, 20 and 35 kV transmission lines,2010
25	DEHN,LIGHTNING PROTECTION GUIDE,2014
26	Detlef Lucius(Siemens),Planning of Electric Power Distribution,Totally

	Integrated Power,2014
27	DIALux Version 4.9 ,User Manual,2011 DIAL GmbH.
28	DNV,ELECTRICAL INSTALLATIONS,OFFSHORE STANDARD DET NORSKE VERITAS DNV-OS-D201,2011
29	Drexel University,BUILDING SYSTEM STANDARDS AND DESIGN GUIDE,Version 6.0,Canada ,November 2015
30	EATON,CABLE TRAY MANUALBased on the2011 National Electrical Code,2011
31	Electricity Engineering Association ,WORK ON POLES AND POLE STRUCTURES,2010
32	Electricity north west ,Low Voltage Network Solutions,2014
33	ElectroAlfa. CATALOGUE COMPACT TRANSFORMER SUBSTATIONS,Romania,2012
34	ELECTROALFA,CATALOGUE COMPACT TRANSFORMER SUBSTATIONS,2012
35	Energex,Commercial & Industrial Substations Manual,2012
36	Energy Market,Handbook for Solar Photovoltaic (PV) Systems,2009
37	ENSTO,Accessories for Medium Voltage Distribution Networks,2011
38	ERGON ENERGY,INDOOR DISTRIBUTION SUBSTATION DESIGN STANDARD,VERSION 1,2014
39	ESB,MV Substation Buildings,2013
40	F. Garzia,A. Geri,Active Shielding Design in a Full 3D Space of Indoor MV/LV Substations Using Genetic Algorithm Optimization,Univ. of Rome,2009
41	FHWA, Lighting Handboo,kAugust 2012
42	Football Stadiums,Lighting and power supply,part 9,2009
43	Foscam Camera,User Manual,Shenzhen Foscam Intelligent Technology Co,2014
44	Gopi Sudam Punse,Analysis and Design of Transmission Tower,International OPEN ACCESS Journal Of Modern Engineering Research (IJMER)| Vol. 4	Iss. 1	Jan. 2014 |137
45	HORIZON POWER,Underground Cable Installation Manual,2013
46	HUBBELL Power Systems,POLE LINE HARDWARE,2011
47	Hughes Brothers, Inc,Crossarms,2001
48	Hussain Al-Mashat,Distribution Inside Large Buildings, Department of Electrical & Electronic,2010
49	Hydel,PoleLine Catalogue,2005
50	jane I.Lataille,Fire Protection Engineering in Building Design,Elsevier Science,2003

51	Jehad Ali,TECHNICAL STANDARD – TS-108 FOR DISTRIBUTION EQUIPMENT AND TRANSFORMER ROOMS,2012
52	JP Holtzhausen,WL Vosloo,High Voltage Engineering Practice and Theory,University of Stellenbosch,2014
53	LACT 4A for Consultant and Training,Light Current,2010.
54	licht.wissen 08 _ Sport and Leisure,2015
55	M. Ashraf*, H.M. Ahmad and Z.A. Siddiqi,A STUDY OF POWER TRANSMISSION POLES,Lahore, Pakistan,2005
56	Mike Coddington, Ben Kroposki,Photovoltaic Systems Interconnected onto Secondary Network Distribution Systems ,2009
57	Mohammad Asad,Essentials of Industrial Network,Buraq Integrated Solutions,2012
58	N. SHIPS, ELECTRIC POWER DISTRIBUTION SYSTEMS,1998
59	N.Subramanian , V. Vasanthi,Design of Tower Foundations,1990
60	Neil Sclater, John E.Traister,Handbook of Electrical Design Details,McGraw.Hill 2003
61	Networks,MV Substation Buildings Specification Number: 13320,2003
62	Networks,Standard Specification for Mv/Lv Network Ducting (Minimum Standard) ,2008
63	Nexans, 6-36kV Medium Voltage Underground Power Cables XLPE insulated cables,2009
64	Nexans,60-500 kV High Voltage Underground Power Cables,France,2011
65	Nuclear Energy Institute, Medium Voltage Underground Cable,Washington,2006
66	ORMAZABAL,Prefabricated transformer substations Up to 36 – 40.5 kV IEC 62271-2,2015
67	ORMAZABAL,Prefabricated Transformer Substations Up to 36 Kv,2015
68	P. Deschamps ,M. Bidaut1,Design of an ultra compact distribution substation,2001
69	Peter L Dordal,An Introduction to Computer Networks,Release 1.8.20,Loyola University Chicago,2016
70	Philips,Guide to the artificial lighting of football pitches,2002
71	Philips,Guide to the artificial lightingof indoor and outdoor sports venues,2006
72	PoleTech,Flagpole Design of Foundations ,2009
73	power Solution Industries,A cable management system,2013
74	PPAF,Transmission & Distribution in Rural Power Supply Systems Design - Specification - Installation,Pakistan,2013

75	R.D.Coomps,C.,E.,Pole And Tower Lines for Electric Power Transmission,McGraw-Hill 1916
76	Rüdiger Ganslandt ,Harald Hofmann, Handbook ofLighting Design,Germany ,1992
77	S.Djiev,Industrial Networks for Communication and control,2005
78	S.R.Satish Kumar and , A.R.Santha Kumar,Design of Steel Structures,Indian Institute of Technology Madras,2013
79	Sabir Messalti, Fares Zitouni, Issam Griche,Design of Mv/Lv Substation Transformer,Engineering, 2013
80	Saudi Electricity Company,SPECIFICATIONS FOR OCTAGONAL STEEL POLES,20-SDMS-01,2008
81	Schneider Electric,Electricalinstallation guideAccording to IEC International Standards,2008
82	Schnieder,Fuses from 3.6 to 36 kV,Medium Voltage Distribution Catalogue 2015
83	Schnieder,Industrial electrical network design guide,6-Determining conductor crosssectional areas,20014
84	Schniedr Electric, Medium Voltage technical guide,France 2009
85	Sczensny Kujszczyk
86	SEC DISTRIBUTION MATERIALS SPECIFICATION,SPECIFICATION OF PRESTRESSED SPUN CONCRETE POLE FOR DISTRIBUTION SYSTEM,2014
87	SEC DISTRIBUTION MATERIALS SPECIFICATION,SPECIFICATIONS FOR OCTAGONAL STEEL POLES , 2008
88	Siemens,Planning of Electric Power DistributionTechnical Principles,Germany 20015
89	Steve Mackay,Edwin Wright,Practical Industrial Data Networks: Design,Installation and Troubleshooting,Elsevier,Australia,2004
90	T.A. Short,ELECTRIC POWER distribution handbook,London,2014
91	TAPP,T & D,Transmission & Distribution Steel Poles,Houston, Texas,2011
92	The Society of Light and Lighting, The SLL Lighting Handbook,England,2009
93	UK Power Networks ,EARTHING CONSTRUCTION MANUAL SECTION 3,2010
94	UK Power Networks ,Overhead Line Design Manual Section 1,2011
95	Union Metal Corporation,Transmission and Distribution(Steel and Wood Poles),2014
96	UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE,DESIGN MANUAL FOR HIGH VOLTAGE TRANSMISSION LINES,2009

97	UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE,Guide Specifications for Steel Single Pole and H-Frame Structures,2008
98	UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE,Unguyed Distribution Wood Poles – Strength Requirements,2003
99	We energies,Customer Substation Manual,2002
100	WesternPower , UNDERGROUND CABLE INSTALLATION MANUAL,Network Standard NS 14.2-2006
101	WesternPower ,Work Practic Manual,2014
102	المواصفات العامة لتنفيذ المباني حسب الكودات العالمية - باب الأعمال الكهربائية -قسم Sec- أنظمة خاصة - 16600
103	شوقي البطل، مصطفى الحزوري ،تصميم الشبكات الكهربائية ، منشورات جامعة دمشق ، 2000

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

أعضاء لجنة التدقيق العلمي

الأستاذ الدكتور هاشم أبو الخير

الأستاذ الدكتور هاشم ورقوزق

الأستاذ الدكتور نديم مخول

أعضاء لجنة التدقيق اللغوي

الأستاذ المساعد الدكتورة فاتن كوكة