جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم هندسة الطاقة الكهربائية

دراسة جدوى استخدام طاقة الرياح في نظام القدرة الكهربائية

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في نظم القدرة الكهربائية

إعداد
م. سناء صموئيل الإبراهيم

إشراف **الأستاذ المساعد**
الدكتور محمد صالح الأيوبي

المشرف المشارك
الدكتور خالد الحمصي

2010

	الفهرس	الصفحة

الملخص	ملخص الرسالة	4
المقدمة	هدف وغاية البحث	8

	الفصل الأول:	
	دراسة مرجعية للمحطات الكهربائية بشكل عام والمتجددة بشكل خاص	11
1-1-	المحطات الحرارية	12
1-2-	المحطات الكهرمائية	13
1-3-	المحطات النووية	14
1-4-	محطات الطاقة المتجددة	17

	الفصل الثاني:	
	أسس التقييم الاقتصادي الخاص بمحطات توليد الطاقة الكهربائية	20
	مقدمة	21
2-1-	التكاليف المالية للمشروع	21
2-2-	العائدات المالية للمشروع	22
2-3-	اعتماد الحلول ذات الكلفة الأدنى	22
2-4-	قياس نفعية الاستثمار	24
2-4-1	النسبة الداخلية للعائدات IRR	25
2-4-2	القيمة الحالية الصافية NPV	25
2-4-3	نسبة العائدات إلى التكاليف B/C	26
2-5-	تقييم الاستثمار في قطاع التوليد	26

	الفصل الثالث:	
	دراسة واقع نظام الطاقة الكهربائية في سوريا	28
	مقدمة	29
3-1-	مصادر الطاقة الأولية لتوليد الطاقة الكهربائية	29
3-2-	الاستطاعة المتاحة والطاقة المنتجة في محطات التوليد	30
3-2-1	الاستطاعة المتاحة	30
3-2-2	الطاقة الكهربائية المنتجة	32
3-2-3	الطاقة المستهلكة	33
3-2-3-1	الطلب على استطاعة الذروة	33
3-2-3-2	الطلب على الطاقة الكهربائية	33
3-2-3-4	نصيب الفرد من الطاقة الكهربائية	34

	الفصل الرابع:	
	دراسة مرجعية للبرمجيات المستخدمة في الحساب	35
4-1	برنامج WAsP 8 تحليل وتطبيق أطلس الرياح	36

1-1-4	لمحة تاريخية	36
2-1-4	منهجية حساب أطلس الرياح	36
3-1-4	مفاهيم عامة في تقييم طاقة الرياح	42
1-3-1-4	تأثير خشونة سطح الأرض	43
2-3-1-4	تأثير العوائق	46
3-3-1-4	تأثير التضاريس المحلية	48
-4-1-4	الأسس الفيزيائية لأطلس الرياح	50
1-4-1-4	قوانين التشابه للطبقة السطحية	50
2-4-1-4	قانون الإعاقة الجيوستروفيكي(إعاقة حركة الأرض) والرياح الجيوستروفيكية الموجهة بحركة الأرض	51
3-4-1-4	النماذج الفيزيائية الفرعية	52
3-4-1-4-أ	نموذج تغير الخشونة	52
3-4-1-4-ب	نموذج حساب تأثير العوائق المعترضة للرياح	54
3-4-1-4-ت	نموذج تأثير التضاريس	54
-5-1-4	الأسس الإحصائية لأطلس الرياح	55
1-5-1-4	مفاهيم عامة(المتوسط الساعي لسرعة الرياح)	55
2-5-1-4	تقدير الاستطاعة الكامنة للرياح	56
3-5-1-4	تابع الكثافة الاحتمالي	56
4-5-1-4	توزع ويبل وتابع الكثافة الاحتمالي	58
6-1-4	قضايا تقنية متعلقة بالمزرعة الريحية	59
-1-6-1-4	مفاقيد الترتيب أو الاصطفاف للعنفات الريحية	59
2-6-1-4	الصيانة الدورية	62
3-6-1-4	عمليات التصليح الرئيسية	62
4-6-1-4	تجديد العنفة الريحية	62
5-6-1-4	إزالة العنفة	63
7-1-4	مميزات برنامج WAsP8	63
-1-7-1-4	خطوات العمل على البرنامج	65
8-1-4	القسم التطبيقي لبرنامج WAsP 8	67
1-8-1-4	تصميم المزرعة الربحية	67
1-8-1-4-أ	اختيار الموقع	67
1-8-1-4-ب	بيانات الرياح المستخلصة من الموقعين	71
1-8-1-4-ت	النتائج	79
2-4	برنامج WASP IVتخطيط التوسع الأمثل لنظام الطاقة في فيينا	82
1-2-4	لمحة تاريخية	82
2-2-4	وصف ملخص لذعام WASP IV على الحاسوب	83
1-2-2-4	حساب التكاليف	86
3-2-4	وصف وحدات برنامج WASP IV	91
1-3-2-4	وحدات البرنامج	93
4-2-4	منهجية إيجاد الحل وفق برنامج WASP IV	100
1-4-2-4	التحقق من الدخل وتتبع الأخطاء	100
2-4-2-4	التوسيع الثابت	101

3-4-2-4	تنفيذ خطة التوسع المتحولة	104
1-3-4-2-4	تحضير التشكيلات	105
2-3-4-2-4	تنفيذ MERSIMالدمج والنمذجة	105
3-3-4-2-4	تنفيذDYNPROالبرمجة الديناميكية	106
4-3-4-2-4	تنفيذREPROBATالتقرير النهائي	106
5-2-4	تحليل الحل الأمثل وفق برنامج WASP IV	107
6-2-4	القسم التطبيقي لبرنامج WASP IV	109
1-6-2-4	تحضير الدخل للبرنامج	110
2-6-2-4	تغطية الحمل وفق السيناريوهات الثلاث للتوسع الأمثل	119
3-6-2-4	عامل LoLP احتمالية فقد الحمل في الحالات المدروسة	126
4-6-2-4	التكاليف الاقتصادية للحالات المدروسة	127
5-6-2-4	دراسة الأثر البيئي في الحالات المدروسة	130

الخاتمة	النتائج والتوصيات والمقترحات	134
	المصطلحات	136
	المراجع	138
	جدول بأسماء الجداول	140
	جدول بأسماء الأشكال	142

ملخص الرسالة

دراسة جدوى استخدام طاقة الرياح في نظام القدرة الكهربائية

إعداد

م.سناء الإبراهيم

إشراف **المشرف المشارك**

الدكتور المهندس محمد صالح الأيوبي **الدكتور المهندس خالد الحمصي**

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في نظم الطاقة الكهربائية

قسم هندسة الطاقة الكهربائية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق

v هدف الدراسة :

1- دراسة موقعي السخنة والتياس المختارين على أرض القطر من أجل إنشاء مزارع ريحية فيهما وتحديد الطاقة الكهربائية التي يمكن إنتاجها سنوياً منهما.

2- دراسة التوسع المستقبلي الأمثل لنظام توليد الطاقة الكهربائية في سورية وفق سيناريوهات محددة وبيان أثر دخول المحطات الريحية على نتائج هذه الدراسة.

3- تحليل نتائج هذه الدراسة وبيان جدوى دخول المحطات الريحية من خلال إجراء مقارنة اقتصادية في حالتي وجود وعدم وجود هذه المحطات .

v تحضير الدراسة:

1. تمت دراسة مرجعية لأنواع المحطات بشكل عام ومن ثم التركيز على المحطات الريحية من بين محطات الطاقة المتجددة مع عرض لواقع طاقة الرياح في العالم وحجم مساهمتها في التوليد العام في عدد من الدول.
2. تم عرض أسس التقييم الاقتصادي الخاص بنظم الطاقة الكهربائية.
3. جمع المعلومات والبيانات الخاصة بنظام الطاقة الكهربائية في سورية بمساعدة وزارة الكهرباء.
4. تحصيل البيانات من محطات قياس سرعة الرياح في القطر بمساعدة المركز الوطني لبحوث الطاقة.

5. العمل على فهم واستثمار البرمجيات المستخدمة في الحسابات والتي كانت على الشكل الآتي:

- **برنامج** WAsP8 (Wind Atlas Analysis and Application Program):

برنامج تحليل وتطبيق أطلس الرياح الذي يستخدم لتخمين إنتاج الطاقة الممكن تحصيلها من موقع مزرعة رياح كما يمكن استخدامه لإيجاد أطلس رياح إقليمي لمنطقة محددة انطلاقاً من معطيات محطة رصد وقياس لسرعات الرياح في موقع محدد.

نحتاج في هذا البرنامج إلى خريطة رقمية للموقع المفترض وفي هذا البحث تم استخدام برنامج Global Mapper لفتح خريطة رقمية لمنطقة سورية ومحيطها وتم منها اختيار الموقع المراد دراسته ثم حفظه بلاحقة DXF ليصار إلى فتحه بواسطة البرنامج الملحق بـــ WAsP وهو محرر الخرائط WAsP Map Editor. بعد التوصل إلى هذه المرحلة يمكن وضع تخطيط للمزرعة المفترضة بحيث تؤخذ مسافات تباعد مناسبة بين العنفات بغية الحصول على أكبر قدر ممكن من الطاقة وبذلك نحصل على الإنتاجية السنوية المتوقعة.

- **برنامج** WASP-IV (Wien Automatic System Planning) **لتخطيط التوسع الأمثل لنظام الطاقة الكهربائي:**

يعتمد هذا البرنامج بداية على الطلب المتوقع على الكهرباء لفترة دراسة محددة إضافة لمعطيات المحطات القائمة والمحطات المقترحة في خطة الدولة والوزارة للخدمة المستقبلية ، وتحسب خطة التوسع المستقبلي الأمثل لنظام التوليد الكهربائي اعتماداً على أسس اقتصادية لإيجاد الحلول ذات الكلفة الأقل مع لحظ المحددات التي يفرضها المستثمر على كمية ونمط الوقود المستهلك والانبعاثات الغازية .

وفي هذا البحث تم إجراء مقارنة اقتصادية بين وجود محطات ريحية في نظام الطاقة الكهربائي السوري وعدم وجودها من خلال تحليل نتائج كلتا الحالتين أثناء تغطية الحمل وذلك وفق ثلاث سيناريوهات لتطور الطلب على الطاقة الكهربائية وعند عدة أسعار لبرميل النفط وهي 45$, 65$, 70$,80$ و100$.

وتبين من خلال النتائج التي تم التوصل إليها أن إدخال محطات ريحية باستطاعة تصل إلى 1800 MW في نهاية عام 2030 يحقق وفراً اقتصادياً في التكاليف الكلية، وفائدة بيئية واقتصادية من خلال توفير في الوقود اللازم لمحطات التوليد التقليدية وبالتالي تخفيض انبعاثات غاز CO_2، بالإضافة إلى خلق فرص عمل جديدة في القطر. وكانت النتائج على الشكل الآتي:

	Total cost M$	Cash Flow M$	Sum M$
High case without Wind 100	254305.8	11411.04	265716.84
High case with Wind 100	233937.3	12950.51	246887.81
Ref case without Wind 100	226879.7	9595.89	236475.59
Ref case with Wind 100	205598	11633.08	217231.08
Low case without Wind 100	196529.5	5402.87	201932.37
Low case with Wind 100	176844.4	6860.37	183704.77

High case without Wind 80	240059.4	11411.04	251470.44
High case with Wind 80	220069.1	12950.51	233019.61
Ref case without Wind 80	213196	9595.89	222791.89
Ref case with Wind 80	192515.3	11633.08	204148.38
Low case without Wind 80	183605.7	5402.87	189008.57
Low case with Wind 80	164200.8	6860.37	171061.17

High case without Wind 70	232856.7	11411.04	244267.74
High case with Wind 70	213057.6	12950.51	226008.11
Ref case without Wind 70	206278.5	9595.89	215874.39
Ref case with Wind 70	185901	11633.08	197534.08
Low case without Wind 70	177071.9	5402.87	182474.77
Low case with Wind 70	157809.2	6860.37	164669.57

High case without Wind 65	229246	11411.04	240657.04
High case with Wind 65	209543	12950.51	222493.51
Ref case without Wind 65	202811	9595.89	212406.89
Ref case with Wind 65	182585.5	11633.08	194218.58
Low case without Wind 65	173796.5	5402.87	179199.37
Low case with Wind 65	154604	6860.37	161464.37

High case without Wind 45	214946.9	11411.04	226357.94
High case with Wind 45	195623.1	12950.5	208573.6
Ref case without Wind 45	189076.9	9595.89	198672.79
Ref case with Wind 45	169454.1	11633.08	181087.18
Low case without Wind 45	160824.5	5402.87	166227.37
Low case with Wind 45	141913.5	6860.37	148773.87

وكمثال على الوفر الاقتصادي نجد أنه في نهاية عام 2030 :

- في السيناريو العالي عند سعر 100$ للبرميل الوفر هو18829 M$ أي بقيمة 7.09%
- في السيناريو العالي عند سعر 80$ للبرميل الوفر هو18450 M$ أي بقيمة 7.34%
- في السيناريو العالي عند سعر 70$ للبرميل الوفر هو18259 M$ أي بقيمة 7.48%
- في السيناريو العالي عند سعر 65$ للبرميل الوفر هو18163 M$ أي بقيمة 7.5%
- في السيناريو العالي عند سعر 45$ للبرميل الوفر هو17784 M$ أي بقيمة 7.9%

أما الوفر الاقتصادي الناتج عن الضريبة المفروضة عالمياً من أجل تخفيض الانبعاث من غاز CO_2 فكان في نهاية عام 2030 كما يلي:

- 639 مليون دولار في السيناريو المنخفض
- 688 مليون دولار في السيناريو المرجعي
- 720 مليون دولار في السيناريو العالي

مما سبق نرى أن خيار استثمار طاقة الرياح باعتبارها واحدة من الطاقات المتجددة له انعكاسات اقتصادية هامة وملحوظة بالإضافة إلى تنمية وتطوير كادر بشري فعال وقادر على اكتساب الخبرات في مجال الاستفادة من طاقة الرياح مما يساهم في تقليص الاعتماد على العناصر والخبرات الأجنبية والاستعاضة عنها بكادر وطني الأمر الذي ينعكس مباشرة في زيادة قدرات البلد العلمية و التطبيقية في العديد من المجالات.

هدف وغاية البحث وأهميته

انطلاقاً من الاعتماد الكبير للاقتصاد العالمي على الوقود الإحفوري والقلق حول البيئة، فقد تزايد الانتباه إلى الطرائق الجديدة لتوليد الكهرباء. وإن كان نضوب المصادر التقليدية للطاقة أي الوقود الإحفوري ليس قريباً، ربما في نهاية القرن الحالي أو بعد ذلك، وإن كان هناك خلاف بين الباحثين حول تحديد فترة نضوب مصادر الطاقة التقليدية، فإن الجميع متفقون على أن زمن الطاقة الرخيصة قد ولى وإلى الأبد والإنسانية مجبرة على البحث عن مصادر جديدة [12].

في هذا الاتجاه نحو تنويع سوق الطاقة، فإنه من المحتمل أن تكون طاقة الرياح مورداً واعداً وأكثر استمرارية للطاقة، وتتجه أغلب البلدان نحو استثمار مصادر الطاقة المتجددة في المساهمة بنسبة محددة من إجمالي توليد الكهرباء، ويعود السبب في ذلك إلى عدة عوامل منها محدودية مصادر الطاقة التقليدية وقابليتها للنضوب وارتفاع أسعارها المستمر، ومنها التوجهات العالمية للحفاظ على البيئة والحد من انتشار ظاهرة الدفيئة.

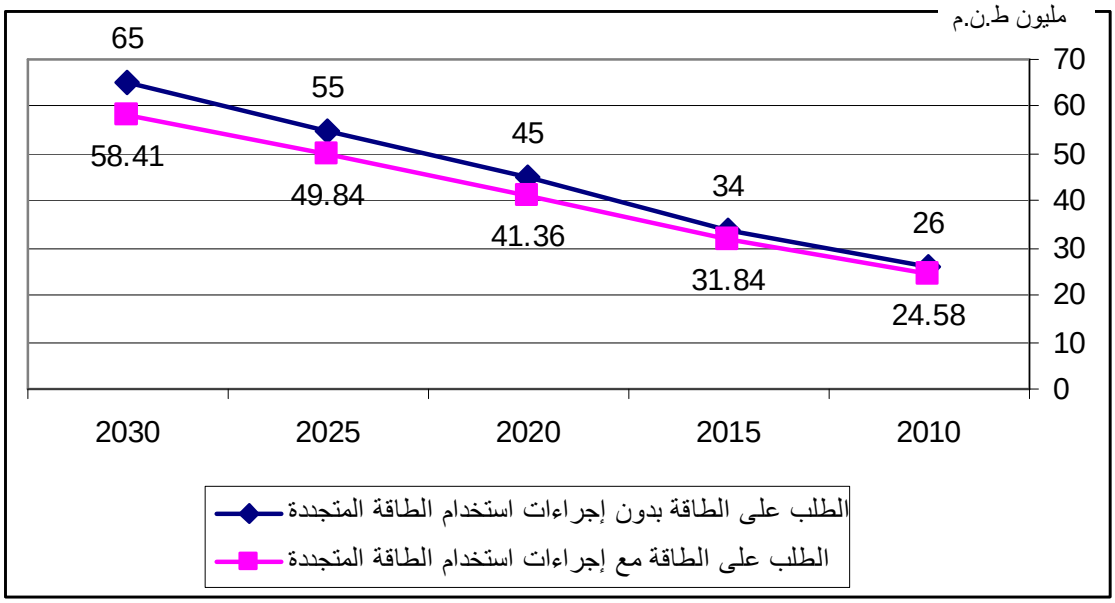
إنّ الرياح مصدر نظيف ولا ينضب ومتوفر في كلّ أنحاء العالم. وقد حققت طاقة الرياح كمصدر لتوليد الكهرباء معدلات نمو عالمية تزيد عن 20% خلال السنوات الـ15 الماضية، وتضاعفت خلال السنوات العشر الأخيرة. وتشير بيانات وكالة الطاقة الدولية إلى توقع استمرار نمو هذه الصناعة بمعدلات عالية نسبياً تقدر بنحو 16% **سنوياً** ما بين 2004 و2015 على أن تنخفض على المدى الأبعد إلى 10.6% **سنوياً** ما بين 2004 و2030 [3]. إن ازدياد هذه النسب من النمو يعزى إلى التطور التقني المستمر الذي تشهده صناعة العنفات الريحية وتجهيزاتها بأحجامها وأنواعها المختلفة وزيادة كميات الإنتاج الأمر الذي يؤدي إلى تناقص أسعارها وتكاليفها وتقلص الفرق الشاسع بينها وبين أسعار طاقة الوقود الإحفوري.

والتوجه العالمي هو أن تصل مساهمة الطاقة المتجددة في ميزان الطاقة العالمي في عام 2050 إلى (56%) وأن تصل مساهمتها إلى أكثر من (75%) في إنتاج الطاقة الكهربائية [12].

أما محلياً فقد وصلنا إلى نقطة التوازن فيما يتعلق بالإنتاج المحلي من حوامل الطاقة وما هو مستورد، أما الميزان المالي فقد كان سلبياً بمقدار (1598) مليون دولار فيما يتعلق بالنفط والغاز، أي أن التوسع في استخدام الطاقة المتجددة من بابها الواسع أصبح لزاماً علينا وليس لاعتبارات بيئية فقط بل لاعتبارات اقتصادية واجتماعية بالدرجة الأولى [12]، كما يتم حالياً الإعلان عن تأهيل شركات للاستثمار في مجال

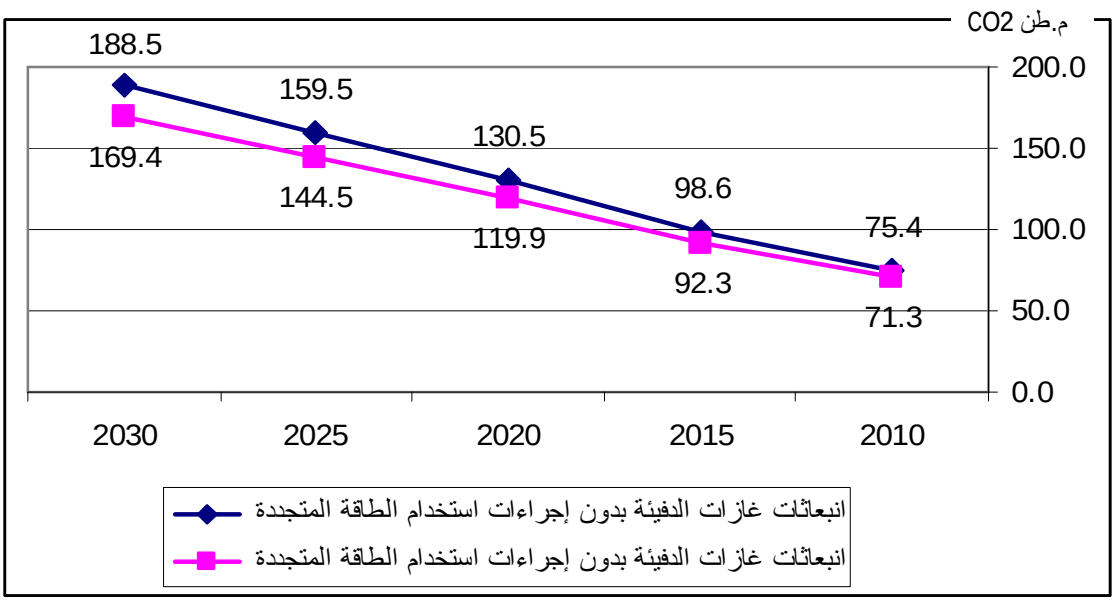
طاقة الرياح وذلك في موقعين(السخنة والهيجانة) بهدف تشجيع القطاع الخاص على توليد الطاقة الكهربائية من طاقة الرياح و بيعها لوزارة الكهرباء. وبالإضافة للمشاريع المطروحة لمشاركة القطاع الخاص في إنشاء واستثمار بعض المزارع الريحية، تعمل المؤسسة العامة لتوليد ونقل الطاقة الكهربائية على وضع دفاتر الشروط الفنية لتصنيع وتوريد وتركيب عنفات ريحية استطاعتها الإجمالية بحدود 100 م.و. إضافة إلى مزرعة ريحية بحدود 30 م.و. يتولى المركز الوطني لبحوث الطاقة إدارتها واستثمارها وإجراء الأبحاث عليها كمشروع رائد.

ويوضح الشكل (1) الفرق في الطلب على الطاقة في سورية مع وبدون إجراءات استخدام الطاقات المتجددة:



الشكل (1) الطلب على الطاقة مع وبدون استخدام الطاقات المتجددة [12]

كما يبين الشكل(2) الوفورات في الانبعاثات الغازية الناتجة عن تطبيق خطة تعزيز ونشر استخدام الطاقات المتجددة حتى عام 2030:



الشكل(2)انبعاثات غازات الدفيئة مع وبدون استخدام الطاقات المتجددة [12].

من هنا تأتي أهمية هذا البحث في إجراء دراسة اقتصادية لاستخدام محطات توليد كهربائية ريحية في نظام الطاقة الكهربائية لمواجهة تطور الحمولات وذلك باستخدام بعض البرمجيات الحديثة المتطورة والمعتمدة من جهات دولية متخصصة كبرنامج الـ WASP-IV (المطور من قبل الوكالة الدولية للطاقة الذرية)، والتوصل إلى معرفة فيما إذا كانت هذه المحطات المقترحة مجدية اقتصادياً فيما لو تم استخدامها في نظام الطاقة الكهربائية المحلي الذي نسعى ليكون أكثر وثوقية وقدرة على تأمين حاجات القطر الضرورية لنموه وازدهاره.

الفصل الأول

دراسة مرجعية للمحطات الكهربائية بشكل عام

والمجددة بشكل خاص

الفصل الأول

دراسة مرجعية للمحطات الكهربائية بشكل عام والمتجددة بشكل خاص

تصنف المحطات الكهربائية حسب نوع وقود التشغيل المستخدم فيها إلى الأنواع الآتية:

1-1- المحطات الحرارية Thermal power stations

تنتج المحطات الحرارية معظم الطاقة الكهربائية المطلوبة في أغلب بلاد العالم ولكن هناك بعض العوامل والأمور التي تشجع وتدفع للبحث عن مصادر جديدة للطاقة. فالوقود المستخدم في هذه المحطات هو وقود محدود الكمية مهما كبرت هذه الكمية، والطلب عليه يزداد يوماً بعد يوم، كما أن الاهتمام بتلوث البيئة قد حث على إيجاد مصادر أخرى للطاقة الكهربائية وذلك بسبب ما تنتجه المحطات الحرارية من مخلفات تساهم بشكل كبير في تلوث البيئة.

وبالرغم من كل العوامل السلبية للمحطات الحرارية فإنها لا تزال المصدر الأساسي لإنتاج الطاقة الكهربائية في العالم وذلك لعدم وجود بديل جيد عنها.

فالمحطات النووية تعاني من كلفة باهظة في إنشائها، كما تعاني من مشاكل أخرى متعلقة بالإشعاع النووي وبالحوادث الطارئة التي قد ينجم عنها كوارث بيئية وبشرية، والمحطات الهيدروليكية مرتبطة بشكل مباشر بتوفر الماء في الأنهار مما يجعل استعمالها محدوداً نسبياً بسبب ارتباطها الوثيق بتوفر الماء الكافي لعمل المحطة. أما مصادر الطاقة الأخرى مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح وما شابه فلا تزال حتى الآن في طور الدراسة وقد نجحت حتى الآن في بعض الحالات في تأمين كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية.

إن أكثر من نصف المحطات الحرارية المنشأة في العالم تعمل بالفحم الحجري وذلك لتوفره ورخصه بالمقارنة مع باقي أنواع الوقود ، أما القسم الآخر من المحطات الحرارية فيعمل على البترول أو الغاز الطبيعي. وتحتوى المحطة الحرارية عادة على وحدة توليد واحدة أو أكثر ولكل وحدة توليد مولد بخار خاص بها وتتراوح استطاعة هذه الوحدات من 50 ميغا واط إلى 1300 ميغا واط.[1]

كما أن درجة الحرارة وضغط البخار قد ازداد بشكل كبير عبر السنوات، فضغط البخار قد وصل إلى 24413 كغ/م^2 ودرجة الحرارة قد وصلت إلى 650 درجة سلزيوس في بعض المحطات. وقد أثبتت التجارب والدراسات الحديثة اقتصادية بناء وصيانة المحطات التي تعتمد على الضغط العالي والحرارة

المرتفعة، ولذلك فإن معظم المحطات الحرارية الحديثة تعمل على ضغط بخار يتراوح ما بين 48826 و17089 كغ/م^2 وعلى درجة حرارة لا تتجاوز 538 درجة سلزيوس.[1]

وتتألف المحطة الحرارية عادة من فرن يقوم بحرق الوقود المستعمل ومن مرجل يقوم بالاستفادة من الحرارة الناتجة للحصول على بخار يقوم بقيادة العنفات البخارية وبالتالي تقوم بإدارة المولدات الكهربائية التي تولد الطاقة الكهربائية المطلوبة.

1-1- أ - تصنيف المحطات الحرارية :

يتم تصنيف المحطات وفق عدة عوامل:

1- تبعاً للاستطاعات ما بين 50 و 1500 ميغا واط ويتضمن هذا التصنيف أيضاً عنفات التنضيد البخارية (Superposed steam Turbines) وهي عنفات ضغط عالي تستعمل في المحطات البخارية القديمة ذات الضغط المنخفض لتحسين المردود الحراري الكلي للمحطة وذلك عن طريق تغذية البخار الخارج من عنفات الضغط العالي إلى عنفات الضغط المنخفض. أما عنفات القيادة الميكانيكية فهي تستعمل لقيادة مراوح سحب الهواء ولقيادة المضخات والضواغط أيضاً، وتدور هذه العنفات بسرعة تتراوح من 900 إلى 10000 دورة في الدقيقة وتتراوح استطاعتها من 0.5 إلى 10 ميغا واط. وتمتاز عنفات القيادة الميكانيكية عن عنفات القيادة الكهربائية بأنها أفضل استثماراً للطاقة الحرارية وأسهل للتحكم في سرعتها وأسرع في المباشرة.[1]

2- تبعاً لضغط البخار الخارج من العنفة إلى عنفات تكثيف وعنفات عدم تكثيف. فعنفات عدم التكثيف لا تحتوي على مكثفات بخار وتحتاج إلى تعويض دائم للماء المفقود (الضائع) كما أن ضغط البخار الخارج من هذه العنفات يزيد عن الضغط الجوي العادي أو يساويه، أما عنفات التكثيف فتحتوي على مكثفات تقوم بتكثيف البخار الناتج عنها لاستعماله من جديد مما يحسن من مردودها ويلغي الحاجة إلى تعويض دائم للماء.

3- حسب طريقة حقن أو استتراف البخار وتستعمل هذه العنفات عندما يراد استتراف جزء من البخار الخارج من العنفة واستعماله في تسخين ماء التغذية أو عندما يراد حقن العنفة ببخار إضافي.

1- 2 - المحطات الكهرمائية Hydroelectric Power Stations

تقوم المحطة الكهرمائية بتحويل الطاقة الملازمة للماء تحت الضغط إلى طاقة كهربائية، فمياه الأنهار تجري كما نعلم من منابعها إلى مصباتها عبر مسافات طويلة إلى أن تصب في البحر أو في البحيرات ويستعمل الماء خلال جريانه الطاقة الملازمة له في جرف التربة والأوساخ كما أن قسماً من هذه الطاقة يستعمل في

التغلب على قوى الاحتكاك الناشئة من الماء الجاري ومجرى النهر، وتتألف المحطة الكهرمائية من الأقسام الآتية:

آ -**خزان مائي :** يتم تشكيله عن طريق بناء سد على النهر.

ب- بوابة سحب (Intake): وهي عبارة عن قناة أو ممر إسمنتي لنقل الماء إلى العنفة مباشرة في المحطات ذات ارتفاع ضاغط منخفض أو إلى قناة الضغط في المحطات ذات ارتفاع ضاغط متوسط أو عالي.

ج- قناة الضغط (Pressure Conduit): وهي عبارة عن نفق أو مجرى (Penstock) تستعمل لنقل الماء تحت الضغط إلى العنفات في المحطات ذات ارتفاع ضاغط متوسط أو عال.

د- حوض التغيير (Surge tank): ويبنى هذا الحوض على قناة الضغط ليقوم بمنع ازدياد أو انخفاض الضغط عند تغير الحمولة.

هـ- العنفة الهيدروليكية (Hydraulic turbine): وتتألف من قسم دوار (runner) موصول بمحور لتوليد الاستطاعة المطلوبة من الطاقة الملازمة للماء تحت الضغط كما تحتوي العنفة على ميكانيكية تحكم في الماء الجاري إلى الدوار وممرات لقيادة الماء من وإلى الدوار.

و- المتحكم (governor): للتحكم في تنظيم دوران العنفة الهيدروليكية بما يتلاءم مع خرج المحطة.

ز- مولد كهربائي (Electric generator): يوصل بمحور العنفة الهيدروليكية لتحويل الطاقة الدورانية للعنفة إلى طاقة كهربائية.

ح- غرفة التوليد (Power house): وتحتوي على العنفة والمولد والمتحكم ، و هناك خزان ماء المؤخرة (Tail – water reservoir) حيث يتلقى الماء الخارج من العنفة الهيدروليكية ليتابع مجراه في النهر.

1-3 المحطات النووية Nuclear Power Stations

يصعب ملاحظة تحول الكتلة إلى طاقة في التفاعلات الكيميائية نظراً لصغرها ، على حين أن الطاقة المحررة في التفاعلات النووية توضح بشكل ملحوظ كيفية تحول الكتلة إلى طاقة وذلك حسب مبدأ مصونية الطاقة.

يتم تصنيف هذه المحطات وفقاً لاعتبارات عديدة أحدها نوع الماء المستخدم:

1-3-1 مفاعلات الماء الخفيف:

إن معظم المفاعلات المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية هي من هذا النوع حيث يقوم الماء في هذه المفاعلات بدور المبرد (Coolant) وبدور الوسيط (Moderator) بآن واحد.

ويستعمل عادة اليورانيوم المغنى بنسبة 3% كوقود وهناك نوعان رئيسيان من مفاعلات الماء الخفيف الأول هو مفاعلات الماء المضغوط (Pressurized – Water reactor) والثاني هو مفاعلات الماء المغلي (Boiling – Water Reactor).

1-3-1-1 مفاعلات الماء المضغوط: (PWR) Pressurized – water reactor

يعتبر هذا النوع من المفاعلات أكثر الأنواع استخداماً في الولايات المتحدة الأمريكية، ويبلغ ضغط الماء حوالي 150atm (ضغط جوي) ويجري الماء الساخن (البخار) من المفاعل إلى مولد البخار(Steam Generator)حيث تنتقل الحرارة إلى ماء التغذية الثانوي تحت ضغط أخفض من السابق عبر ما يسمى بحلقة التبريد الثانوية، ويقوم ماء التغذية الثانوي وهو على شكل بخار بتغذية العنفات التي تدير المولدات الكهربائية. أما ماء التغذية الأولي والخارج من مولد البخار فيعاد إلى المفاعل عبر ما يسمى بمضخة المبرد (Coolant pump) .

1-3-1-2 مفاعلات الماء المغلي: (BWR) Boiling Water Reactor

يتولد البخار في مفاعلات الماء المغلي داخل نواة المفاعل ثم يجفف ويرسل مباشرة إلى العنفة البخارية، ويلغي هذا النظام مولدات البخار المستعملة مع مفاعلات الماء المضغوط الكبيرة والغالية، ولكن تحتوي بعض المفاعلات على مولد بخار يستعمل لأغراض التحكم وليس لتوليد بخار العنفة وتعاني مفاعلات الماء المغلي من مشكلة انتقال المادة المشعة مع البخار إلى العنفة بالإضافة إلى مشكلة الاهتزازات التي تحدث داخل نواة المفاعل نتيجة لغليان الماء.

احتوت مفاعلات الماء المغلي القديمة على دارتين لجريان البخار حيث يتولد معظم البخار اللازم لإدارة العنفة البخارية في نواة المفاعل ويتولد القسم الباقي من البخار في مولد ثانوي تحت ضغط أخفض وذلك لأغراض التحكم.

تقوم فقاعات البخار الموجودة في نواة مفاعلات الماء المغلي بالتحكم باستطاعة المفاعل. ويقوم الماء بدور مادة التبريد كما يلعب دور المعدل (يبطئ حركة) للنيترونات السريعة، وإن أي زيادة في نسبة البخار ستنقص كمية الماء الموجودة في النواة وبالتالي ستنقص استطاعة المفاعل إلا إذا سحبنا أحد قضبان التحكم. وإذا كان بخار المفاعل يغذي العنفة عبر صمام خانق (throttling value) وفتحنا هذا الصمام لزيادة خرج العنفة فإن ضغط البخار في المفاعل ينخفض مباشرة، ويسبب انخفاض ضغط البخار ازدياداً في حجمه مما يؤدي إلى انخفاض استطاعة خرج المفاعل، وللتخلص من هذه المشكلة يستعمل مولد بخار ثانوي ويوضع الصمام الخانق بين المولد الثانوي والعنفة، فعند فتح الصمام في هذه الحالة فسينخفض ضغط درجة

حرارة بخار المولد الثانوي بسبب زيادة الانتقال الحراري بين البخار الرئيسي الناتج عن المفاعل وبين بخار المولد الثانوي، مما يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة المفاعل الداخلية، وعندما يدخل الماء البارد إلى المفاعل فإنه يتسبب في تكثيف بعض البخار الموجود في النواة ويؤدي إلى زيادة خرج المفاعل هذا ما يؤمن تغير خرج المفاعل مع تغير الحمل.

1-3-2 المفاعلات المبردة بالغاز عالي درجة الحرارة:

High- Temperature, Gas – cooled Reactors (HTGR)

تصنع نواة المفاعل في هذا النوع من المفاعلات من مواد غير معدنية (بشكل أساسي غرافيت) مما يسمح باستخدام درجات حرارة عالية جداً فيها، كما أنه بإمكان هذه الكمية الكبيرة من الغرافيت وبسبب استطاعتها الحرارية العالية أن تمتص الحرارة الناتجة عن انحلال وتفتت المواد الناتجة عن الانشطار دون أن تنصهر النواة.

وتوضع المفاعلات غازية التبريد ومرتفعة الحرارة عادة ضمن وعاء ضغط إسمنتي مع الهليوم المبرد ومع أجهزة توليد البخار والتحميص.

إن كمية المادة القابلة للانشطار تتناقص مع استمرار الزمن وإنتاج الطاقة ويصبح من الضروري إعادة تحميل كاستيات (المجمعات) التي تحوي قضبان الوقود وغالباً تتم هذه العملية باستبدال من خمس إلى ثلث مجمعات الوقود الموجودة في نواة المفاعل.

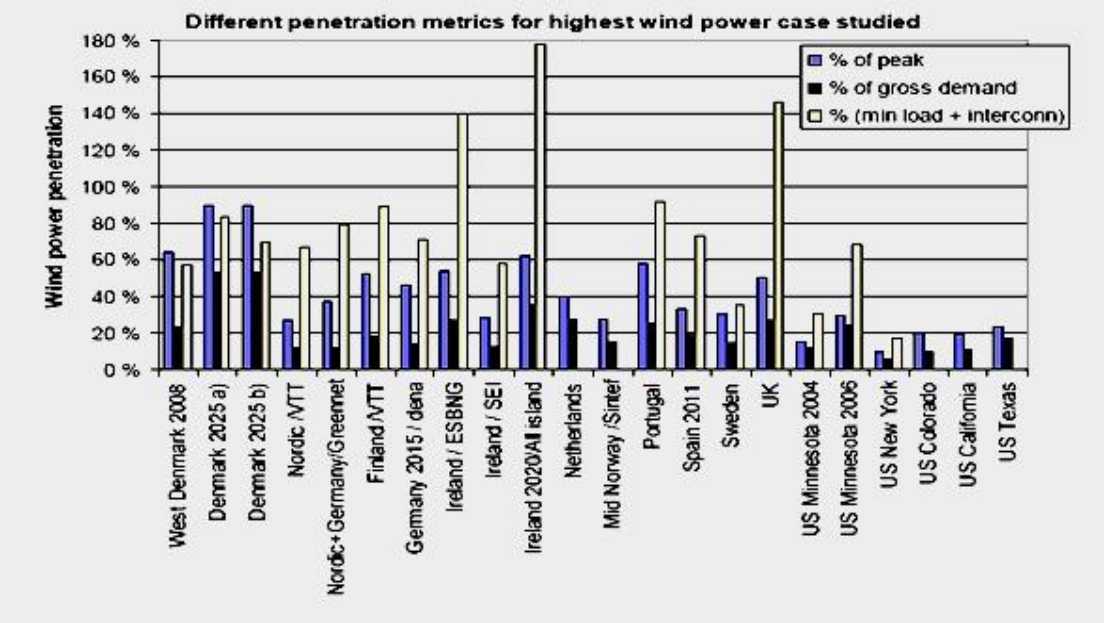
وتحتوي مجمعات الوقود المزالة من المفاعلات النووية على كمية كبيرة من الإشعاع النووي الخطر، وكان من المعتقد أنه يمكن إعادة معالجة هذه المجمعات وانتزاع المواد المشعة منها ولكن حتى الآن لم تنجح هذه المحاولات بشكل نهائي ولذلك غالباً ما تخزن هذه المجمعات لزمن محدد إلى أن يصبح بالإمكان معالجتها واستخدامها دون أن تشكل خطراً على الصحة العامة. وبكل الأحوال فإن هناك كلفة أيضاً مرتبطة بتخزين مجمعات الوقود بعد استعمالها في المفاعلات مما يزيد في كلفة توليد الطاقة الكهربائية من المفاعلات النووية وعملية إيجاد كلفة الوقود للمحطات النووية يحتاج إلى تحليل اقتصادي دقيق، حيث تتضمن الكلفة الكلية للوقود كلفة التنجيم (الاستخراج من المناجم) من اليورانيوم وسحقه وتحويله إلى مادة غازية لإغنائه ومن ثم تصنيع مجمعات الوقود ونقلها إلى المفاعل النووي بالإضافة إلى كلفة انتزاع هذه المجمعات بعد أن انتهاء فترتها ومن ثم معالجتها وتخزينها إلى أجل غير مسمى. وبالرغم من أن هذه المفاعلات قد توقفت عن العمل في أمريكا لأسباب سياسية إلا أن الدراسات ما تزال مستمرة في العديد من البلدان المتطورة لتطويرها واستعمالها على نطاق تجاري واسع.

1-4- محطات الطاقة المتجددة:

هي المحطات التي تعتمد على مصادر قابلة للتجدد مثل طاقة الرياح، طاقة الماء، الطاقة الشمسية، طاقة الوقود الحيوي. وسنركز في هذا البحث على طاقة الرياح حيث وصل إجمالي طاقة الرياح المركبة في العالم إلى 74246 MW في عام 2006، و وصلت إلى 74844 MW في عام 2007 هذا بالنسبة للدول الأعضاء في هيئة الطاقة الدولية للرياح **IEA WIND** .أما الإجمالي فهو 93710 MW وذلك حسب ما أشار إليه التقرير السنوي لهذه الهيئة [16].

ويتوقع وصول إجمالي طاقة الرياح المركبة في العالم إلى 168 GW في عام 2015 (+250% مقارنة بعام 2004) و 430 GW في عام 2030، أي أنها ستتضاعف ثمانية مرات ما بين عامي 2004 و2030 .[3]

ويوضح الشكل (1-1) نسبة مساهمة طاقة الرياح في إجمالي الطاقة المنتجة في دول مختلفة من العالم :



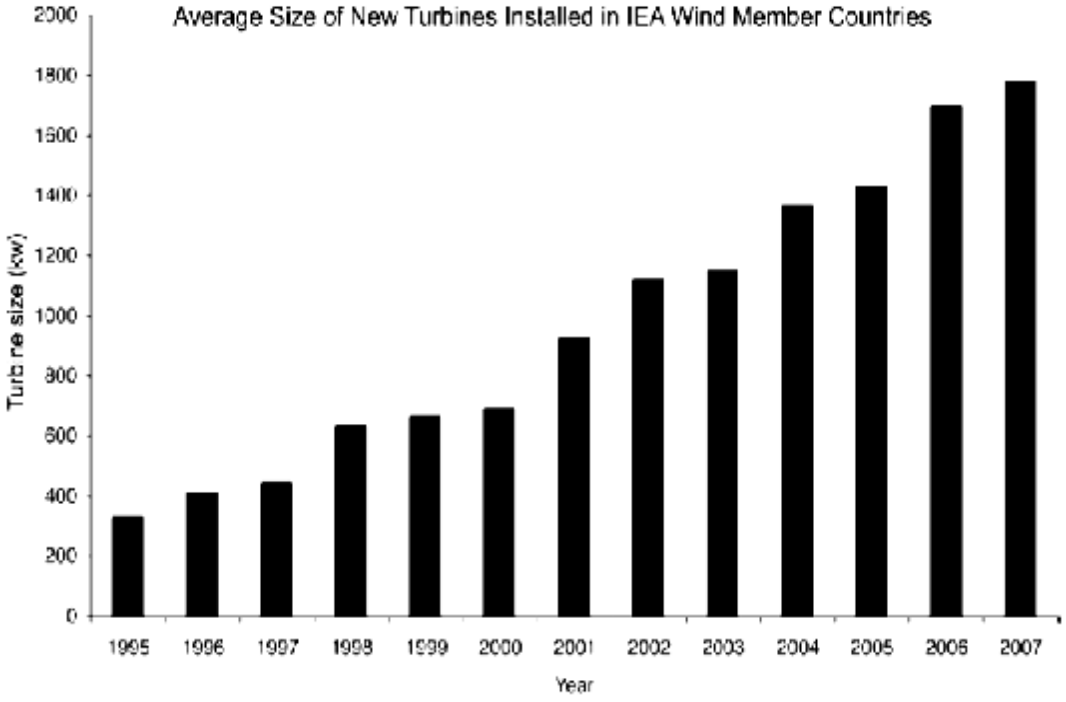
الشكل (1-1) نسبة مساهمة طاقة الرياح في إجمالي الطاقة المنتجة في دول مختلفة من العالم [17]

كما يبين الجدول (1-1) نسب مساهمة طاقة الرياح في الناتج الإجمالي من توليد الطاقة الكهربائية في الدول الأعضاء بهيئة الطاقة الدولية للرياح لعام 2007:

الجدول(1-1) نسب مساهمة طاقة الرياح في الناتج الإجمالي من توليد الطاقة الكهربائية في الدول الأعضاء بهيئة الطاقة الدولية للرياح لعام 2007 [16]

Table 1 National Statistics of the IEA Wind Member Countries for 2007								
Country	Total installed wind capacity (MW)	Offshore installed wind capacity (MW)	Annual net increase in capacity (MW)	Total No. of Turbines	Average new turbine capacity (kW)	Wind generated electricity (GWh/yr)	National electricity demand (TWh/yr)	% of national electricity demand from wind*
Australia	824	0	7	564	2,000	2,326	220.0	1.1%
Austria**	982		17					
Canada	1,846	0	386	1,400	1,320	4,340	616.0	0.8%
Denmark	3,134	423	-11.5	5,212	1,290	7,171	36.0	19.9%
Finland	110	14	24	107	2,160	188	90.0	0.2%
Germany	22,247	7	1667	18,160	1,838	39,500	617.2	6.4%
Greece	573	0	125	1,118	1,850	2,328	51.0	4.6%
Ireland	805	25	59	686	1,900	1,785	26.0	6.9%
Italy	2,726	0	603	2,943	1,030	4,074	340.0	1.2%
Japan	1,538	11	229	1,331	1,156	2,207	880.4	0.2%
RP of Korea	193	0	18	127	1,417	399	400.1	0.1%
Mexico	85	0	0	0	NA	248	206.7	0.1%
Netherlands	1,745	108	209	1,847	1,737	3,400	115.8	2.9%
Norway	325	0	60	185	2,727	699	127.0	0.7%
Portugal	2,125	0	427	1,132	1,979	4,006	50.0	8.1%
Spain	15,145	0	3522	>16,000	1,823	32,026	276.3	11.8%
Sweden	830	133	217	950	1,700	1,429	150.0	1.0%
Switzerland	12	0	0	34	NA	16	58.0	0.03%
United Kingdom	2,990	404	427	1,952	2,050	5,381	426.0	1.3%
United States	16,904	0	5329		1,650	48,000	4,600.0	1.0%
Totals	74,844	1,125	12,315	56,056	1,773	164,063	9,428	1.84%
*% of national electricity demand from wind= (wind generated electricity/national electricity demand)*100								
** Numbers from Wind Power Monthly								
Bold Italic = estimated vale								

كما أن عدد العنفات الريحية قيد التشغيل يزداد سنة بعد أخرى، وحتى بالنسبة للعنفة الواحدة فقد ساعد التطور التقني في ازدياد حجم العنفة الواحدة ليصل إلى 5 MW وخاصة على شواطئ بحر الشمال والمحيط الأطلسي[3] ، ويبين الشكل (2-1) تطور أحجام العنفات المركبة عالمياًخلال السنوات1995حتى 2007:



الشكل (2-1) تطور أحجام العنفات المركبة عالمياً خلال السنوات1995حتى 2007:[16]

مما سبق نلاحظ الخطى المتسارعة في اتجاه الاستفادة من طاقة الرياح كمصدر طبيعي صديق للبيئة، مساعد في توليد الكهرباء العصب الرئيسي للتطور.

الفصل الثاني

أسس التقييم الاقتصادي الخاص بمحطات توليد الطاقة الكهربائية

الفصل الثاني

أسس التقييم الاقتصادي الخاص بمحطات توليد الطاقة الكهربائية

مقدمة:

يتضمن هذا التقييم كافة التكاليف والعائدات الاقتصادية (الاجتماعية والبيئية) الممكن توقعها، بما في ذلك: الضرائب، الدعم الحكومي للمنتج، التكاليف البيئية، وتكاليف خارجية أخرى. ينفذ هذا التقييم الاقتصادي عادةً من قبل مصارف التنمية والمؤسسات المشابهة، أو من قبل دوائر التخطيط الحكومية المعنية[1] .

2-1 التكاليف المالية للمشروع:

تنقسم التكاليف المالية إلى ثلاثة أشكال: تكاليف الاستثمار، تكاليف التشغيل و رأس المال العامل، ويتم تقسيم كل منها عادة إلى عدة بنود فرعية كما يلي:

آ- تكاليف الاستثمار:

وتضم:التكاليف الأولية، تكاليف الاستبدال، والقيم المتبقية.

يقصد بالتكاليف الأولية تلك الداخلة في مرحلة الإنشاء وبدء العمل، كتكاليف الأرض والأعمال الهندسية والتجهيزات والتركيبات، أما تكاليف الاستبدال فهي تلك المصروفة على صيانة وإصلاح واستبدال التجهيزات والشبكات في المشروع بهدف الحفاظ على قدرته الإنتاجية الأساسية، وتتضمن القيم المتبقية قيم عناصر الاستثمار (التجهيزات، الأرض، الخ..) المقدرة في نهاية العمر المفيد للمشروع، وتكون القيم المتبقية صغيرة عادة ولا تؤثر بشكل كبير على اتخاذ القرار عند تقييم المشروع، ويمكن أحياناً كما في محطات الطاقة النووية أن تظهر عند إيقاف المشروع عن العمل وتفكيك تجهيزاته تكاليف إضافية لا يستهان بها تؤثر على التقييم الاقتصادي للمشروع.

ب- تكاليف التشغيل:

تتألف تكاليف التشغيل من تكاليف ثابتة ومتغيرة.

التكاليف الثابتة تكون محددة القيمة ولا تتعلق بسوية الإنتاج، كمرتبات العاملين والنفقات الإدارية وقسم من تكاليف الصيانة، أما قيمة التكاليف المتغيرة فتعتمد على سوية الإنتاج، وتضم على سبيل المثال كلفة الوقود والطاقة والماء ومواد التشحيم وقسماً من تكاليف الصيانة (وفي المشاريع الصناعية تضاف إليها كلفة المواد الأولية). بشكل عام لا يتم بدء الإنتاج بالقدرة الكاملة للمشروع، إذ قد تتزايد الطاقة الإنتاجية

للمشروع مع مرور الوقت أو قد تبقى متغيرة تبعاً لليوم أو الفصل من السنة، وتزداد التكاليف المتغيرة بازدياد الطاقة الإنتاجية للمشروع وتستقر عند قيمة حدية عند الوصول إلى الطاقة الإنتاجية العظمى المستقرة ، وتهبط كلفة التشغيل لكل وحدة منتجة بازدياد الطاقة الإنتاجية.

ج- رأس المال العامل:

يشير رأس المال العامل إلى المخزون المادي اللازم لضمان استمرارية الإنتاج (قطع الغيار، الوقود، المواد الأولية)، ولابد من تكوين المخزون في مرحلة الإنشاء وقبل بداية التشغيل التجاري، ويحدد المخزون الكافي عادة بأنه المخزون اللازم لاستمرار عملية الإنتاج فترة شهر واحد.

في مشاريع توليد الطاقة أو نقلها وتوزيعها يتكون رأس المال العامل من عنصر وحيد هو المخزون الابتدائي من المواد اللازمة للتشغيل التجاري، لكن بالنسبة للمشاريع الصناعية يتألف رأس المال العامل من ثلاثة عناصر:

1) المخزون الابتدائي من المواد.
2) الجهد المبذول في عملية الإنتاج.
3) المخزون النهائي من المنتج.

يتم حساب تكاليف المشروع كافة بهدف التقييم باعتماد التكاليف والأسعار الثابتة المقدرة في سنة معينة هي سنة الأساس.

2-2 العائدات المالية للمشروع:

إن حساب العائدات المالية ليس بالمهمة السهلة في صناعة الطاقة الكهربائية، إذ لا تؤدي إقامة محطة توليد جديدة إلى زيادة الطاقة المولدة في نظام الطاقة فقط، بل تسهم أيضاً في تخفيض تكلفة التوليد في كامل النظام، كما قد تخفض هذه الخطوة من ضياعات الطاقة في النظام وبالتالي تساعد على تأجيل تنفيذ بعض مشاريع تحسين الشبكات.

وتتزايد بشكل كبير أهمية التقدير الصحيح لعائدات (ربحية) مشاريع الطاقة الكهربائية و خاصة في حالات إلغاء رقابة الدولة و الخصخصة واعتماد المنافسة الحرة .

2-3 اعتماد الحلول ذات الكلفة الأدنى:

من الضروري التأكد من كون المشروع رابحاً ومن أن عائداته الصافية تفوق كلفة رأس المال الموظف فيه، كما يجب التأكد من أن المشروع المعتمد هو الخيار ذو الكلفة لأدنى للحصول على النتيجة المرجوة ذاتها

من الخيارات الأخرى وعلى نفس الدرجة من الأهمية.

يهدف تحديد الحل ذو الكلفة الأدنى إلى تقييم كافة الخيارات الواقعية المتاحة مالياً واقتصادياً قبل تحديد البديل الذي يمكن أن يحقق عائدات المشروع بأدنى كلفة ممكنة.

تعد مشاريع قطاع صناعة الطاقة الكهربائية بشكل أساسي سهلة التبادل أي أن تطبيق مشروع ما يزيد إمكانية التطبيق العملي لمشروع آخر من الناحية التقنية (وليس الاقتصادية).

تعتمد معظم القرارات اليومية في صناعة الطاقة الكهربائية على التقييم المالي لاختيار الحل ذو الكلفة الأدنى (من بين خيارات المشاريع) لتلبية الطلب أو أداء الخدمة المطلوبة، فعلى سبيل المثال توجد عدة حلول لتغطية الحاجة في زيادة توليد الطاقة، كمحطات الطاقة الحرارية المقامة في أماكن مختلفة والعاملة على الفحم أو الغاز، و العنفات الغازية ووحدات حرق الغاز الطبيعي أو الوقود الخفيف (الفيول).

عند اختيار الحل ذو الكلفة الأدنى يجب إعطاء الأهمية للاختلاف بالقيم الحالية للأموال (كلفة البدائل المقترحة) بما في ذلك تأثيراتها على النظام إن وجدت. في حالات عديدة ممكن أن تتساوى أرباح (خرج) البدائل المختلفة (حيث يفترض بكل منها أن يلبي احتياجات المشروع) وفي هذه الحالة يجب الاهتمام بتقييم ومقارنة التكاليف.

تستخدم عدة طرائق لإجراء التقييم المالي ومقارنة البدائل، إلا أن أهمها وأكثرها فائدة هي:

- طريقة القيمة الحالية.
- طريقة الكلفة السنوية(طريقة الكلفة السنوية المنتظمة المكافئة).

2-3-1 طريقة القيمة الحالية:

تهدف طريقة القيمة الحالية Present Value (PV) إلى تقدير القيمة الحالية لكافة التكاليف والأرباح في المشروع، أو التدفقات النقدية (الأرباح الصافية) منسوبة إلى تاريخ محدد يدعى بسنة الأساس.

في هذه الحالة يتم حسم كافة التدفقات النقدية التي تسبق أو تلي سنة الأساس من هذه السنة بعد ضربها بمعامل الحسم $\{1/(1+r)^n\}$ حيث يعتمد (n) سالب للسنوات السابقة.

تعتبر كافة القيم مأخوذة في نهاية العام، إلا أنه في معظم الحالات يكون منتصف العام هو الموعد الأنسب لتقدير وحساب هذه القيم.

تعد طريقة القيمة الحالية مناسبة لاختيار الحل ذو القيمة الأدنى، إذ يمكن بوساطتها حساب قيمة الحسم على رأس المال وحسم التكاليف الجارية المستقبلية لكل من الخيارات المدروسة من قيمتها الأصلية،

باستخدام فائدة حسم متفق عليها هي كلفة استثمار رأس المال، وإذا وجدت أي قيمة متبقية للحل المدروس فإنها تحسب من كلفته بعد حسمها لسنة الأساس.

قد تملك الخيارات المختلفة تأثيرات مختلفة على نظام الطاقة الكهربائية وبالتالي تكاليف مختلفة وهو أمر يجب أخذه بعين الاعتبار عند تقييم هذه الحلول، إذ يتم اختيار الحل ذو القيمة الحالية الأقل للكلفة بوصفه الحل ذو الكلفة الأدنى.

2-4 قياس نفعية الاستثمار:

يتم فرض معظم المشاريع في صناعة الطاقة الكهربائية على المخططين فرضاً ومن أمثلة ذلك: بناء محطات توليد جديدة لتلبية الزيادة في الطلب على الطاقة، إقامة منشآت تحكم ومراقبة جديدة لزيادة الأمان في نظام الطاقة الكهربائية، وكهربة المناطق النائية، .....الخ.

بالتالي يتم حصر معظم القرارات في صناعة الطاقة الكهربائية وربطها بالحل ذو الكلفة الأدنى، أما عالمياً ومع تزايد خصخصة شركات الكهرباء واعتماد مبادئ اقتصاد السوق أصبح من الضروري اعتماد نظرة تحليلية أكثر عمقاً لربحية الاستثمارات.

تتزايد الحاجة والضرورة أيضاً إلى إجراء الدراسات المالية الخاصة بربحية المشروع ويتضمن هذا ثلاثة نقاط إجمالية:

آ- التحليل المسبق للعائدات.

ب- التحليل المسبق لميزان المدفوعات.

ج- التحليل المسبق لتدفق دفعات التحويل.

تسمح هذه الخطوات لمالكي المشروع بتقييم ربحية مشروعهم.

- تستخدم عدة طرائق لتحديد فيما إذا كان من المجدي المضي بتنفيذ المشروع، وأفضل هذه الطرائق هي:

I- حساب النسبة الداخلية للعائدات.

II- تقييم القيمة الحالية الصافية للمشروع.

III- حساب نسبة الأرباح إلى التكاليف.

IV- بعض الطرائق الأخرى (فترة استرداد المدفوعات، نسبة الربح إلى الاستثمار، العائد التجاري على رأس المال السهمي).

وتعتمد كافة الطرائق المذكورة أعلاه عدا الأخيرة على مفهوم الحسم.

2-4-1 النسبة الداخلية للعائدات:

يعد حساب نسبة العائدات الداخلية Internal Return Rate (IRR) طريقة محبذة ومستخدمة على نطاق واسع في تقييم المشاريع، وتعرف بأنها قيمة فائدة الحسم التي تجعل التدفقين النقديين الممثلين للتكاليف والعائدات متساويين، أي أنها نسبة العائدات (r) التي يولدها المشروع عند ضخ النفقات المساوية لـــ(C_n) فيه والحصول على قيمة الأرباح الصافية (B_n)، خلال عدد السنوات n،كما تعرف بأنها النسبة (r) التي تجعل القيمة الحالية الصافية Net Present Value (NPV) للمشروع مساوية الصفر، أي:

$$\Sigma[C_n/(1+r)^n] = \Sigma[B_n/(1+r)^n] \qquad (2\text{-}1)$$

- إذا كانت (IRR) تساوي أو تزيد على الكلفة التفضيلية لمشروع قطاع خاص أو إلى فائدة الحسم التي تحددها الحكومة في المشاريع الحكومية، يعد المشروع قيماً ويستحق التنفيذ.

تحدد الحكومات وصناديق التنمية فرضياتها الخاصة لحساب كلفة رأس المال ولتحديد القيمة الدنيا لفائدة الحسم التي تشجع هذه الجهات على تقديم التمويل اللازم للمشاريع، وتعتمد على القيم الراهنة والمستقبلية لعائدات المشاريع المماثلة في القطاعات الاقتصادية الأخرى، وعلى نسب الفائدة في الأسواق المالية .

يمكن حساب قيمة (IRR) باستخدام الحسابات التجريبية وحسابات الأخطاء، وذلك بالاعتماد على المعادلة السابقة حتى حساب قيمة (r)، ويمكن أيضاً حسابها بطريقة الاستيفاء، إلا أن الطريقة المفضلة للحساب هي باستخدام البرامج الحاسوبية.

- تعاني طريقة (IRR) من بعض الثغرات والنواقص الطفيفة، مما قد يؤثر أحياناً على مصداقيتها كمقياس للمزايا المتبادلة بين المشاريع المترافقة والمشتركة، كما تتطلب هذه الطريقة قدراً من الافتراض والتقريب. وهو أمر غير ممكن دائماً، إلا أنه بالرغم من هذه السلبية فإن الطريقة مستخدمة على نطاق واسع وتمثل بشكل جيد العائدات المالية والاقتصادية للمشروع، كما أن معظم السلبيات لا تظهر عند دراسة مشاريع الطاقة الكهربائية، حيث يكفي حساب (IRR) ومقارنة القيمة الناتجة مع القيمة الاختبارية الموضوعة للأداء الأمثل للمشروع.

2-4-2 القيمة الحالية الصافية (NPV) :

يتم بحسب هذه الطريقة حسم العائدات الصافية (التدفقات النقدية) أي قيمة عائدات المشروع مطروحاً منها تكاليف المشروع من قيمتها الحالية باستخدام فائدة حسم محددة مسبقاً، وإذا كانت النتيجة أكبر من

الصفر فإن المشروع بالتالي يكون مربحاً ويستحق التنفيذ.

2-4-3 نسبة العائدات (المنفعة) إلى التكاليف:

بهذه الطريقة نقوم بمقارنة العائدات الكلية للمشروع مع تكاليفها المحسومة:

$$B/C=(\Sigma_n B/(I+r)^n)/(\Sigma_n C/(1+r)^n) \quad (2-2)$$

يتم فقط الموافقة على المشاريع التي تحقق نسبة (عائدات إلى تكاليف) أكبر من الواحد: $B/C\geq 1$

وهذه فرضية شائعة الاستخدام، وفي بعض التطبيقات تعد أكثر فائدة من طريقة القيمة الحالية الصافية، إذ تربط عائدات المشروع بتكاليفه، كما تعتبر تطبيقاً مفيداً لإيجاد محددات وضوابط رأس المال عند تواجد عدد كبير من المشاريع ممكنة التنفيذ. ولكن في حالة توافر ميزانية استثمار محدودة، فإنه يتم تصنيف وترتيب المشاريع تبعاً لقيمة النسبة (B/C) ثم تنفيذها بالترتيب مشروعاً تلو الآخر إلى أن تتساوى التكاليف الكلية مع الاعتماد الاستثماري المتاح، وبالتالي تعد هذه الطريقة مفيدة لإجراء التحليل المقارن.

2-5 تقييم الاستثمار في قطاع التوليد:

يعد التقييم الأمثل للاستثمار في نظام التوليد أمراً مهماً في اقتصاديات صناعة الطاقة الكهربائية.

تشكل الاستثمارات في محطات التوليد ما يقارب ثلثي الاستثمارات الحديثة في نظام الطاقة الكهربائية، وتشكل كلفتها القسم الأعظم من تكاليف التشغيل، وتعد الخسائر الناتجة عن عدم توفر وحدات التوليد الكافية أكبر من تلك الناتجة عن أعطال الشبكة التي يتولد عنها خسائر محلية فقط، وبالتالي من الضروري تقليل هذه الخسائر إلى الحد الأمثل لضمان الاقتصادية والتقنية.

تعتبر النقاط الآتية أهم ما يجب معالجته عند الاستثمار في قطاع توليد الطاقة الكهربائية:

- **اختيار الموقع:**

تحكم عملية اختيار الموقع عدة اعتبارات تقنية واقتصادية (توافر الوقود، الحاجة إلى مياه التبريد، توافر الأرض، القرب من مركز الحمل، شكل شبكة النقل، الاعتبارات البيئية).

- **التوقيت:**

يتأثر هذا العامل بكفاية التوليد إضافة إلى النمو المستقبلي للأحمال وزمن تنفيذ المنشآت الجديدة .

- **نمط وحجم منشآت التوليد الجديدة ونوع الوقود الذي تستخدمه:**

تتعدد وتتزايد أنماط محطات التوليد الجديدة (محطات كهرحرارية تقليدية عاملة على الفحم أو نوع آخر من الوقود، المحطات الكهرنووية، المحطات الغازية باستخدام دورة بسيطة أو مركبة، إلخ....) ولا تكمن

النقطة المهمة فقط في نمط المنشأة والوقود الذي تستخدمه، ولكن أيضاً بالحجم المتوقع للمنشأة الذي يلبي المتطلبات الاقتصادية لمنحني الحمولة المتنامي.

وتوجد عدة منهجيات للمساعدة في تخطيط منشآت التوليد ودراستها من الناحية الاقتصادية، وتعتمد جميعها على تشكيل إطار لصانع القرار يعبر عنه بمصطلحات اقتصادية تهدف إلى الجدولة الزمنية للاستثمارات ذات الكلفة الأدنى عند توسيع نظام توليد الطاقة الكهربائية.

من هذه البرمجيات برنامج WASP-IV (Wien Automatic System Planning) المستخدم لتخطيط التوسع الأمثل لنظام الطاقة الكهربائية في فيينا.

الفصل الثالث

دراسة واقع نظام الطاقة الكهربائية في سورية

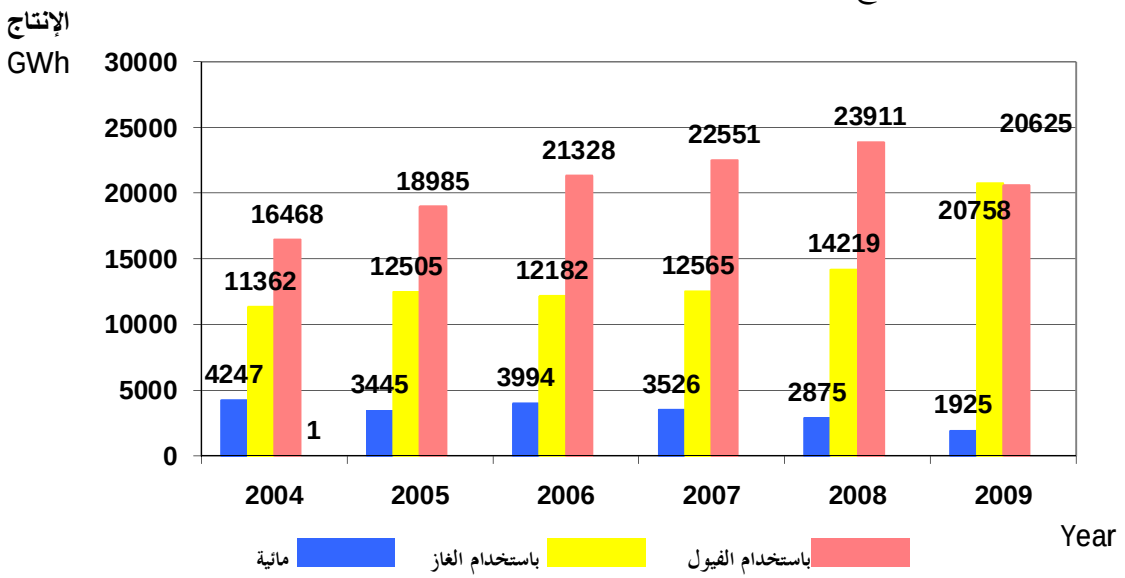
الفصل الثالث: دراسة واقع نظام الطاقة الكهربائية في سورية

مقدمة

يعتبر قطاع الكهرباء أحد أهم القطاعات الحيوية في العالم حتى اعتبر مقياساً لتطور كل دولة نظراً لهذا الدور الهام والمتميز الذي تلعبه الطاقة الكهربائية في عملية التنمية الاقتصادية والاجتماعية وإن العلاقة بين الطاقة الكهربائية وقطاعات الحياة العامة هي علاقة تكاملية تبادلية مترابطة، فهي من جهة تتأثر بمستويات التطور في كافة الميادين الاقتصادية والصناعية والاجتماعية والمجالات المختلفة الأخرى، وتؤثر من جهة أخرى في هذا التطور إيجابياً أو سلبياً حسب توفر وثوقية التغذية الكهربائية وفي مختلف المجالات.

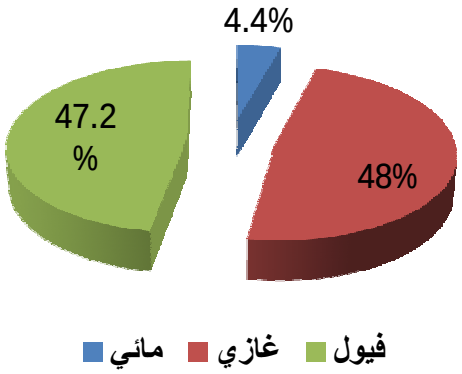
3-1- مصادر الطاقة الأولية لتوليد الطاقة الكهربائية :

يستخدم نوعان من الوقود (الفيول والغاز الطبيعي) لتوليد الطاقة الكهربائية في سورية بالإضافة إلى المازوت كوقود احتياطي للعنفات الغازية، وترجح إستراتيجية استخدام الغاز الطبيعي لماله من إيجابيات ولانعكاسه الاقتصادي والبيئي على القطر.[8] أما بخصوص الطاقة المائية فيمكن القول أن المصادر الرئيسية موجودة على نهر الفرات، وتستثمر حالياً محطات التوليد الكهرومائية الثورة والبعث و تشرين حيث بلغت الطاقة المولدة عام2009 حوالي 1922 ج.و.س ويبين الشكل (3-1) توزع إنتاج الطاقة الكهربائية في محطات التوليد حسب نوع الوقود وخلال الفترة 2004-2009.



الشكل (3-1) توزع إنتاج الطاقة الكهربائية في محطات التوليد حسب نوع الوقود وخلال الفترة 2004-2009.[10]

ويبين الشكل (2-3) توزع إنتاج الطاقة الكهربائية حسب نوع الوقود خلال عام 2009 كنسبة مئوية:

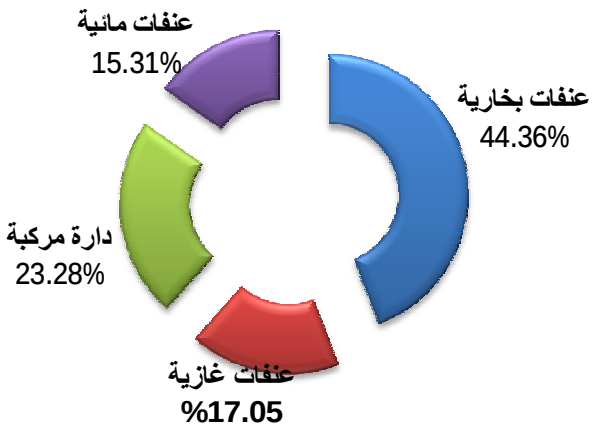


الشكل (2-3) توزع إنتاج الطاقة الكهربائية حسب نوع الوقود خلال عام 2009 [10]

3-2- الاستطاعات الاسمية المتاحة والطاقة الكهربائية المنتجة في محطات التوليد:

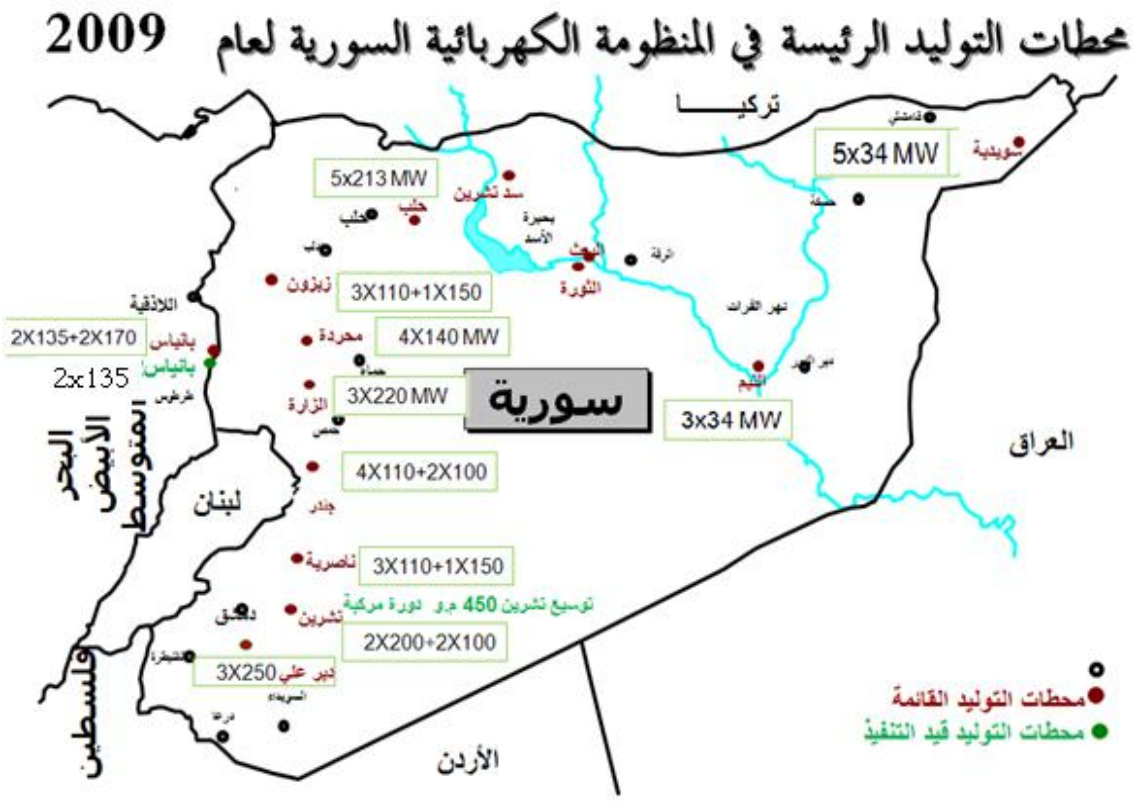
3-2-1 الاستطاعة المتاحة:

تتم تغطية القسم الرئيسي من الطلب على الطاقة الكهربائية من خلال محطات توليد الطاقة الكهربائية التابعة للمؤسسة العامة لتوليد ونقل الطاقة الكهربائية والتي ساهمت لعام 2009 بنسبة 93.5% من إجمالي التوليد، في حين تساهم بعض محطات التوليد العائدة لمؤسسات القطاع العام الأخرى بتوليد ما مجموعه 6.5% منها 4.4% مساهمة المؤسسة العامة لسد الفرات التي تقوم بتشغيل محطات التوليد المائي على سدود تشرين والثورة والبعث، و 2.1% وزارة النفط والثروة المعدنية عبر مجموعات التوليد في مصفاتي حمص وبانياس إضافة إلى المجموعات الغازية في حقول نفط الرميلان، وتعمل محطة التوليد في مصفاة بانياس ضمن مجال تشغيل معزول عن الشبكة العامة، في حين تعمل مجموعات التوليد في مصفاة حمص وحقول الرميلان بشكل متزامن مع الشبكة. وبلغت الاستطاعة الإجمالية المتاحة لهذه المحطات حوالي 7518 م.و. منها حوالي 44.36 % بخارية وحوالي 15.31% مائية وحوالي 17.05% مجموعات توليد غازية (تعمل على الغاز) و 23.28% محطة توليد ذات الدورة المركبة (غازية/بخارية). [10] كما هو مبين في الشكل (3-3):



الشكل (3-3)التوزع القطاعي للاستطاعة المتاحة حسب نوع العنفات في سورية لعام 2008 [10]

ويبين الشكل (3-4) محطات التوليد والاستطاعات المتاحة منها في سورية لعام 2009



الشكل (3-4)محطات التوليد الرئيسية والاستطاعات المتاحة منها في المنظومة الكهربائية السورية لعام 2009 [10]

مشاريع محطات التوليد التي تمت خلال 2009:

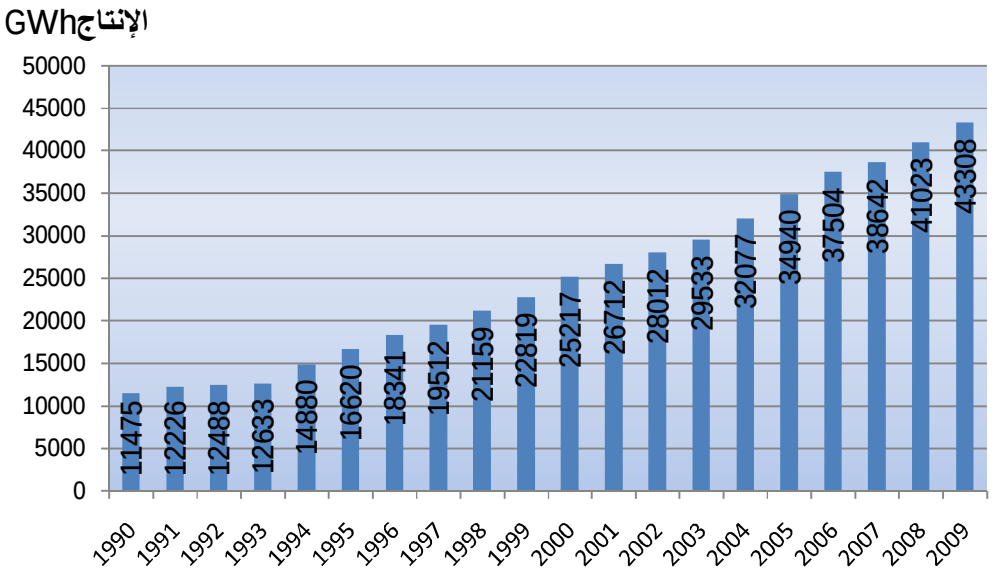
بهدف تلبية الطلب المتزايد على الطاقة الكهربائية وزيادة موثوقية التغذية في المنظومة الكهربائية:

- تم الانتهاء من تنفيذ محطة توليد ذات دورة مركبة في المنطقة الجنوبية (دير علي) باستطاعة 750م.و.
- العمل على إجراء توسع محطة توليد بانياس بإضافة مجموعتين غازيتين باستطاعة 135 م.و. لكل منهما.
- العمل على إجراء توسع محطة توليد تشرين بإضافة مجموعتين غازيتين ومجموعة بخارية باستطاعة 150 م.و. لكل منها تعمل بمبدأ الدورة المركبة.

3-2-2 الطاقة الكهربائية المنتجة:

بلغ إجمالي إنتاج الطاقة الكهربائية 43308 جيغاواط ساعي لعام 2009 مقابل41023 جيغاواط ساعي عام 2008 ، وهذا يعادل نسبة تطور قدرها 5.6%. [10]

ويبين الشكل (3-5) تطور الإنتاج الإجمالي للطاقة الكهربائية من عام 1990 وحتى عام 2009 حيث بلغت نسبة النمو حوالي 7.24 % سنوياً.



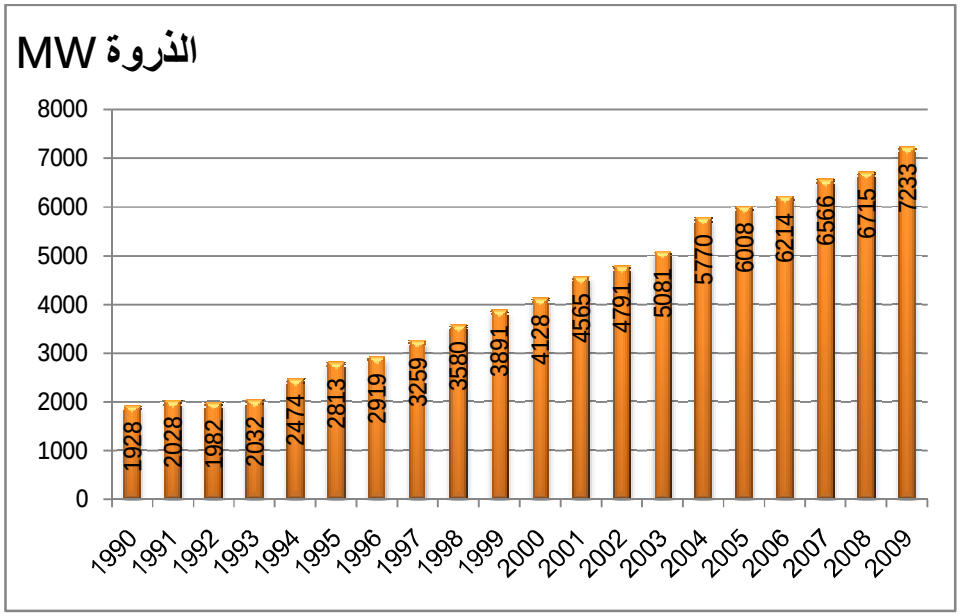
الشكل (3-5) تطور الإنتاج الإجمالي للطاقة الكهربائية [10]

3-2-3:الطاقة المستهلكة:

3-2-3-1:الطلب على استطاعة الذروة:

ازداد الطلب على استطاعة الذروة من (1928 م.و) عام 1990 إلى (7233 م.و) عام 2009 أي بمعدل نمو وسطي 7.2 %سنوياً ، وبنسبة زيادة قدرها 7.6% مقارنة مع العام 2008 .[10].

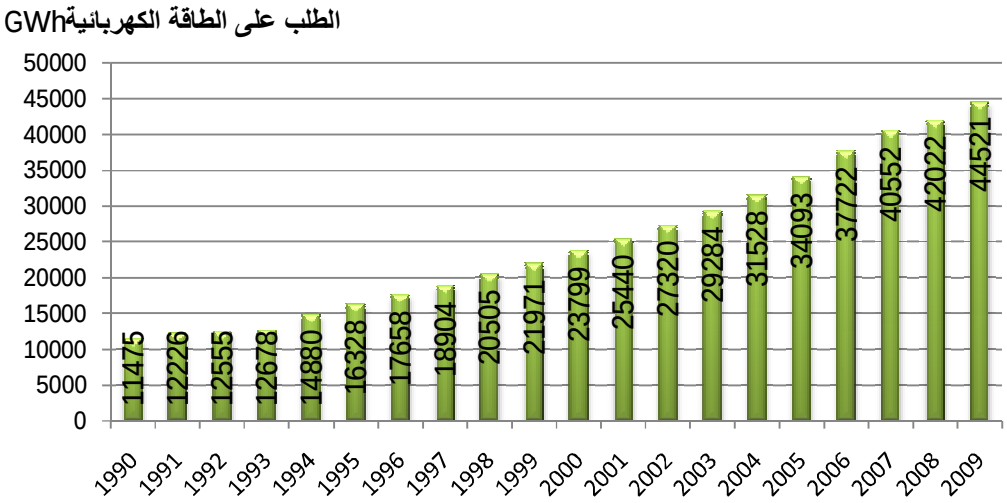
والشكل (3-6) يبين الطلب على الاستطاعة في وقت الذروة .



الشكل (3-6)الطلب على الاستطاعة في وقت الذروة [10]

3-2-3-2: الطلب على الطاقة الكهربائية:

ارتفع الطلب الإجمالي على الطاقة من 42022 جيغا واط ساعي عام 2008 إلى 44521 جيغا واط ساعي عام 2009 بنسبة نمو5.9 % . ويبين الشكل (3-7) تطور الطلب على الطاقة الكهربائية من عام 1990 وحتى عام 2009 وفق نسبة نمو وسطية بحدود 7.4% :[10]



الشكل (7-3) تطور الطلب على الطاقة الكهربائية [10]

3-2-4 نصيب الفرد من الطاقة الكهربائية:

بلغ عدد السكان في الجمهورية العربية السورية لعام 2009 حوالي20367 ألف نسمة وبزيادة مئوية 3.7% عن العام 2008 الذي بلغ فيه عدد السكان حوالي 19644 ألف نسمة.

وبالتالي ازداد عدد المشتركين بالتيار الكهربائي ليصل إلى 5241ألف مشترك في عام 2009 مقارنة بـــ 4997ألف مشترك لعام 2008 وبنسبة تطور 4.9 % .

وازداد نصيب الفرد من الطاقة الكهربائية لعام 2009 ليصل إلى 2147 ك.و.س بنسبة زيادة قدرها 2.8%عن العام 2008 الذي بلغ فيه نصيب الفرد من الطاقة 2088ك.و.س . [10]

الخلاصة: نستخلص من الإحصائيات السابقة وبما أن عدد السكان في ازدياد ملحوظ وبحكم التطور الطبيعي الذي تشهده سورية في القطاعات كافة، فإنه يترتب على ذلك زيادة في الطلب على الطاقة الكهربائية حيث بلغت نسبة الزيادة 5.9% مقارنة بالعام الفائت، الأمر الذي يتطلب تغطية هذا الطلب المتزايد وإنشاء محطات توليد جديدة لمواجهة تطور الحمولات، وكما رأينا فقد ازداد إنتاج الطاقة الكهربائية بنسبة 5.6%، مع ملاحظة ضرورة الإسراع في التعاقد والتنفيذ لمثل هذه المشاريع التي تأخذ بعين الاعتبار التوقعات والتنبؤات المستقبلية لتطور الحمولات.

الفصل الرابع

دراسة مرجعية للبرمجيات المستخدمة في الحسابات

الفصل الرابع: دراسة مرجعية للبرمجيات المستخدمة في الحسابات

تم إنجاز هذا البحث بالاستعانة بعدة برمجيات سترد كالآتي:

4-1- برنامج تحليل وتطبيق أطلس الرياح

:Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP)

4-1-1 لمحة تاريخية

في عام 1987 قدّم قسم طاقة الرياح والفيزياء الجوّي في مختبر Risø الوطني الدانمركي برنامج WAsP كأداة قويَّة لتحليل بيانات الريح وتوليد أطلس رياح وتقدير مناخ الرياح وتحديد موقع عنفات الرياح.

أصبح البرنامج على مرِّ السنين معياراً لتقييم مصادر الرياح وتحديد موقع عنفات الرياح والمزارع الريحية وهو مستخدم في أكثر من 110 بلداً حول العالم.[27]

تم تطوير البرنامج من قبل نفس الفريق الذي نفذ أطلس الرياح الدانمركي، أطلس الرياح الأوروبي والنسخ السابقة من برامج WAsP ، وقد اختُبرت الخوارزميات في برامج WAsP وطُبقت لأكثر من 15 سنة في العديد من بلدان العالم.

ما هو WAsP ؟

WAsP هو برنامج للاستنباط العمودي والأفقي لإحصائيات مناخ الرياح. يحتوي عدّة نماذج لوصف تدفق الرياح على الأراضي والتضاريس المختلفة وحساب تأثير العقبات (العوائق)، تأثير تغيرات خشونة السطح واختلافات ارتفاعات التضاريس على الرياح.

وقبل معرفة كيفية تطبيق هذا البرنامج لابد من التعرف على المنهجية المتبعة في حساب أطلس الرياح فيه.

4-1-2 منهجية حساب أطلس الرياح :[5]

مقدمة:

تتحدد سرعات الرياح المقاسة عند محطات الرصد الجوي بشكل رئيسي بواسطة عاملين هما :

- أنظمة الطقس والتي يمتد تأثيرها إلى مئات الكيلومترات.
- تأثير التضاريس القريبة من المحطة والذي يمتد حتى عشرات الكيلومترات.

إن الاستخدام المباشر لمعطيات الرياح المقاسة في حساب مصادر الرياح يعطي تقديراً للطاقة أو الاستطاعة

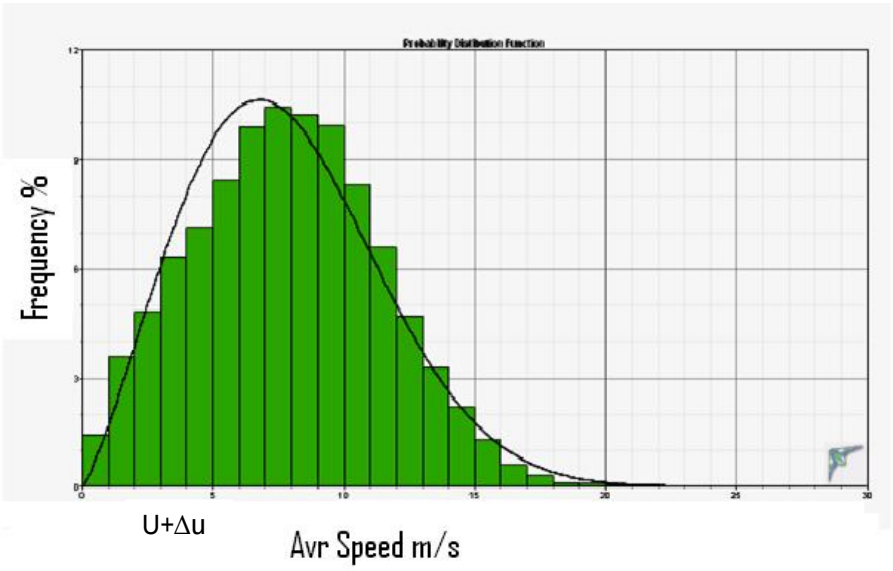
ممثلاً لموقع جهاز قياس سرعة الرياح ويصلح لمئات الأمتار فقط بسبب التغيرات في خشونة الأرض، وتأثير التضاريس، والعوائق القريبة من سطح الأرض. لذلك فإن تعميم إحصائيات الرياح المقاسة على منطقة واسعة (إقليم) يتطلب اتّباع طريقة لإجراء الاستكمال الأفقي والشاقولي لمعطيات الرصد الجوي، وبالتالي لتقدير مصادر طاقة الرياح في منطقة معينة.

إن معلومات الرصد المتاحة بشكل عام لا تدل على الارتفاع والموقع المفضل لنصب عنفة ريحية، لذلك يتطلب الأمر وضع طريقة لإنجاز التعميم الأفقي والشاقولي للمعطيات المرصودة على منطقة ما بعيدة عن موضع الرصد.

وتتضمن المنهجية المتبعة في الأطلس الخطوات الآتية :

1- إن البداية الأساسية للتحليل هي المعطيات المقاسة لسرعات الرياح واتجاهاتها، ويكفي لهذا الغرض أن تؤخذ قياسات الرياح بحيث تغطي فترة زمنية طويلة، وبالتالي فإننا نحصل على سلسلة زمنية للرياح، تنسق في جداول تكرارية وفقاً للسرعة (متر/ثانية) والاتجاه ، ولاثني عشر قطاعاً اتجاهياً. [5]

وقد بينت الدراسات الإحصائية أن توزع تكرار الرياح يتوافق مع تابع ويبل Weibull الاحتمالي حيث يتحدد أي توزع للرياح بإيجاد عوامل هذا التابع وهما عامل شكل توزع الرياح k (وهو عدد لا بعدي)، وعامل سرعة الرياح A(متر/ثا). وتكمن أهمية إيجاد التوزع الاحتمالي في أنه إذا تعين التابع الاحتمالي لموقع معين يمكن حساب متوسط الاستطاعة السنوية الناتجة لأي عنفة ريحية (والتي يعرف منحني استطاعتها من الشركة الصانعة) وذلك بتكامل جداء منحني التابع مع منحني الاستطاعة للعنفة، وهكذا نحصل على إحصائيات المعلومات الأولية من محطة القياس الشكل (1-4).



2- وتكون الخطوة التالية إعطاء وصف مفصل للمحطة، وللبيئة المحيطة بها وفق كل قطاع اتجاهي ويتضمن ذلك :

- تحديد ارتفاع مقياس الرياح .

- وصف نوع الأرض :مناطق مياه، مزارع مفتوحة، غابات ... والتي تعبر عن مظاهر خشونة سطح الأرض.

- العوائق القريبة من محطة القياس والمؤثرة على الرياح، مثل الأبنية و مصدات الرياح .

- التضاريس : (تغيرات ارتفاع سطح الأرض).

3- وتكون الخطوة الأخيرة باستخدام النماذج الفيزيائية لتوزع سرعات الرياح مع الارتفاع في الطبقة الحدية، وللاضطراب المتحرض، وخشونات السطح المختلفة وتدفق الحرارة السطحي ومعيقات الرياح الناتجة عن العوائق القريبة من محطة القياس.

وتصحح معطيات الرياح المقاسة للسرعة والاتجاه فيما إذا قيست في حالة عدم وجود عوائق قريبة منها وأن الأرض منبسطة حولها، وتشكل حسابات سرعة الرياح واتجاهها عند الارتفاعات القياسية الآتية (200، 100، 50 ، 25، 10متر) المعطيات الأساسية للحسابات المتعلقة بمناخ الرياح لمنطقة واسعة (إقليم)، لأنه خلال إجراءات التصحيح

(التحويل)ستتحرر قدر الإمكان مجموعة المعطيات من تأثير عدم التجانس في سمات السطح المحلية، وتصبح ممثلة للإقليم.

ويعتمد تمثيل المعطيات المصححة(المحولة) للمنطقة على درجة تعقيد التضاريس المحيطة بمحطة القياس. حيث يتناقص تمثيل المحطة بشكل كبير بزيادة تعقيد التضاريس المحيطة بها، ومن أجل ذلك يجب تمييز المحطات للحكم على إمكانية تطبيق المعطيات المصححة على المناطق المحيطة بها .

وقد تم هذا من خلال تصنيف التضاريس إلى خمس أنواع منها الشكل(2-4) و (3-4) على أساس تأثير كل منها على جريان الرياح في الطبقة الحدية وهي:

1- منطقة منبسطة حيث تتعدل الرياح قرب سطح الأرض نتيجة لخشونة سطح الأرض والعوائق فقط كما في الشكل(2-4).

2- مناطق تلية متموجة بلطف وبعيدة عن الجبال، والأبعاد الأفقية للتلال أصغر من بضعة كيلومترات، حيث تتعدل الرياح قرب سطح الأرض نتيجة لخشونة سطح الأرض وتأثير العوائق وتسارع الرياح المتحرضة بواسطة التلال.

الشكل(2-4) منطقة منبسطة[5]

3- مناطق مرتفعة متموجة بشكل كبير وتمتد الأبعاد الأفقية للتلال فيها إلى عدة كيلومترات، حيث تتعدل الرياح فيها قرب سطح الأرض بشكل مماثل للنوع 2 بالإضافة إلى أن المظاهر التضريسية الأكبر قد تحرض تغيرات قوية في الطبقة الحدية بكاملها الشكل (3-4).

الشكل (3-4) مناطق مرتفعة متموجة [5]

4- مناطق سفوح الجبال ذات الانحدار الشديد حيث تحدث فيها أنظمة جريان دائمة واضحة وذلك بسبب العمليات المشابهة للتأثير النفقي وشدة حركة الهواء.

5- الجبال العالية التي تفصل بينها وديان عميقة حيث يمكن أن تمثل الرياح عند قممها الجو الحر في حالات معينة وتسود رياح الوادي في الوديان نتيجة للتحريض الحراري، وتكون رياح الوديان منفصلة عن رياح الغلاف الجوي الحر.

ونتيجة لذلك فإن الإحصائيات المصححة (المحولة)لمحطات القياس التي تقع في مناطق من النوع (1) ، (2) يمكن تطبيقها في منطقة مساحتها(200x200 كيلو متر مربع) [5]، أما في المناطق من النوع (3) و(4)

فتطبق لمساحات مساوية أو أصغر، ويعتمد ذلك على وضع المحطة المختارة، والتي غالباً ما تكون في مناطق الوديان العريضة، أو سفوح التلال التي يتدرج الارتفاع فيها حتى تبلغ الكتل الجبلية الضخمة. وأخيراً فإن الإحصائيات المصححة (المحولة) للمحطات الواقعة في المناطق من النوع (5) لا تمثل إلا منطقة قليلة من المحطة.

ويبين الشكل (4-4)مخططاً لنموذج التحليل (التصحيح) في أطلس الرياح حيث تدخل المعطيات المناخية المقاسة للمحطة (عند الجانب الأيسر الأعلى من الشكل)، وينجز تحويل معطيات الرياح على قطاعات التوزع التكراري لسرعات الرياح وفق كل قطاع. ومن أجل هذه الغاية تحسب النماذج الفيزيائية للتأثيرات الموضعية بالاعتماد على الوصف المفصل لموقع القياس (ارتفاع مقياس الرياح، أنواع الخشونة والمسافات التي تشغلها في كل قطاع، خريطة رقمية لخطوط تساوي ارتفاع التضاريس) وتظهر النتيجة في المستطيل السفلي على يسار المخطط على شكل معطيات إحصائية لمناخ الرياح الإقليمي.

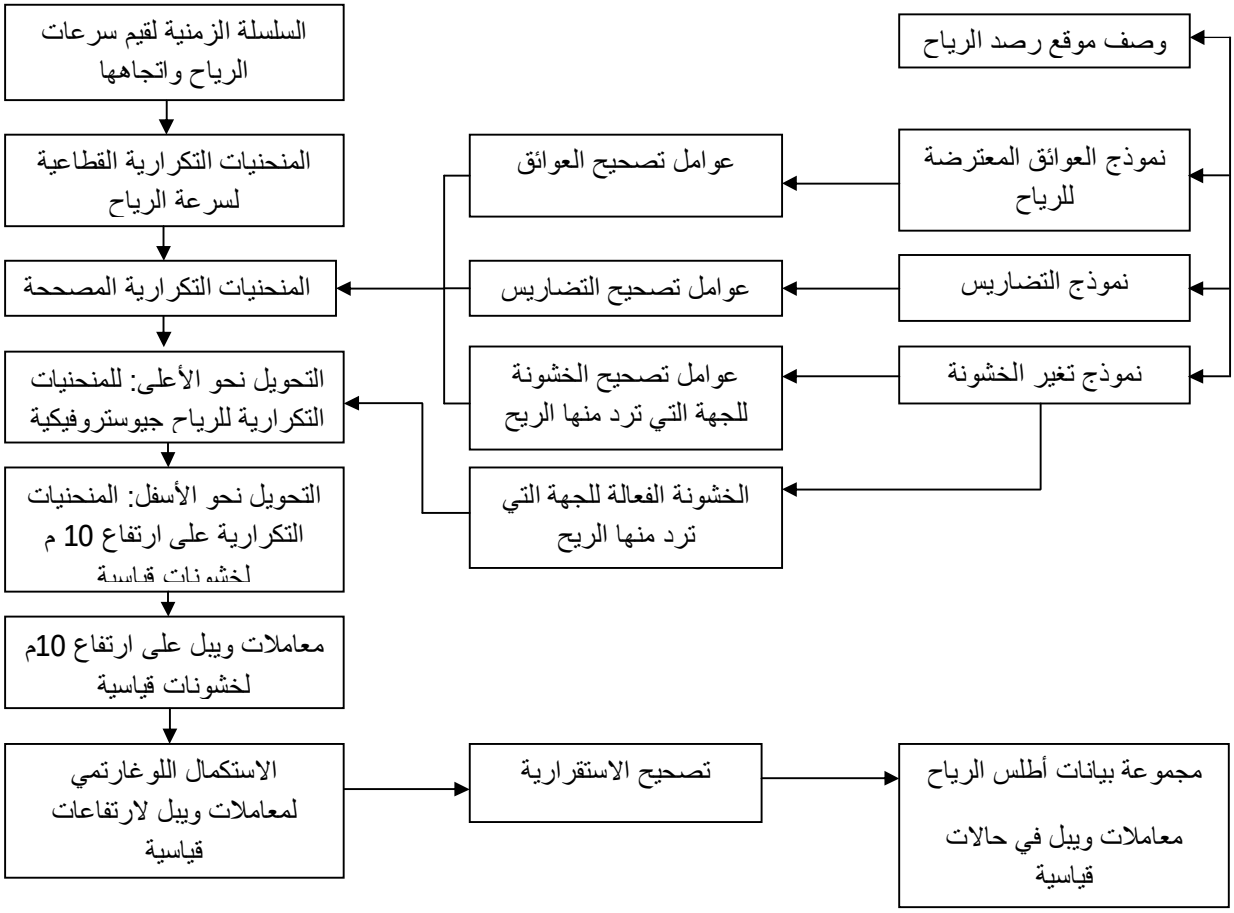
ولاستخدام هذه المعطيات لحساب الطاقة الناتجة عن عنفة ريحية تجري الحسابات بشكل معاكس كما هو مبين في الشكل (4-5) فبدءاً من وصف الموقع المراد إقامة عنفة ريحية عنده (في اليمين أعلى المخطط)، تدخل معطيات المناخ الريحي الإقليمي من التحليل الموجود في أطلس الرياح (في الشكل (4-4)على الجانب اليميني السفلي) ومن ثم يعطي النموذج تنبؤاً عن إحصائيات الريح في الموقع المطلوب وذلك باستخدام النماذج الفيزيائية نفسها المستخدمة في التحليل.

إن أي تطبيق للمعطيات المناخية يجب أن يأخذ بعين الاعتبار تقلبات المناخ وتأثير ذلك على سرعة الرياح، وقد بينت الدراسات أن هذه التقلبات يمكن أن تصل إلى 30% بين عقد وآخر، وأن التغيرات الناتجة بين سنة وأخرى يصل انحرافها المعياري إلى 13% [5].

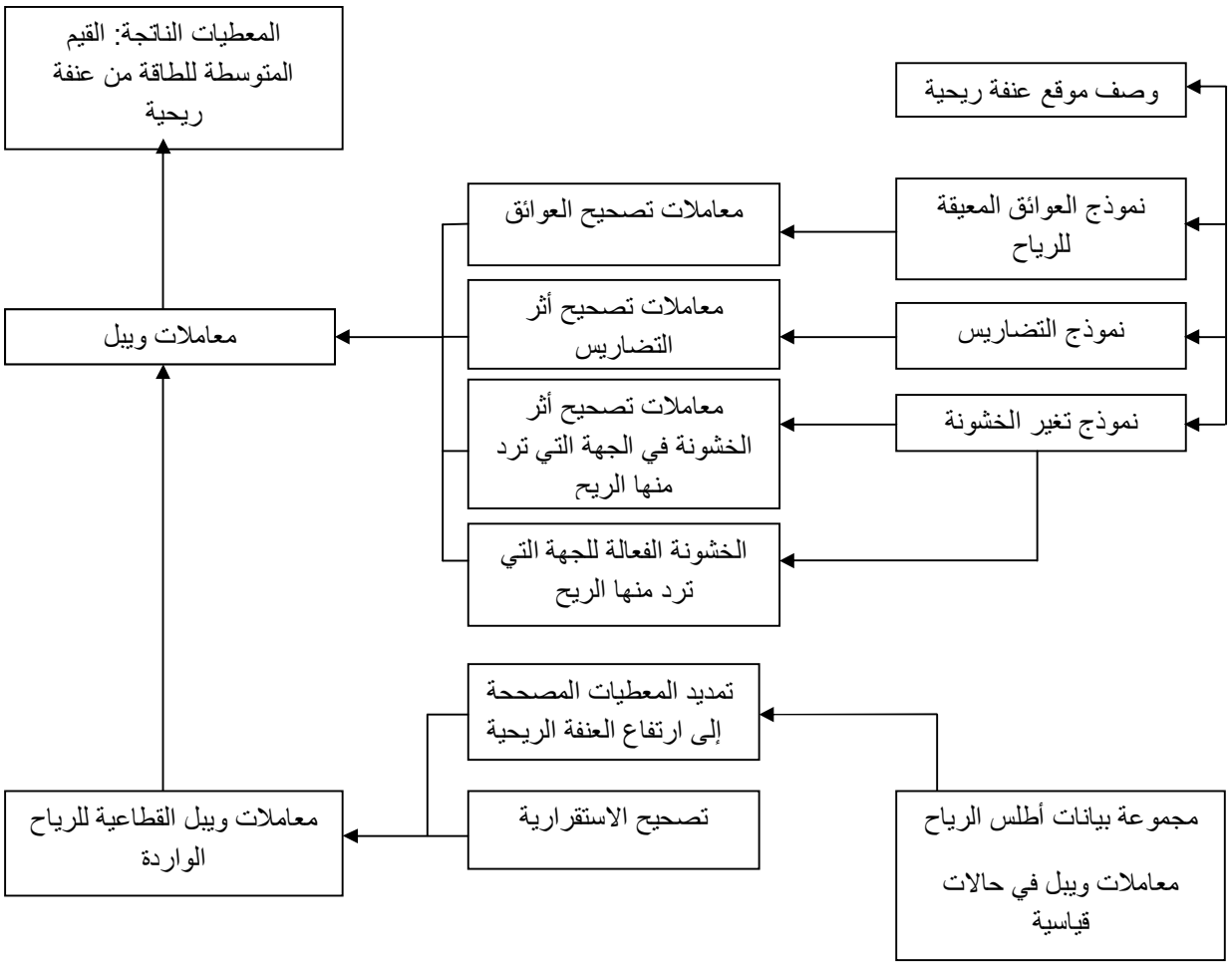
لذلك يجب أخذ مثل هذه التغيرات بعين الاعتبار في التقييم الاقتصادي للاستفادة من طاقة الرياح إلا أنه بالمقارنة مع العوامل الأخرى مثل نسبة الفائدة وأسعار الوقود فإن الارتياب في دقة مصادر الرياح ليس كبيراً بالنسبة لعمر عنفة الرياح الذي هو حوالي عشرين سنة وقد وجد بالاعتماد على الدراسات المتعلقة بمجمل العوامل السابقة أن متوسط استطاعة الرياح يصل انحرافها إلى 10% أو أقل من عشرين سنة إلى أخرى[5].

تعتمد موثوقية حساب استطاعة الرياح باستخدام إحصائية أطلس الرياح على موثوقية المعطيات من محطات الرصد (القياس) التي استنتجت منها هذه الإحصائيات، ويمكن تقييم نوعية المعطيات هذه بواسطة أوصاف محطة الرصد ومجموعة المنحنيات التي سميت بالبصمات المناخية للرياح، حيث تبين هذه المنحنيات

التغيرات اليومية والشهرية والسنوية ومتوسط سرعة الرياح ومتوسط الاستطاعة التي تحويها، بالإضافة إلى وردة الرياح والانحراف من شهر لآخر لمتوسط سرعة الرياح ومتوسط الطاقة عن المتوسط السنوي، ويمكن الإحصاء الأخير " الانحراف من شهر لآخر لمتوسط سرعة الرياح ومتوسط الطاقة عن المتوسط السنوي "من الحكم على التغيرات خلال السنة عند محطة ما وبالتالي فإما أن تهمل هذه التغيرات أو تعالج بعناية خاصة مع الأخذ بعين الاعتبار الاتجاه العام للسلسلة الزمنية لمعطيات الرياح.



الشكل (4-4) مخطط تمثيلي لنموذج تحليل أطلس الرياح[5]



الشكل (5-4) مخطط تمثيلي لنموذج تطبيق أطلس الرياح[5]

4-1 -3 مفاهيم عامة في تقييم طاقة الرياح:[5]

يتراوح تقييم الرياح ما بين التقدير الكلي لمتوسط الطاقة الناتجة عن الرياح فوق منطقة واسعة نسبياً ويسمى هذا بالتقييم الإقليمي (***Regional***)، وبين تقييم متوسط الطاقة الناتجة من عنفة ريحية متوضعة في مكان معين ويسمى هذا بالتوضيع (***Siting***). إلا أن المعلومات الضرورية من أجل التوضيع يجب أن تكون مفصلة أكثر في حالة التقييم المحلي، ومع هذا يشترك كلا النوعين في احتياجهما لاستخدام المفاهيم العامة لتحليل التضاريس، ومناخات الرياح الإقليمية لذلك من الضروري وضع تصنيف وصفي لخواص التضاريس من أجل حساب تأثيراتها المختلفة على الرياح.

تتأثر الرياح بشكل كبير بالعوائق التي تقع في طريقها ويمتد هذا التأثير حتى ثلاثة أضعاف ارتفاع العائق بالاتجاه العمودي وإلى 30-40 ضعفاً من ارتفاع العائق باتجاه الرياح خلف العائق [5] فإذا كان الموقع

المراد دراسة الرياح عنده يقع ضمن هذه المنطقة فمن الضروري الأخذ بعين الاعتبار تأثير هذا العائق على الرياح .

إن مجموع تأثير سطح الأرض والعوائق، والذي يؤدي إلى إعاقة للرياح قرب الأرض يسمى خشونة السطح. وما التغطية النباتية والأبنية إلا مثال للعناصر التضاريسية التي تساهم في الخشونة .

وتؤدي عناصر الخشونة الأخرى مثل الهضاب، الجروف، المنحدرات وسلاسل الجبال إلى تأثير إضافي على الرياح، فقرب قمة هذه التضاريس تتسارع الرياح بينما تتباطأ قرب سفوحها .

وبالتالي فمن أجل موقع معين هناك ثلاثة تأثيرات رئيسية على الرياح ناتجة عن السمات السطحية للأرض وهي: تأثير العوائق وتأثير الخشونة وتأثير تضاريس الأرض. وبشكل عام من الضروري تحديد هذه التأثيرات وأخذها بعين الاعتبار عند حساب الطاقة الكامنة للرياح .

4-1-3-1 خشونة سطح الأرض :

تتعين خشونة سطح ما بأبعاد عناصر الخشونة التي يحويها هذا السطح وتوزعها، وهي المزروعات والمساحات المبنية وسطح التربة. وقد قسمت الخشونات المختلفة في الأطلس إلى أربعة أنماط يتصف كل منها بنوعية عناصر الخشونة التي يحويها ويمثل كل نمط صنف للخشونة، ويعبر عادة عن الخشونة بمقدار يرمز إليه (z_0) ويسمى طول الخشونة أو معامل الخشونة ويعرف بأنه الارتفاع عن سطح الأرض الذي تصبح عنده سرعة الرياح صفر. وأصناف الخشونة الأربعة هي :

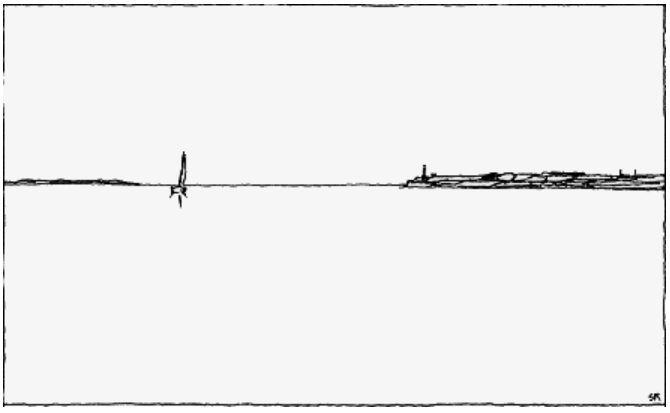
أ- صنف الخشونة من النمط (0) صفر: وهي المسطحات المائية $(z_{0=0.0002\ m})$، شكل(4-6).

ب- صنف الخشونة من النمط (1) واحد : مناطق مفتوحة، منبسطة أو متموجة بشكل بسيط تحوي مصدات قليلة، ويمكن أن يتواجد فيها مزارع منفردة وصفوف من الأشجار والأجمات "الغابات الصغيرة" $(z_{0=0.03\ m})$، شكل(4-7).

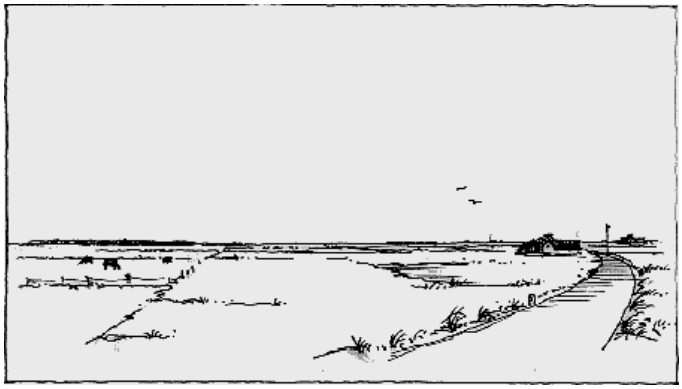
ت- صنف الخشونة من النمط (2): أراض زراعية تحوي مصدات يفصل بينها مسافة تزيد عن 100م تقريباً ويتميز سطح الأرض بوجود مناطق مفتوحة واسعة بين المصدات ويمكن أن يكون سطح الأرض منبسطاً أو متموجاً وهناك الكثير من الأشجار والأبنية $(z_{0=0.1\ M})$، شكل(4-8).

ث- صنف الخشونة من النمط (3) : مناطق المدن والغابات والأراضي الزراعية $(z_{0=0.4\ M})$ ذات المصدات المتقاربة فيما بينها بمسافة وسطى أقل من 100م ، شكل(4-9).

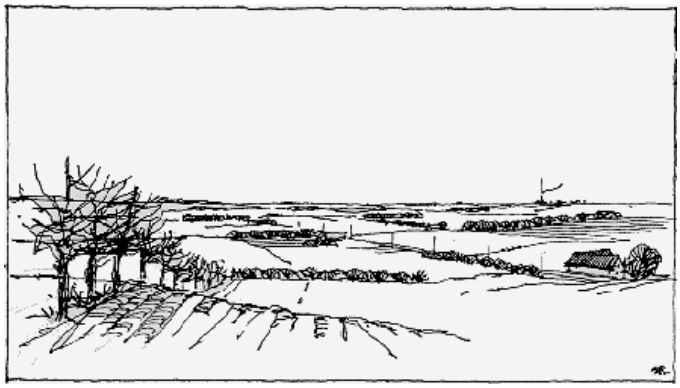
كما يبين الشكل (4-10) المجالات المقابلة لمعاملات الخشونة المختلفة.



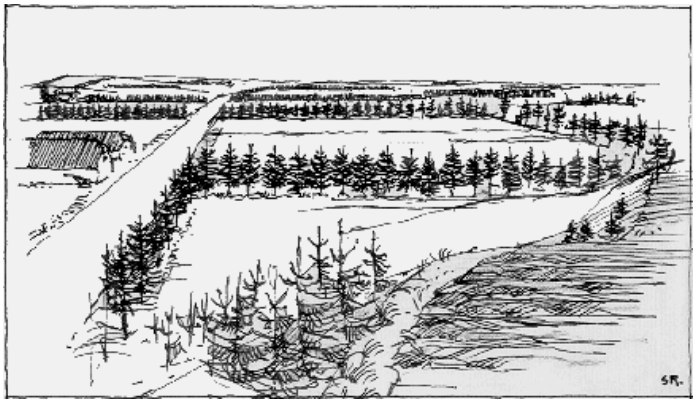
الشكل (4-6) صنف الخشونة (0)صفر [5]



الشكل (4-7)صنف الخشونة(1) [5]



الشكل (4-8) صنف الخشونة (2) [5]



[5] (3) الشكل (4-9) صنف الخشونة

ويمكن حساب طول الخشونة z_0 بواسطة العلاقة التجريبية التي أوجدها ليتو (*Lettau 1969*) حيث تتميز عناصر الخشونة بارتفاعها h وسطح مقطعها المواجه للرياح s وبكثافة العناصر الموزعة التي يعبر عنها بمتوسط المساحة الأفقية A_H لكل عنصر وبالتالي فإن :

$$z_0 = 0.5 \frac{h*S}{A_H} \qquad (4\text{-}1)$$

وتعطي هذه العلاقة تقديرات مقبولة لـــ z_0 إذا كان $A_H \gg S$ أما إذا كانت A_H من رتبة S فإنها تعطي تقديرات مغالى بها لـــ z_0 . وسبب ذلك أنه عندما تكون عناصر الخشونة قريبة من بعضها فإن الجريان سيتراح فوقها، وعند ذلك لن يساهم سوى جزء من S و h بالخشونة. إضافة لذلك فإن انزياح الجريان يتطلب أن يؤخذ القياس من نقطة بين قمة عناصر الخشونة ونصف ارتفاعها ويدعى هذا الارتفاع بـــ"طول الإزاحة" ويجب أخذه بعين الاعتبار في حالة الغابات و المدن والمزروعات العالية.

وأخيراً تفترض العلاقة (4-1) أن مسامية عناصر الخشونة مساوية للصفر تقريباً أي أن عناصر الخشونة صلبة، لذلك من أجل عناصر ذات النفوذية فإن العلاقة (4-1) يجب أن تخفض بنسبة مساوية للمسامية.

ويشير الشكل (4-10) إلى العلاقة بين معامل الخشونة وخواص السطح وصنف الخشونة وقد أشير إلى أصناف الخشونة بقطع مستقيمة شاقولية يعطي منتصفها القيم المرجعية للخشونة ويشير طول القطعة المستقيمة إلى المدى النموذجي للارتياب في تقدير الخشونة .

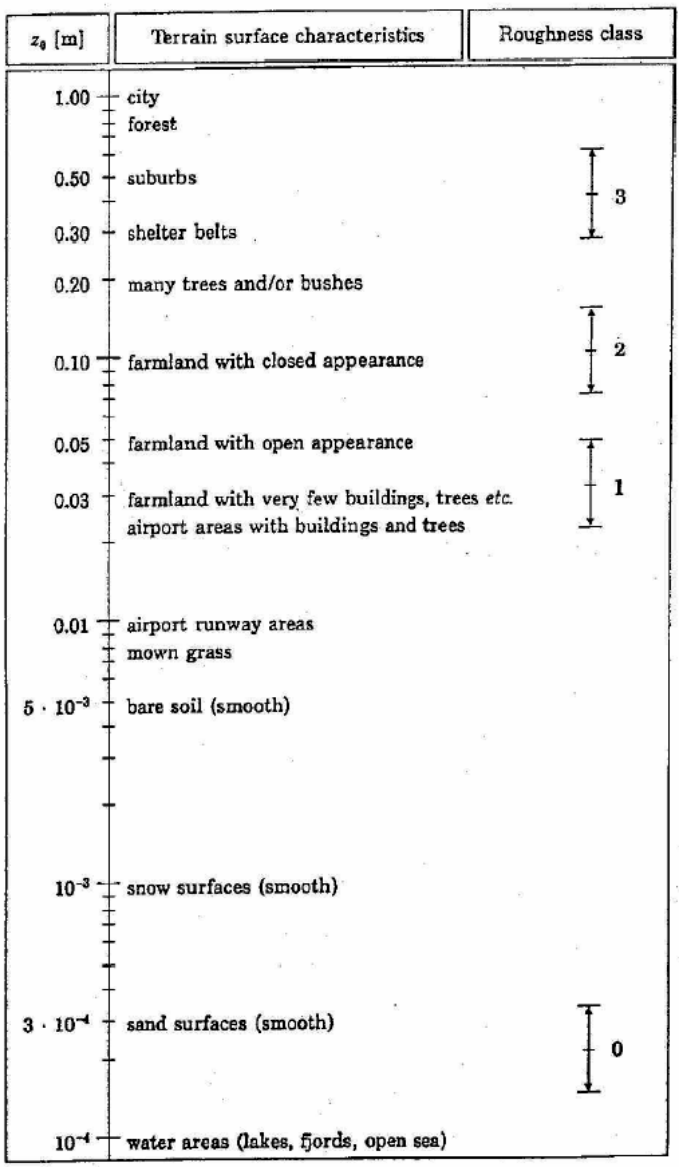
يتغير طول خشونة سطح مغطى بالنباتات مع سرعة الرياح، فعلى سبيل المثال انحناء ساق النباتات بواسطة الرياح يغير شكل الأرض. كما تحدث ظاهرة مشابهة لأمواج المياه حيث أن كلاً من ارتفاع وشكل الموجة يعتمد على سرعة الرياح وقد وجد شارنوك (*Charnook 1955*) بواسطة التحليل البعدي خشونة السطح المائي بعد إهمال تأثير اللزوجة والتوتر السطحي بالشكل الآتي :

$$z_0 = b \frac{{u_*}^2}{A_H} \qquad (4\text{-}2)$$

حيث b ثابت يساوي تقريبا 0.014 و g تسارع الجاذبية الأرضية و u_* السرعة الاحتكاكية A_H متوسط المساحة الأفقية لكل عنصر خشونة.

ويجب أن نلاحظ بشكل عام أن معاملات الخشونة تعتبر كمعامل مناخي بسبب أن خشونة السطح تتغير مع نمو الأوراق والتغطية النباتية والتغطية الثلجية الخ.... ويجب تعيين الطاقة الناتجة عن عنفة ريحية على

أساس مناخي بسبب تغيرات الطقس وذلك لأن التغيرات الفصلية في خواص سطح موضع معين لها تأثير واضح على إنتاج الطاقة.



الشكل (10-4) معامل الخشونة وخواص سطح الأرض و أصناف الخشونة[5]

4-1-3-2 تأثير العوائق:

يعرف تأثير العوائق بأنه التناقص النسبي في سرعة الرياح بسبب العوائق السطحية والتي يعتمد تأثيرها على العوامل الآتية:

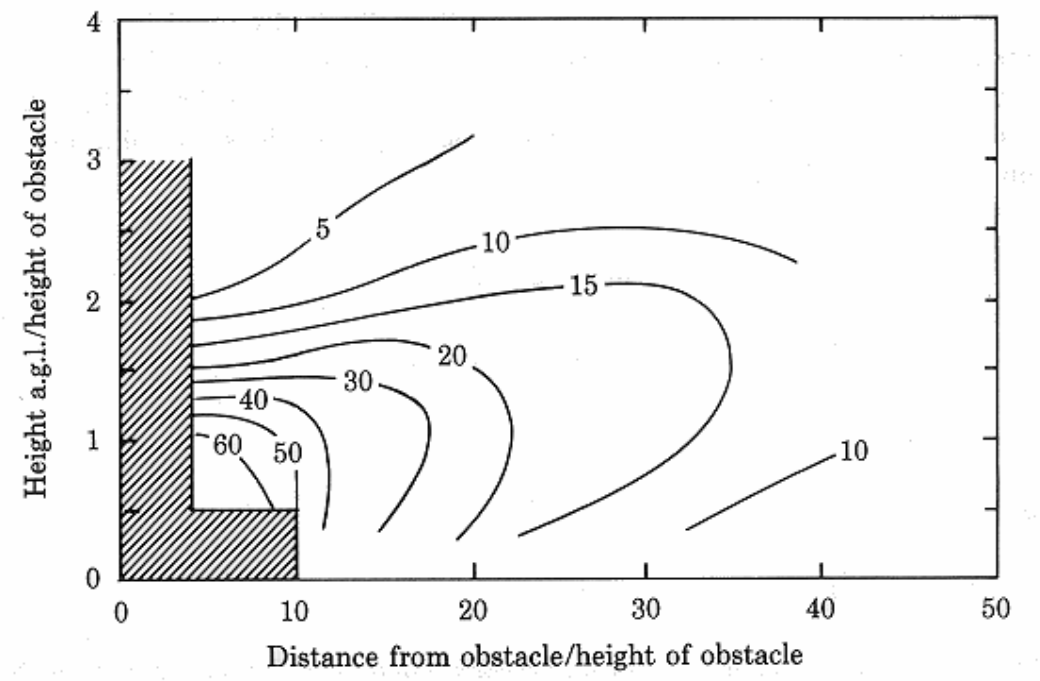
أ- بعد العائق عن الموضع (X)

ب- ارتفاع العائق (h)

ت- طول العائق (L)

ث- نفوذية العائق (p)

ويبين الشكل (4-11) تناقص سرعة الرياح النسبي بسبب عائق ذي بعدين طوله غير محدود ونفوذيته صفر. ويتناقص تأثير العائق مع تناقص أبعاده وزيادة مساميته.



الشكل (4-11) النسبة المئوية لتناقص السرعة النسبي بسبب عائق ذي بعدين بالاعتماد على تجربة بيريرا 1981[5]

ويعتمد تأثير العائق إلى حد كبير على التفاصيل الهندسية للعائق بالإضافة إلى أن سرعة الرياح تزداد عادة قرب وفوق العائق بشكل مشابه لازدياد السرعة فوق الهضاب.

وكقاعدة عامة يمكن وضع النفوذية مساوية للصفر من أجل الأبنية وتقريباً 0.5 للأشجار، ولصف من الأبنية المتشابهة المسافة الفاصلة فيما بينها ثلث طول البناء فإن نفوذيتها حوالي 0.33 ، وتطبق القيم الموجودة في الجدول (4-1) من أجل مصدات الرياح وتتغير نفوذية الأشجار مع ظهور الأوراق التي تتغير مع التغيرات السنوية للنباتات لذلك يجب اعتبار المسامية كمعامل مناخي كما اعتبرنا معامل الخشونة.

الجدول (4-1) عامل النفوذية بالنسبة لأجسام مختلفة [5]

المظهر	النفوذية
صلب – جدار	*0*
أشجار كثيفة جداً	*=< 0.35*
أشجار كثيفة	*0.35-0.5*

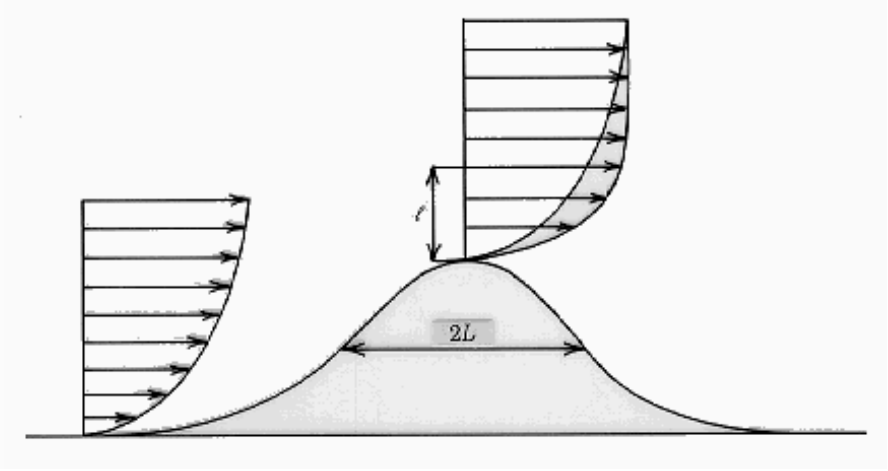
ويؤخذ تأثير النفوذية p $(0 \leq p \leq 1)$ بشكل تقريبي بواسطة الضرب بـــ $(1-p)$. كما أن هناك اعتباراً آخر يتعلق بتصحيح معطيات الرياح وهو طول العائق L (أو البعد الجانبي) فأكثر المعطيات التجريبية بما فيها معطيات بيريرا 1981 تهتم بحزام من العوائق ذات طول غير محدود إلا أن تأثير الإعاقة الناتج عن عائق محدود الطول يتناقص بسبب المزج الجانبي الناتج عن اضطراب الرياح خلف العائق (والذي يطلق عليه أثر المخر أو الصحوة *Wake*) هذا من ناحية ومن ناحية أخرى فإن تأثير العائق على متوسط سرعة الرياح في قطاع زاوي معطى يتناقص بسبب البعد الزاوي المحدود للعائق كما يرى من الموضع.

4-1-3-3 تأثير التضاريس المحلية (تضرس الأرض أو تغير ارتفاعات سطح الأرض حول الموقع):

يخضع جريان الهواء عند اجتياز الحواجز الطبوغرافية كالهضاب إلى تغيرات تؤدي إلى ازدياد سرعة الرياح عند قمة الهضبة وإلى تغير في سرعة الرياح مع الارتفاع (بروفيل السرعة). وقد ثبت ذلك من خلال عدة تجارب عالمية حيث بينت المقارنات بين سرعة الرياح قبل الهضبة وعليها ما يلي:

إن ازدياد السرعة النسبي عند قمة الهضبة يصل إلى 80% بالمقارنة مع سرعة الرياح قبلها كما أن تناقص السرعة النسبي في الجهة المقابلة للرياح و الجانب المحمي للهضبة عند سفح الهضبة يتراوح بين 20% إلى 40% بالمقارنة مع سرعة الرياح الواردة على الهضبة (قبل الهضبة).فإذا رمزنا لسرعة الرياح عند الارتفاع نفسه عند قمة الهضبة وقبلها بـــ $u2$ و $u1$ (حيث الهضبة بسيطة وعمودية على اتجاه الرياح وملساء) كما هو مبين في الشكل (4-12) فيعرف معامل التغير النسبي لسرعة الرياح ΔS كما يلي:

$$\Delta S = \frac{U_2 - U_1}{U_1} \qquad (4\text{-}3)$$



الشكل(4-12)جريان الهواء فوق هضبة مثالية مع منحني تغير السرعة مع الارتفاع في الاتجاه الذي ترد فيه الرياح قبل الهضبة وعليها [5]

وقد أشير إلى مقياس طولين مميزين للجريان بـــ L هو الطول المميز للهضبة حيث 2L هو عرض الهضبة عند منتصف ارتفاعها و l الارتفاع الذي تحدث عنده زيادة نسبية عظمى لسرعة الرياح.

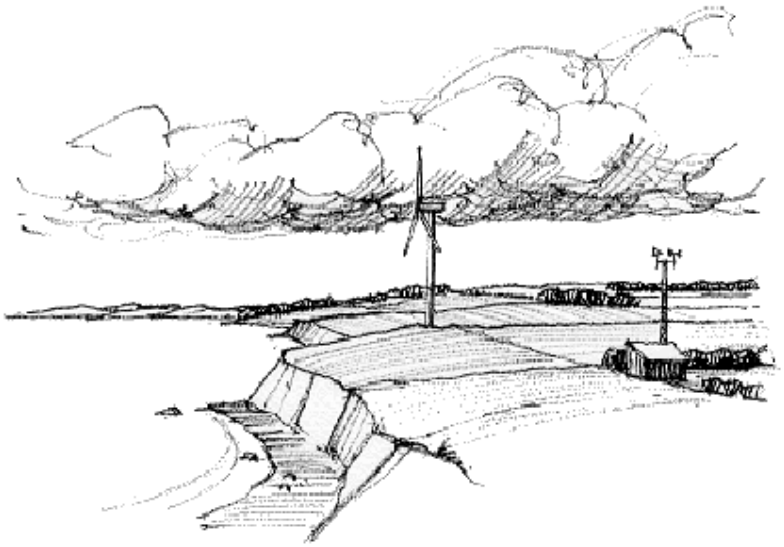
ويبين الشكل(4-12) أن تغير سرعة الرياح مع الارتفاع (بروفيل السرعة) يكون بشكل لوغاريتمي بينما يخضع لتغيرات هامة مع حدوث سرعة نسبية عظمى عند الارتفاع l فوق الهضبة ويكون بروفيل الرياح ثابتاً مع الارتفاع فوق l حتى تصل سرعة الرياح إلى سرعة التيار الوارد فوق الهضبة عند الارتفاع 2L حيث L هو الطول المميز للهضبة، الطول 2L هو عرض الهضبة عند منتصف ارتفاع الهضبة كما هو مبين في الشكل(4-12) وقد وجد جنسن وزملائه (Jensen etd 1984) صيغ تقريبية لحساب ΔS و l على الشكل الآتي :

$$\Delta S \approx 2\,{}^{h}/_{L} \qquad (4\text{-}4)$$

$$l \approx 0.3 \cdot Z_0 \left(\frac{L}{Z_0}\right)^{0.67} \qquad (4\text{-}5)$$

وتطبق هذه المعادلات بصورة جيدة في حالة كون طول الهضبة العمودي على اتجاه الرياح أكبر بكثير من L وبالتالي تعتبر هذه المسألة ذات بعدين. يتبين من المثال السابق أن الهضاب تؤثر بشكل واضح على جريان الرياح ويجب أخذ هذا التأثير بعين الاعتبار بدقة قدر الإمكان، ولكن يجب أن ندرك أن كل تغير في ارتفاع سطح الأرض يؤثر على الجريان فازدياد 5% في الارتفاع يؤثر بقدر 15% من الاستطاعة المتاحة. في الغالب من الصعب – إن لم يكن مستحيلاً – تطبيق معادلات بسيطة (4-4) و (4-5) لتعيين مصادر الرياح عند مواقع معينة، لهذا السبب من الضروري في أغلب الحالات استخدام النماذج العددية للحساب، وفي بعض الحالات يكون المعنى الدقيق لـــ (الارتفاع فوق سطح الأرض) غير واضح، فإذا اعتبرنا عنفة ريحية فوق هضبة منخفضة وكان ارتفاع الهضبة صغير جداً بالمقارنة مع ارتفاع محور العنفة وكانت حواف الهضبة تميل بشكل شديد فيمكن في هذه الحالة اعتبار الهضبة قاعدة للعنفة ويضاف ارتفاعها إلى ارتفاع محور العنفة، أما إذا كانت الأبعاد الشاقولية والجانبية للهضبة كبيرة بالنسبة لارتفاع محور العنفة فسيختلف الوضع ويصبح ارتفاع محور العنفة هو الارتفاع فوق قمة الهضبة.

مثال آخر مبين في الشكل (4-13) وهو لعنفة ريحية نصبت قرب جرف مقارب للبحر فقد يتصور أنه يمكن استخدام الرياح القادمة من البحر وذلك باعتبار الارتفاع المطلوب هو من سطح الماء إلى محور العنفة إلا أن هذا خطأ تماماً لأن الرياح تتأثر بالجرف قبل الاصطدام به بمسافة طويلة لذلك يجب أخذ الارتفاع اعتباراً من سطح الأرض إلى محور العنفة.[5]



الشكل (4-13) عنفة ريحية قرب جرف مقابل للبحر [5]

4-1-4 الأسس الفيزيائية لأطلس الرياح:[5]

4-1-4-1 قوانين التشابه للطبقة السطحية :

تدعى الطبقة السطحية الأقرب للأرض الطبقة الحدية الجوية، ويتراوح عمق هذه الطبقة بين 100م تقريباً في الليالي الصافية التي تكون سرعة الرياح فيها منخفضة ويصل إلى ما يزيد عن (2) كم في أيام الصيف الصافية. ويدعى الجزء الأسفل في هذه الطبقة بالطبقة السطحية، والتي تعرف أحياناً بالطبقة التي يكون فيها الاحتكاك ثابتاً وتحتل سماكة هذه الطبقة حوالي 10% من عمق الطبقة الحدية.

ومن أجل دراسة المناخ المتعلق باستثمار طاقة الرياح فإننا نستطيع إهمال السرعات المنخفضة ونعتبر فقط الحالات التي يكون فيها عمق الطبقة الحدية الجوية حوالي (1) كم وتطبق فيزياء الطبقة السطحية على الـــ100م الأولى من هذه الطبقة.

عندما تكون سرعة الرياح عالية فإن تغيرات السرعة مع الارتفاع (بروفيل السرعة) فوق أرض منبسطة ومتجانسة، يمكن أن تصاغ بشكل جيد بواسطة القانون اللوغارتمي.

$$u(z) = \frac{u_*}{k} \ln \frac{z}{z_0} \qquad (4\text{-}6)$$

حيث $u(z)$ تمثل سرعة الرياح عند الارتفاع Z فوق سطح الأرض، Z_0 طول الخشونة السطحية (أو معامل الخشونة) و k ثابت فون كارمان وقد أخذت قيمته هنا 0.40 وتدعى u_* السرعة الاحتكاكية

$$|\tau| = \rho u_*^2 \qquad (4\text{-}7)$$

حيث ρ كثافة الهواء. و عندما تكون سرعة الرياح معتدلة وعندما يزداد الارتفاع بضع عشرات من الأمتار فإن تغير سرعة الرياح مع الارتفاع ينحرف عن الشكل اللوغارتمي، وسبب ذلك هو تأثير القوى الطفوية الناتجة عن ديناميكية الاضطراب، وعندها لا تصبح خشونة السطح المعامل الوحيد الذي يميز سطح الأرض ولكن يجب أن يضاف إليها معاملات أخرى تصف تدفق الحرارة السطحية، فمع تبرد السطح ليلاً يقل الاضطراب وتزداد سرعة الرياح مع الارتفاع، وعلى العكس من ذلك فإن التسخين خلال ساعات النهار يؤدي إلى ازدياد الاضطراب ويكون تغير السرعة أكثر ثباتاً مع الارتفاع ولأخذ هذه الحالات بعين الاعتبار يعمم القانون اللوغارتمي (4-6) من خلال نظرية التشابه حيث يعطى تغير السرعة مع الارتفاع بالعلاقة :

$$u(z) = \frac{u_*}{k} \ln\left(\frac{z}{z_0} - \Psi\frac{z}{L}\right) \qquad (4\text{-}8)$$

حيث Ψ تابع تجريبي، ويدعى المعامل الجديد L المدخل في هذه العلاقة بطول مونين – اوبيكوف ويعطى بالعلاقة:

$$L = \frac{T_0}{kg}\frac{C_p u_*^3}{H_0} \qquad (4\text{-}9)$$

حيث T_0 درجة الحرارة المطلقة و H_0 التدفق الحراري و C_p السعة الحرارية للهواء عند ضغط ثابت و g تسارع الجاذبية.

2-4-1-4 قانون الإعاقة الجيوستروفيكي(إعاقة حركة الأرض) والرياح الجيوستروفيكية (الموجهة بحركة الأرض):

يمكن اعتبار الرياح في الطبقة الحدية الجوية ناشئة عن فروق الضغط التي تنتج عن فعاليات الأوضاع الجوية (الأوضاع المناخية)، أي مرور أنظمة الضغط العالية والمنخفضة. وبما أن بنية الطبقة الحدية تستجيب بسرعة إلى حد ما لتغيرات قوى الضغط فقد وجد أن هناك توازناً تقريبياً بين قوى تدرج الضغط وقوى الاحتكاك عند سطح الأرض. ويستنتج هذا التوازن نظرياً وذلك إذا أخذت الشروط المثالية الآتية بعين الاعتبار:

a. تسارع الرياح معدوم (أو السرعة ثابتة مع الزمن).

b. تجانس سطح الأرض.

c. اعتبار الحركة أفقية.

d. الغلاف الجوي باروتروبي (أي تدرج الضغط ثابت على طول عمق الطبقة الحدية أو أن سطوح تساوي الكثافة"درجة الحرارة" موازية لسطوح تساوي الضغط).

ومن أجل الحالات التي يكون فيها الاستقرار حيادياً فقد وجد روسبي ومونتغمري (1935)علاقة الاتزان هذه والتي تدعى قانون الإعاقة الجيوستروفيكي، وهي تربط بين السرعة الاحتكاكية السطحية وسرعة الرياح الجيوستروفيكية G:

$$G = \frac{u_*}{k}\sqrt{\left(\ln\left(\frac{u_*}{f\,z_0}\right) - A\right)^2 + B^2} \qquad (4\text{-}10)$$

حيث f معامل كوريوليس (تردد التكرار) بينما Aو B ثابتان تجريبيان.

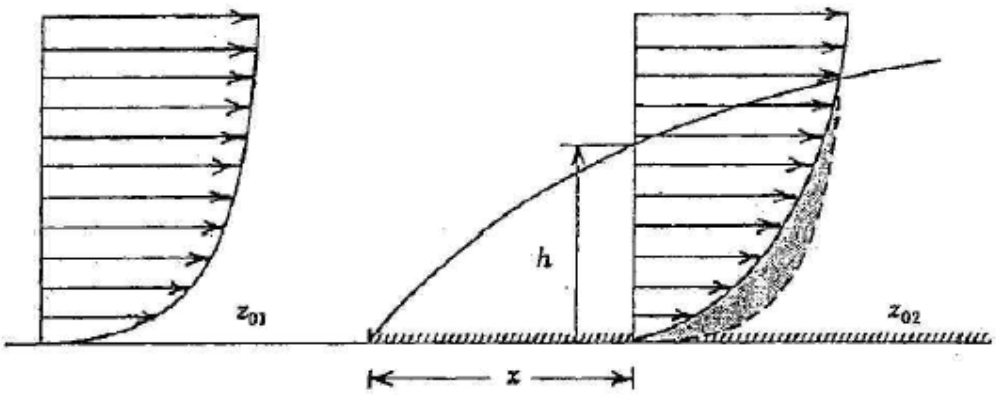
4-1-4-3 النماذج الفيزيائية الفرعية:[5]

4-1-4-3-أ- نموذج تغير الخشونة :

تطبق العلاقة اللوغارتمية لتغير سرعة الرياح مع الارتفاع فقط إذا كان سطح الأرض الذي ترد عليه الرياح متجانساً، فإذا لم يتحقق ذلك فإنه سوف تحدث انحرافات لسرعة الرياح و يصبح من غير الممكن الاعتماد على معامل خشونة وحيد للسطح. وعلى الرغم من أن معاملات الخشونة يمكن تعيينها بواسطة طرائق مختلفة، فإن هذه الطرائق تتوقف على الارتفاع الذي يتم الرصد عنده.

إن متوسط الإجهاد السطحي وسرعة الرياح السطحية تتبع بالضرورة لحالات السطح فقط حتى مسافة معينة من السطح الذي ترد عليه الرياح وتهمل عادة العوائق المتباعدة نتيجة ميل الطبقة الحدية إلى بلوغ وضع التوازن بين قوى تدرج الضغط والخشونة.

ويمكننا صياغة تغير الإجهاد السطحي الناتج من جريان الرياح على سطح يتصف بمعامل خشونة (Z_{01}) إلى سطح آخر طول الخشونة فيه (Z_{02})، إذا أخذت حالات مبسطة للطبقة الحدية على مقياس صغير لسطح الأرض غير المتجانسة. وقد وجد أنه في هذه الحالة تنشأ طبقة حدية داخلية (ط .ح.د)بدءاً من النقطة التي يحدث فيها تغير الخشونة، الشكل(4-14).



الشكل (4-14) منحني تغير السرعة مع الارتفاع عند سطح الخشونة Z_{01} مع منحني تغير الرياح المعدل نتيجة لتغير صنف الخشونة في الاتجاه الذي ترد فيه الرياح حيث تغيرت الخشونة إلى Z_{02} .[5]

فإذا اعتبرنا مسافة ما x بدءاً من السطح الذي تغيرت فيه الخشونة فإن (ط.ح.د) سوف تنمو إلى ارتفاع h معطى بالعلاقة (Panofsky1973):

$$\frac{h}{z_0'}\left(\ln\frac{h}{z_0'}-1\right) = \text{constant}.\frac{x}{z_0'} \qquad (4\text{-}11)$$

حيث $z_0' = \max(z_{01}, z_{02})$ وأخذت قيمة الثابت 0.9 وفوق هذا الارتفاع h لا يلمس تغير في بروفيل الرياح (تغيرات السرعة مع الارتفاع) الذي اضطرب في هذه الطبقة الواقع تحت الارتفاع h. وقد وجد تجريبياً أنه يمكن بشكل جيد صياغة التغيرات في السرعة الاحتكاكية السطحية باستخدام العلاقة الآتية والتي تشتق من العلاقة اللوغارتمية لتغير سرعة الرياح مع الارتفاع عند الارتفاع h :

$$\frac{u_{*2}}{u_{*1}} = \frac{\ln(h/z_{01})}{\ln(h/z_{02})} \qquad (4\text{-}12)$$

حيث u_{*2} السرعة الاحتكاكية السطحية عند النقطة المعتبرة و u_{*1} السرعة الاحتكاكية للرياح الواردة على السطح ذي الخشونة Z_{01} .[5]

إلا أن تغيرات السرعة مع الارتفاع تضطرب في (ط.ح.د) ولا يمكن حساب السرعة الاحتكاكية من الرياح المرصودة باستخدام العلاقة اللوغارتمية. ومع ذلك فقد بينت الدلائل التجريبية أنه يمكن وبشكل جيد صياغة تغيرات سرعة الرياح مع الارتفاع (بروفيل الرياح) باستخدام أقسام لوغارتمية أخرى أكثر دقة.

4-1-4-3 –ب نموذج حساب تأثير العوائق المعترضة للرياح :

ينتج التأثير الاحتكاكي لسطح الأرض عن إعاقة حركة الرياح بواسطة العوائق الموجودة على السطح والتي تتراوح من الرمل الناعم والعشب وأوراق النباتات إلى الأشجار الكبيرة والأبنية. وقد صيغ تأثيرها من خلال معامل الخشونة كما وصفت في الفقرات السابقة .

فقرب عائق ما، وحتى مسافة وارتفاع يتحددان بأبعاد العائق، يضطرب تغيير سرعة الرياح مع الارتفاع نتيجة تولد منطقة اضطرابية في تيار الرياح خلف العائق مباشرة، وهو ما يطلق عليه أثر المخر(*wake*) لذلك يجب معالجة أثر العائق بشكل منفصل. كما أن تفاصيل العائق ونوعه ذات آثار متباينة في اضطراب الهواء خلفه مثل صف من الأشجار أو البيوت حيث تكون أبعاد المنطقة الاضطرابية مساوية خمسة أضعاف ارتفاع العائق باتجاه الرياح وارتفاعها حوالي ضعفي ارتفاع العائق فالمنطقة الاضطرابية خلف العائق تعتمد على التفاصيل الهندسية لسطح البناء وزاوية ورود الرياح بالإضافة إلى أن قرب العوائق من بعضها يؤدي إلى تداخل المناطق الاضطرابية الناشئة خلفها مما يؤدي إلى تعقيد المسألة.

وعلى ضوء هذه الملاحظات بني نموذج تأثير العوائق المعترضة للرياح لاستخدامه في التحليل، ويجب اعتباره أداة لتصحيح المعطيات المتأثرة بالعوائق المنفردة والتي تبعد عن بعضها بعضاً بشكل كاف لجعل الاضطراب صغيراً ولتجنب التعقيدات الناتجة عن المناطق الاضطرابية خلف العوائق المتجاورة.

وبهذا الخصوص تعتبر منطقة الفصل باتجاه الرياح الواردة على عائق ذي بعدين، محددة بخط مستقيم من قمة العائق إلى مسافة على الأرض قبل العائق تساوي ضعف ارتفاع العائق. وبالمثل في اتجاه الرياح خلف العائق ولكن إلى مسافة على الأرض تساوي خمسة أضعاف طول العائق.[5]

4-1-4-3-ت نموذج تأثير التضاريس (تضرس الأرض)

يستخدم نموذج تأثير التضاريس لتصحيح معطيات الرياح المقاسة من تأثير عدم التجانس الموضعي لسطح الأرض، ويعني هذا في الحالة الراهنة الفروق في ارتفاع التضاريس حول محطة الرصد الجوي وقد تركز الاهتمام على تأثير تموج التضاريس بمقاييس أفقية حتى عدة عشرات من الكيلومترات ويعتمد النموذج على نظريات شبه تحليلية لدراسة الجريان الاضطرابي في الطبقة الحدية فوق الهضاب المنخفضة وقد طور ذلك في عدد من النماذج للجريان الحيادي في المناطق المعقدة (تعتبر التضاريس الأرضية معقدة إذا كان التغير في ارتفاعها يسبب تعديلات هامة وملحوظة على سرعة الرياح قرب السطح). وقد سمح هذا التحليل بدراسة الجريان فوق تضاريس واقعية بشرط أن لا يكون ميلانها حاداً يؤدي إلى فصل الجريان. وقد أبدت

التجارب الحقلية العديدة صلاحية هذا النموذج بشكل جيد لحساب تغيرات متوسط تغير سرعة الرياح مع الارتفاع (بروفيل الرياح) فوق الهضاب بشرط أن تكون الرياح الواردة إلى الهضبة قوية بشكل كاف لتحقيق الحالات الحيادية.

وبالتالي فإن هذا النموذج ملائم تماماً لاستخدامه في تقييم مصادر طاقة الرياح في المناطق المعقدة.

الخطوة الأولى في النموذج هي حساب الجريان الكموني المضطرب المتحرض بواسطة التضاريس وموافقته لشعاع وحدة الرياح في الجانب غير المضطرب.

الخطوة الثانية في النموذج تتضمن تعديل الحل للجريان الكموني وذلك بإدخال تأثيرات خشونة السطح وبشكل تقريبي.

يقتضي الجريان الكموني أن يكون هناك توازن بين قوة تدرج الضغط وتدفق كميات الحركة الأفقية في معادلات كمية الحركة وأن يكون انتقال كمية الحركة الاضطرابية معدوماً.[5]

4-1-5 الأسس الإحصائية لأطلس الرياح[5]

4-1-5-1 مفاهيم عامة (المتوسط الساعي لسرعة الرياح):

مع أن الآلية التي تسبب هبوب الرياح تتغير مع الزمن كتغير الطقس، إلا أن رصد وقياس الرياح عند أي موضع يظهر أن كلاً من السرعة والاتجاه يتغيران بسرعة مع الزمن وسبب هذه التغيرات في الرياح هو الاضطراب في الطبقة الحدية الجوية. إن سرعة الرياح تتغير بنمط سريع غير منتظم وهي العلاقة المميزة للاضطراب والتي تجعله مختلفاً عن بقية الحركات مثل الحركة الموجية، كما أن سرعات الرياح تتغير بمجال محدد من السرعات بمعنى أن هناك سمة عامة للحركة مغطاة بالتغيرات السريعة وتتصف هذه السمة بأنها أكثر استقراراً وأبطأ تغيراً مع الزمن.

إن هذا يدعونا إلى ضرورة التعامل مع قيم متوسطة للسرعة $\bar{u}$ يمكن تعريفها في لحظة ما و في نقطة ثابتة كما يلي:

$$\bar{u} = \frac{1}{T}\int u(t)\,dt \qquad (4\text{-}13)$$

حيث T هي الفترة الزمنية التي يحسب عليها متوسط السرعة .

وفي واقع الأمر وبشكل عام فإن القيمة المتوسطة يجب أن تكون تابعة للزمن أي $u=u(t)$ إلا أن وجود حركة متوسطة تابعة للزمن سوف يسبب صعوبات بالغة في التحليل مما يستوجب اختيار T بعناية كبيرة،

فمن جهة يجب أن لا يكون طويلاً ليغطي عدداً كبيراً من الاضطرابات ومن جهة أخرى يجب أن يكون طويلاً جداً بشكل يظهر تبعية الحركة المتوسطة للزمن بشكل كبير.

وقد اعتمدت فترة 10 دقائق لـــ T كفترة زمنية يحسب عليها متوسط السرعة كما أقرت ذلك لجنة علوم الغلاف الجوي في المنظمة العالمية للأرصاد الجوية ***WMO*** عام 1971 واعتبرت هذه الفترة ممثلة للسرعة الساعية u وبالتالي فإن المعطيات المستخدمة في الأطلس اعتمدت هذه الفترة وكل رصدة في مجموعة المعطيات تعطي قيمة وحيدة لـــu (استخدمت إشارة المعترضة فوق u في هذه الفقرة للدلالة على المتوسط)

ويعالج الأطلس إحصائيات هذه المتوسطات، باعتبارها سرعات ساعية، على شكل جداول تكرارية لحدوث سرعات الرياح في مجالات للسرعات ا م/ثا وعلى شكل توزع ويبل ***Weibull*** كما ستعرض في الفقرات الآتية. [5]

4-1-5-2 تقدير الاستطاعة الكامنة للرياح:

يعطى متوسط كثافة استطاعة الرياح المتاحة خلال مجال زمني T بالعلاقة:

$$\bar{E} = \overline{\frac{1}{2}\rho u^3} = \frac{1}{2}\frac{1}{T}\int_0^T \rho\, u^3(t)dt \qquad (4\text{-}14)$$

ويمكن أخذ كثافة الهواء ρ في هذه المعادلة كثابت (بخطأ أقل من أجزاء في المائة) فتصبح المعادلة على الشكل الآتي:

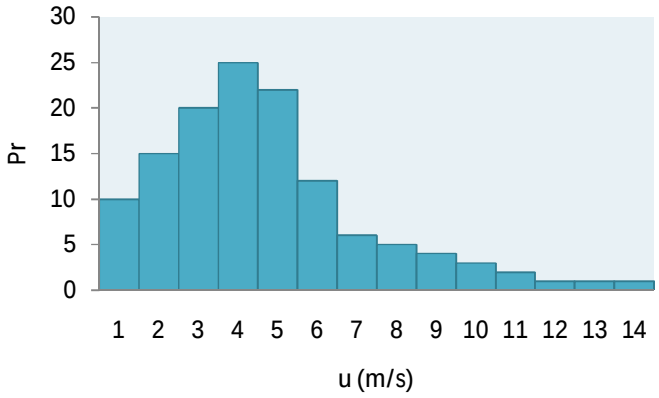
$$\bar{E} = \overline{\frac{1}{2}\rho u^3} \qquad (4\text{-}15)$$

4-1-5-3 تابع الكثافة الاحتمالي :

إن متوسط الاستطاعة الناتجة p لعنفة ريحية منحني استطاعتها $P(u)$ يمكن أن تتعين كما يلي:

$$P = p_{r1}p(u_1) + p_{r2}p(u_2) + \cdots \qquad (4\text{-}16)$$

حيث p_{ri} هي ترجيحات تعكس تكرار حدوث سرعة للرياح في مجال معطى، فمثلاً يمكن أن يكون p_{r1} التكرار النسبي لسرعة الرياح في مجال من الصفر إلى 1م/ثا ، و $p(u_1)$ يمكن أن تكون قيمة الاستطاعة عند منتصف هذا المجال. ويبين الشكل (4-15) تابع الترجيح (الاحتمال) $p_r(u)$ حيث يسمى هذا التابع المدرج التكراري. كما أن مجموع p_{ri} يساوي الواحد تماما أو(100%).



الشكل (4-15) تابع الترجيح *Pr* –المدرج التكراري الاحتمالي لسرعة الرياح [5]

فإذا صغرت مجالات السرعات فإنه (عند شروط معينة) يصبح المدرج التكراري تابعاً مستمراً ويدعى هذا التابع تابع الكثافة الاحتمالي $f(u)$ وتعطي المنطقة المظللة كالتي في الشكل (4-1) احتمال وقوع السرعة في المجال u إلى $u+\Delta u$.

و تكون العلاقة بين تابع الكثافة الاحتمالي $f(u)$ وتابع الكثافة الاحتمالي المتراكم $F(u)$ معطاة بالشكل:

$$F(u) = \int_0^u f(u)\,du \qquad (4\text{-}17)$$

و يمكن استخدام تابع الكثافة الاحتمالي لإعادة كتابة المعادلة (4-16) كما يلي :

$$P = \int_0^\infty f(u)\,p(u)du \qquad (4\text{-}18)$$

وتبين المعادلة (4-18) بشكل واضح أهمية تحديد تابع الكثافة الاحتمالي لسرعة الرياح ليس فقط من أجل تعيين متوسط الاستطاعة الناتجة P ولكن أيضاً لأن شكل منحني الاستطاعة $p(u)$ يمكن أن يكون متلائماً مع $f(u)$ بحيث أن P تصبح كبيرة بقدر الإمكان وبالتالي الحصول على قيمة عظمى لنتاج عنفة ريحية.

إن العزوم (Moments) من المرتبة الأولى والثانية والثالثة لسرعة الرياح يمكن أن تحسب مباشرة من تابع الكثافة الاحتمالي كما يلي:

$$\overline{u^n} = \int u^n f(u)du \qquad n = 1,2,3,\ldots \qquad (4\text{-}19)$$

وينتج أن متوسط كثافة الاستطاعة تعطى بالعلاقة :

$$\bar{E} = \frac{1}{2}\,\rho \int_0^\infty u^3\, f(u)du \qquad (4\text{-}20)$$

يتحدد تابع الكثافة الاحتمالي $f(u)$ من قياسات سرعات الرياح الساعية في مجالات زمنية مناسبة وكذلك لفترة زمنية ملائمة لحساب متوسط السرعة عليها. وكما رأينا سابقاً فإن الفترة الزمنية التي يؤخذ عليها المتوسط هي من رتبة 10 دقائق. ويعتمد طول مجال سلسلة القياسات على شكل منحني الاستطاعة حيث

أن هذا المنحني يحذف تأثير سرعات الرياح الصغيرة ويخمد سرعات الرياح الكبيرة وهذا يعني أنه من أجل طاقة الرياح يمكن استخدام سلسلة قياسات للرياح أقصر من السلسلة المطلوبة في التحقق من المناخ الريحي العام. وعادة لا توجد سلسلة قياسات لسرعات الرياح عند الموضع الذي نرغب بإقامة عنفة ريحية فيه ولا عند الارتفاع الملائم فوق سطح الأرض والذي هو ارتفاع محور العنفة، لذلك فإن الطريقة المستخدمة في أطلس الرياح من أجل تعيين تابع الكثافة الاحتمالي $f(u)$ عند موضع وارتفاع محددين بنيت اعتماداً على حقيقة أن سرعات الرياح المقاسة تتبع دائماً وعلى الأغلب توزع ويبل.

4-1-5-4 توزع ويبل وتابع الكثافة الاحتمالي:

إن شكل المنحنيات التكرارية لمعطيات سرعات الرياح تشير إلى أنه من الممكن إيجاد نموذج رياضي يساعدنا على وصفها، ويعتبر توزع ويبل (1951) وسيلة لتمثيل أو صياغة التوزع التكراري لسرعات الرياح بشكل محكم ويعبر رياضياً عن توزع ويبل للمعاملين كما يلي:

$$f(u) = \frac{k}{A}\left(\frac{u}{A}\right)^{k-1} exp\left(-\left(\frac{u}{A}\right)^{k}\right) \qquad (4\text{-}21)$$

حيث $f(u)$ تابع الكثافة الاحتمالي لويبل وهو يعطي تكرار حدوث سرعة الرياح u، وبالتالي فإن معاملي ويبل المعرفين يشيران عادة إلى معامل القياس A (وهو قريب من متوسط سرعات الرياح) ومعامل الشكل k.

فمن أجل $k>1$ (القيمة الشكلية) يأخذ التابع قيمة عظمى بعيدة عن المبدأ $(u>0)$ بينما تتناقص هذه القيمة برتابة من أجل$(0<k\leq1)$ ويتحول توزع ويبل إلى توزعين خاصين هما التوزع الأسي من أجل $k=1$ وتوزع رايلي من أجل $k=2$ ، وحيث أن معطيات الرياح تبدي توزعات تكرارية والتي غالباً ما توصف بشكل جيد بواسطة توزع رايلي فإن هذا التوزع ذا المعامل الوحيد يستخدم أحياناً لتمثيل معطيات الرياح[5]

وبعد تمثيل معطيات الرياح اعتماداً على الأسس الإحصائية والفيزيائية التي ذكرت سابقاً والتي تعبر عن النماذج الرياضية التي يستخدمها برنامج $WAsP\ 8$، فإنه يقوم بتوليد بيانات أطلس الرياح لأي منطقة مدروسة ثم تطبيقها لإيجاد الطاقة السنوية الممكن استخراجها من مزرعة ريحية فيها. وقبل البدء بتصميم المزرعة الريحية لابد من التعرف على القضايا الآتية:

4-1-6- قضايا تقنية متعلقة بالمزرعة الريحية Wind farm technical issues [4,14]

إن قضايا تقنية عديدة تظهر عندما تكون المسافات قريبة بين عنفات الرياح المتعددة، والسؤال الأكثر أهمية هو ما هي مسافات التباعد وأين نضع هذه العنفات (يظهر الشكل (4-16) بعض المصطلحات العامة الأساسية التي تشير إلى التباعد بين العنفات الريحية).

إن مصدر الرياح العابرة للمزرعة الريحية قد يختلف ويتفاوت نتيجة للتضاريس التي تتمتع بها المنطقة، بالإضافة إلى أن انتزاع الطاقة من الرياح بواسطة هذه العنفات والتي هي باتجاه الريح (up wind) يؤدي إلى إنقاص سرعة هذه الرياح المتجهة للعنفات الأخرى الواقعة في الخلف، كما أن ذلك يؤدي إلى حدوث الاضطراب أيضاً، وكل هذا قد يسبب حدوث تأثيرات يمكن لها أن تنقص إنتاج الطاقة، وتسبب زيادة في إعياء وتعب العنفات المواجهة للرياح والآتية من العنفات التي أمامها.

إن عملية المباعدة بين العنفات الريحية يمكن لها أن تسبب أيضاً تقلبات في خرج المزرعة الريحية، إن هذه الطاقة المضطربة الناتجة عن المزرعة الريحية يمكن لها أن تؤثر على الشبكة الكهربائية المحلية التي تربط إليها. ونحن هنا بصدد تحديد العلاقة بين تقلبات الطاقة المنتجة من المزرعة الريحية والتباعد بين العنفات الريحية .

4-1-6-1-مفاقيد الترتيب أو الاصطفاف للعنفات الريحية :

إن طاقة الرياح تأتي من استخلاص الطاقة الحركية من الرياح وهذا يؤدي إلى إنقاص في سرعة الرياح خلف العنفة الريحية وبالآتي إنقاص الطاقة المستحوذة من العنفات الريحية المواجهة لتيار الرياح هذا .

وهكذا نجد أن المزرعة الريحية سوف لن تنتج (100%) من الطاقة التي سينتجها عدد مشابه من العنفات الفردية المعزولة (stand alone)عند نفس الرياح السائدة .

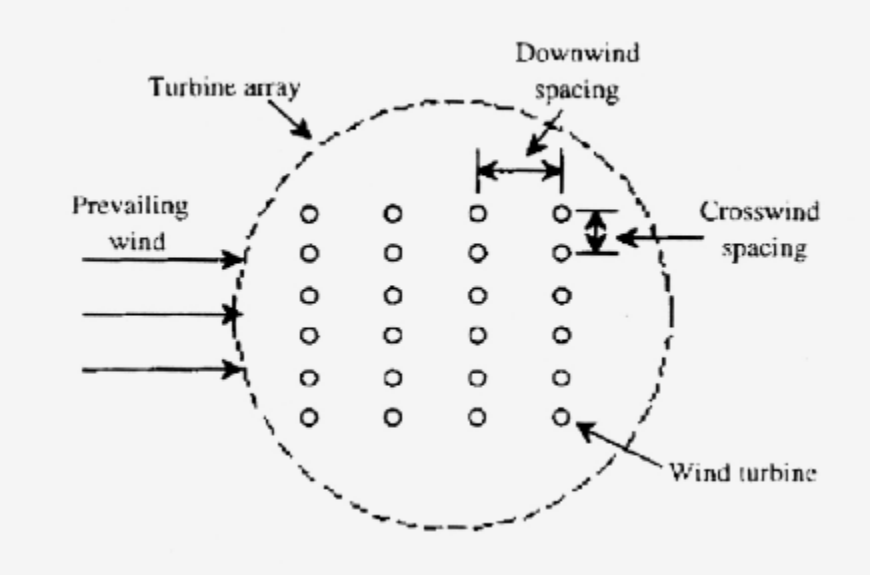
يصطلح على مفاقيد الطاقة الناتجة عن الاصطفاف اسم (Array Losses) وبشكل رئيسي فإن مفاقيد الاصطفاف ناتجة عن العوامل الآتية:

العوامل المؤثرة في مفاقيد الاصطفاف للمزرعة الريحية:

1. التباعد أو المسافات بين العنفات سواء (المسافات بين الأنساق أو المسافات بين الصفوف)
2. حجم المزرعة الريحية وعدد عنفاتها
3. خصائص ومميزات التشغيل للعنفة الريحية
4. التوزيع التكراري المتعلق باتجاه الرياح (وردة الرياح)

إن امتصاص الطاقة من الرياح بواسطة العنفة الريحية يؤدي إلى عجز سرعة وطاقة فيها يحصل خلف العنفة الريحية، ويتم إعادة ترميم مفاقيد الطاقة خلف العنفة الريحية بعد مسافة محددة وذلك عن طريق إعادة شحن الطاقة الحركية بواسطة حقل الرياح المحيط .

إن مدى أو مسافة الصحوة من ناحية طوله وأيضاً عرضه يعتمد بشكل أساسي على قطر الدوار وأبعاده وأيضاً يعتمد على كمية الطاقة المنتجة، ويمكن إنقاص مفاقيد الصفوف عن طريق تحسين هندسة وصف المزرعة الريحية.



شكل (16-4) مصطلحات متعلقة بالمزرعة الريحية [14]

هنالك عوامل يمكن لظل البرج أن يؤثر من خلالها على عملية سحب الطاقة في المزرعة الريحية، ومنها الشكل العام وحجم التوزيع التوربيني للمزرعة الريحية، التباعد بين العنفات ضمن المزرعة، الاختلاف بين العنفات في المزرعة الريحية ...وتتم إعادة الشحن وتحقيق الزخم بين رياح ظل البرج والرياح السائدة وتتسارع عندما يكون لدينا اضطراب وصخب أعلى في حقل الرياح السائد .

وكل ذلك يؤدي إلى تخفيض العجز النهائي وبالتالي إلى تخفيض مفاقيد الصفوف، إن الاضطراب النموذجي والمثالي يشتد بين (10% - 15%) ويكون قليلاً فوق سطح الماء حوالي (5%) والأكثر عند التضاريس الوعرة حوالي (50%) (واحدياً) وهذه النسب موضحة في الشكل (17-4).كما وأن الكثافة تزيد أيضاً خلال المزرعة الريحية وذلك بسبب تفاعل الرياح مع الشفرات الدوارة.

إن المسافة بين الأنساق والمسافة بين الصفوف في المزرعة الريحية تختلف بالاعتماد على هندسة وضع العنفات وأيضاً اتجاه الرياح السائدة. نتيجة لذلك فإن مفاقيد الصفوف يجب أن تحسب بالاعتماد على التوزيع الريحي التمثيلي السنوي، بالإضافة إلى بيانات سرعة الرياح واضطرابها، ويمكن القول أن هندسة الحقل وكثافة الاضطراب البيئي للرياح هي من أكثر المعاملات أهمية وتأثيراً على مفاقيد الصفوف، وقد

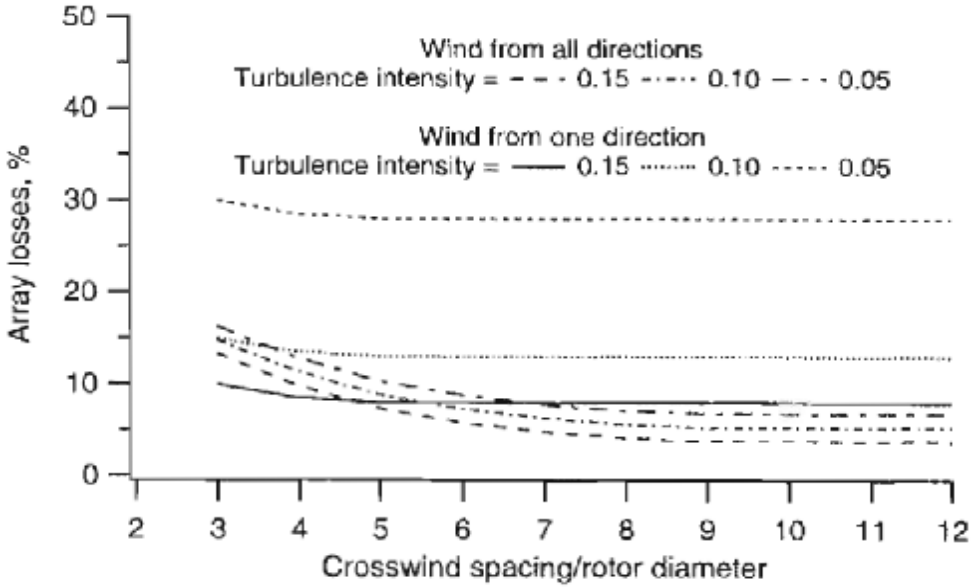
أظهرت الدراسات بأن العنفات الريحية إذا فصلت بينها مسافة من (8) إلى (10) مرات من قطر الدوار في اتجاه الرياح السائد(أي بين كل نسقين) وأيضاً من (4) إلى (5) مرات من قطر الدوار لأجل المسافة بين كل صفين فإن مفاقيد الصفوف ستنخفض بشكل نموذجي لتصل إلى نسبة أقل من (10%) .

الشكل(17-4) يبين أن مفاقيد الصفوف تنخفض عندما تصبح الأبعاد بين الأنساق أكبر من (8) مرات من قطر الدوار، وذلك لصف افتراضي. ويظهر الرسم البياني مفاقيد الصفوف كتابع للمسافات بين الأنساق وأيضاً كتابع لكثافة اضطراب الرياح ولكن من الاتجاه السائد للرياح (أي عنفات واقعة في ظل برج عنفات أخرى أمامها) وأيضاً كتابع للرياح التي تتوزع بانتظام من كل الاتجاهات .

مفاقيد الصفوف يمكن أن يعبر عنها ككفاءة للصف ويمكن حسابه كما يلي :

$$\text{Array efficiency} = \frac{\text{الطاقة السنوية لكل صف}}{(\text{العدد الكلي للعنفات}) \times (\text{الطاقة السنوية لكل عنفة معزولة})} .$$

إن تصميم المزرعة الريحية يتطلب الأخذ بعين الاعتبار هذه التأثيرات من أجل زيادة امتصاص الطاقة من الرياح. ويمكن للمسافات الأقرب بين العنفات الريحية أن تساهم في زيادة عدد العنفات الريحية في الموقع ولكنها تقلل من الطاقة الوسطية الكلية المستحوذة بواسطة كل عنفة من عنفات المزرعة الريحية .



شكل (17-4) مفاقيد الصفوف كتابع للأبعاد بين الأنساق من أجل كثافة اضطراب مختلفة[14]

4-1-6-2 الصيانة الدورية :

لإبقاء المزرعة الريحية تعمل بشكل آمن وموثوق فإن ذلك يتطلب فحصاً منتظماً وصيانة دورية ودائمة، وبشكل عام فإن ذلك سينفذ بوساطة مركبات معيارية أو عربات معيارية. بالإضافة إلى ذلك فإن الصيانة الدورية المنتظمة مطلوبة بشكل عام بفواصل زمنية من 3 إلى 6 إلى 12 مرة شهرياً .

وبشكل عام كل عنفة تحتاج إلى سبعة أيام على الأقل من الصيانة في السنة وهذه الصيانة لا تستلزم استخدام المعدات الكبيرة ويمكن أن تنفذ بواسطة شاحنة صغيرة أو أي تجهيزات عادية، وهي لا تتطلب أي أعمال إضافية أو أي بناء تحتي.

4-1-6-3 عمليات التصليح الرئيسية :

وهي احتمال حالات العطل غير المتوقعة الرئيسية التي قد تصيب بعض التجهيزات أثناء فترة عمر المزرعة الريحية في الوقت الذي تصمم فيه العنفة الريحية والتوصيلات الكهربائية لتعمل بعمر حتى من 20 إلى 30 عام فإن حالات العطل والفشل يمكن أن تحصل بسبب عدة أسباب منها مثلا ضربة صاعقة على خط النقل أو على العنفة بحد ذاتها. وأكثر التصليحات يمكن أن تنفذ بطريقة مماثلة للصيانة الروتينية مع بعض الاستثناءات مثل :

1. تبديل شفرات العنفة إذا تطلب الأمر وهذا يتطلب إحضار شفرات جديدة إلى الموقع وتركيبها باستخدام روافع كبيرة والتجهيزات المطلوبة مشابهة لتلك المستخدمة في مرحلة التركيب ومسارات وطرق الوصول المؤَسِسة للإنشاء قد تحتاج إلى إعادة تهيئة أيضاً.
2. تبديل المولدات أو صناديق التروس للعنفة الريحية وهذا قد يتطلب روافع وطرق ذات مستوى أقل من البند السابق .
3. تبديل محطة التحويل وهذا يتطلب مسارات مخصصة أيضاً للدخول إلى الموقع.

4-1-6-4 تجديد العنفة الريحية :

إن عمر العنفة الريحية الحديثة هو من 20إلى 30 عام وفي أي لحظة من اللحظات بعد ذلك قد تحتاج أي عنفة من العنفات إلى التبديل أو الفحص والتصليح أو حتى إزالة من الموقع، وعمليات التجديد هذه قد تحتاج وكما عملية التركيب إلى صياغة الطرق اللازمة لوصول الرافعات والعربات اللازمة لتفكيك وإزالة العنفات الحالية وتركيب العنفات الجديدة .

محطة التحويل وخطوط النقل ربما يعاد استخدامها من جديد دون أية مشكلة ومن الممكن أيضاً أن نحافظ على القواعد الخراسانية والأبراج نفسها.

وكل هذا قد يسمح بتوفير كلفة هامة من التكاليف المنفقة على المزرعة الريحية هذا وان أي تبديل أو تجديد للعنفات يجب أن يخضع إلى متطلبات المشروع المصادق عليها في ظل هذا المشروع.

4-1-6-5 إزالة العنفة :

عند حدوث عطل في التوربين وعندما تكون عملية التبديل غير اقتصادية فإننا في هذه الحالة نلجأ إلى إزالة هذه العنفة، وتكون عملية الإزالة بموجب بيان الالتزامات، ويتضمن ذلك إنشاء الطريق اللازمة والمماثلة لحالة البناء ويتطلب أيضاً وصول الرافعات الكبيرة من أجل تفكيك وإزالة العنفات كل القواعد الخراسانية تبقى في مكانها والخنادق المحفورة للكابلات أيضاً، أما باقي التجهيزات فتزال من الموقع. فترة الإزالة يجب أن تكون قصيرة وبشكل أقل ما يمكن وخصوصاً حركة الشاحنات مقارنة مع مرحلة التركيب.

يجب ملاحظة أن قيمة أنقاض العنفة والأجهزة الأخرى يجب أن تكون كافية لتغطية معظم كلف التفكيك وإعادة الموقع لوضعه الطبيعي .

4-1-7 مميزات برنامج WAsP 8:[25]

يحتوي WAsP 8وسائل مساعدة هي معالج مناخ الرياح المُلاحَظ Observed Wind Climate Wizard (OWC)، محرّر خرائط WAsP Map Editor، محرّر العنفة WAsP Turbine Editor، حاسبة الكثافة الجوية وأدوات الكتابة المختَلفة.

يشمل WAsP خمس وحدات حساب رئيسية:

1- **تحليل المعطيات الخام:** يمكن بهذا الخيار تحليل أيّ سلسلة زمنية من مقاييس رياح لتأمين ملخص إحصائي لمناخ رياح مُلاحَظ في موقع معيّن. يُنفذ هذا الجزء من خلال أداة منفصلة هي مناخ الرياح المُلاحَظ OWC .

2- **توليد بيانات أطلس الرياح:** يمكن أَنْ تُحوّل بيانات الريح المُحَلَّلة إلى مناخ رياح إقليمي أَو مجموعة بيانات أطلس رياح تكون مستقلة الموقع ويُخفض توزع الرياح إلى بعض الشروط القياسية.

3- **تقدير(تخمين) مناخ الرياح:**

باستعمال مجموعة بيانات أطلس الرياح المحسوبة بـــ WAsP أو المأخوذة من مصدر آخر، يمكن للبرنامج أنْ يُخمّن مناخ الرياح في أي نقطة معيّنة ومن خلال تقديم أوصاف التضاريس حول الموقع المدروس يُمكن التنبؤ بمناخ الرياح المتوقّع الفعلي في هذا الموقع.

4- **تقدير كمون طاقة الرياح:** يحسب محتوى الطاقة الكلي لمتوسط الرياح بواسطة برنامج WAsP. علاوة على ذلك، فإن تخمين إنتاج وسطي الطاقة السنوي الفعلي لعنفة ريحية يمكن الحصول عليه بتزويد WAsP بمنحني استطاعة العنفة الريحية.

5- **حساب إنتاج محطة الطاقة الريحية:** بإعطاء منحني معامل الدفع للعنفة الريحية وتخطيط المزرعة الريحية، يمكن لبرنامج WAsP أن يُخمّن ضياعات الصحوة(الإيقاظ) WAKE LOSSES لكل عنفة في المزرعة وبذلك يكون ناتج الطاقة السنوي الصافي لكل عنفة ريحية ولكامل المزرعة هو الإنتاج الإجمالي مطروحاً منه ضياعات الصحوة.

وفقاً لما سبق فإن البرنامج يقوم بالتحليل والتطبيق الملخص على الشكل الآتي:

التحليل

السلسلة الزمنية لسرعة واتجاه الريح ⟵ مناخ الرياح المراقب (OWC).

مناخ الرياح المراقب +وصف موقع محطة القياس ⟵ مناخ الرياح الإقليمي Regional Wind Climate(RWC)، مجموعات بيانات أطلس الرياح.

التطبيق

مناخ الرياح الإقليمي + وصف الموقع ⟵ مناخ الرياح المتنبأ به.

مناخ الرياح المتنبأ به +منحني الاستطاعة ⟵ إنتاج الطاقة السنوي Annual Energy(AEP) Production للعنفة.

إنتاج مزرعة رياح

مناخ الرياح المتنبأ به + مواصفات مولد العنفة ⟵ ناتج الطاقة السنوي الإجمالي من المزرعة.

مناخ الرياح المتنبأ به + مواصفات مولد العنفة +تخطيط المزرعة الريحية ⟵ ضياعات الصحوة لكامل المزرعة.

ناتج الطاقة السنوي الإجمالي + ضياعات الصحوة ⟵ ناتج الطاقة السنوي الصافي من المزرعة.

من المهم ملاحظة الآتي:

يستعمل WAsP كثافة هواء بقيمة $1.225\ kg.m^{-3}$ عند حساب كثافة الاستطاعة. بنفس الطريقة يمكن حساب إنتاج الاستطاعة لهذه الكثافة الجوية القياسية إذا استُعملت إحدى عيّنات منحنيات الاستطاعة.

إذا كان منحني الاستطاعة محدّداً حسب كثافة هواء الموقع الفعلية، سيحسب البرنامج إنتاج العنفة المقابل لهذه الكثافة الجوية.

وأيّ تغييرات في الخريطة تُضاف في محرّر خريطة (WAsP Map Editor) لن تعمل آلياً في WAsP لذا يجب حفظ الخريطة من محرّر الخرائط وإعادة تحميلها إلى البرنامج.

4-1-7-1 خطوات العمل على البرنامج :

1- بعد فتح البرنامج واختيار ورقة عمل جديدة مدرج فيها تلقائياً مشروع WAsPجديد، ندرج خريطة شعاعية رقمية Vector Map بناء على:

v اختيار الموقع:

توضع في المناطق التي تلاحظ فيها سرعات رياح عالية محطات قياس ورصد ، يتم جمع بيانات الرياح من تلك المحطات ويجب أن يتوفر لدينا الآتي :

- خريطة طبوغرافية للموقع المفترض contour map
- بيانات الرياح للموقع
- رسم توضيحي للمباني قرب محطة القياس
- وصف لمميزات توليد الطاقة من العنفة المفترضة .

يتم تحويل هذه البيانات إلى ملفات رقمية كالآتي :

- **ü** خريطة رقمية للارتفاعات و سطوح الخشونة.
- **ü** ملف بيانات يحوي بيانات الرياح.
- **ü** ملف بيانات يصف الأبنية المحيطة .
- **ü** ملف بيانات يحوي منحني إنتاج الطاقة من العنفة.

من المعلوم أن خواص محطة الرصد نفسها ستؤثّر على بيانات الريح المسجّلة هناك، بالإضافة لذلك فإن خواص موقع العنفة سيؤثّر في طريقة سلوك الريح قرب العنفة. وأيضاً من غير المحتمل أن يكون ارتفاع محور العنفة تماماً مثل ارتفاع مقياس سرعة الرياح.

2- حساب أطلس الرياح:

يتم إدراج عنصر أطلس رياح ويضاف معه تلقائياً محطة قياس وهنا نحتاج إلى :

- وصف موقع تسجيل البيانات .
- ملخص عن البيانات المسجلة في ذلك الموقع .

ويتم العمل وفق الخطوات الآتية:

- إضافة بيانات مراقبة الرياح :

نختار محطة القياس وندرج ضمنها ملف مناخ الرياح الملاحظ الذي حصلنا عليه بعد معالجة البيانات الخام المأخوذة من المقاييس بواسطة معالج OWC .

- وصف الموقع : يتضمن ما يلي :

ü تحديد إحداثيات الموقع بدقة على الخريطة الشعاعية.

ü إدراج ملف مجموعة العوائق في الموقع :

تؤخذ بيانات مسبقة عن العوائق المحيطة بمحطة القياس من حيث إحداثياتها وزاويتها بالنسبة للمحطة وارتفاعها وعرضها ونفوذيتها للرياح .

بعد إتمام المراحل السابقة يصبح برنامج WAsP قادراً على حساب أطلس رياح المنطقة (مناخ الرياح الإقليمي) وتظهر النتائج في جدول يبين سرعة الرياح وكثافة الطاقة عند خمس ارتفاعات قياسية ولأربع مستويات خشونة قياسية، كما نحصل أيضاً على وردة الرياح والتوزيع التكراري لسرعات الرياح .

3- تخمين طاقة الرياح :

- تحديد موقع العنفة:

تُحدّد إحداثيات موقع العنفة بدقة على الخريطة .

- تحديد نوع العنفة المقترحة :

حتى نتوقع كمية الطاقة المنتجة من العنفة يحتاج WAsPمعرفة خصائص إنتاج الاستطاعة للعنفة، يتم ذلك بإدراج عنصر جديد هو مولد العنفة المختارة فتظهر نافذة توضح منحني استطاعة العنفة الخاص بها .

تحتوي مكتبة البرنامج عدة أنواع من العنفات ذات استطاعات مختلفة مع المنحنيات الخاصة بها الموافقة لنوع محدد من المولدات. ويمكن إضافة أنواع جديدة من خلال استعمال WAsP Turbine Editor .

بهذا يصبح WAsP قادراً على تخمين مناخ الرياح في موقع العنفة المفترض وحساب الإنتاج السنوي المتوقع منها .

4- تخمين إنتاج مزرعة ريحية :

يتم إضافة عنصر مزرعة ريحية وهنا نحتاج إلى :

- تحديد مواقع العنفات بدقة على الخريطة : التي ستستعمل في المزرعة أي تشكيل أو تخطيط المزرعة ويؤخذ بعين الاعتبار المسافات المناسبة التي تفصل بين العنفات في الصف الواحد والتي تفصل بين الصفوف.
- تحديد نوع العنفة المقترح استخدامها .

بعد إجراء الحسابات يستطيع البرنامج تحديد الطاقة السنوية التي تنتجها المزرعة الإجمالية والصافية ونسبة الضياعات .

5- تحديد خريطة المصادر الريحية :

بعد إدراج شبكة المصادر الريحية ضمن ورقة العمل يمكن تحديد الإحداثيات المرغوبة لهذه الشبكة بشكل دقيق ضمن الخريطة الشعاعية ويستطيع البرنامج بعد أن يقوم بالحسابات اللازمة وضع الخريطة التنبؤية لرياح المنطقة المدروسة. وهذه الخريطة تكون بعدة خيارات منها

- عرض AEP (الإنتاج السنوي للطاقة) وفق تدرّج لوني يُظهر الفروق في هذه القيمة على امتداد مساحة المنطقة المدروسة
- عرض كثافة الطاقة
- عرض السرعة الوسطى
- المنسوب- البارامترات A,K (معاملي توزع ويبل)

4-1-7 القسم التطبيقي لبرنامج WAsP 8:

4-1-7-1 تصميم المزرعة الريحية:

4-1-7-1-أ- اختيار الموقع:

اعتماداً على خريطة مصادر الرياح في الجمهورية العربية السورية المبينة في الشكل (4-18)، والتي تظهر الأماكن الواعدة ريحياً، فقد تمت إشادة عدد من محطات قياس سرعات الرياح في مناطق مختلفة من القطر كما في الشكل (4-19)، حيث تتوضع فيها أبراج خاصة بهذا الغرض.

وتجهز هذه الأبراج بالحساسات التالية:

1. حساس لسرعة الرياح على ارتفاع 40m
2. حساس لسرعة الرياح على ارتفاع 10m
3. حساس لاتجاه الريح على ارتفاع 40m
4. حساس لدرجة حرارة
5. حساس للضغط

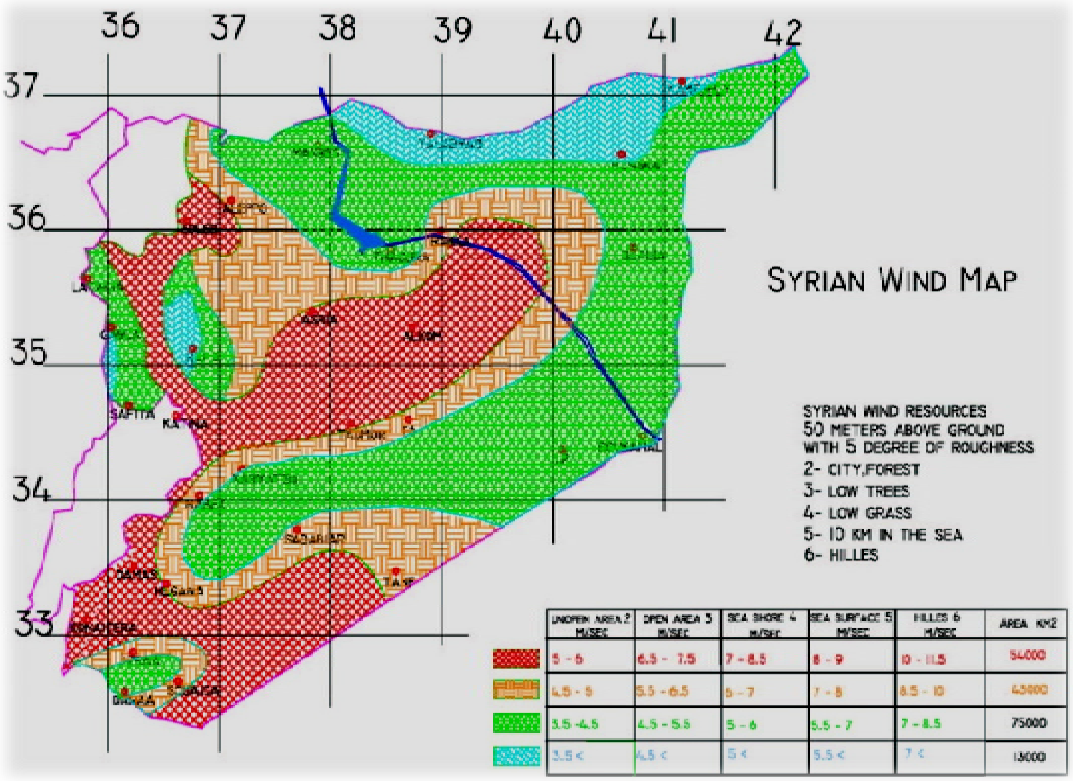
يتم أخذ القياسات كل عشر ثواني ثم تسجل المقاييس قيمة وسطية كل عشر دقائق لكل من السرعة ، الاتجاه، الضغط والحرارة،كما تسجل القيمة العظمى والانحراف المعياري لسرعة الرياح ضمن الفترة

المسجلة وذلك على الارتفاعين المذكورين، ويوضح الجدول ('4-1) أكثر المناطق الواعدة ريحياً في سورية.

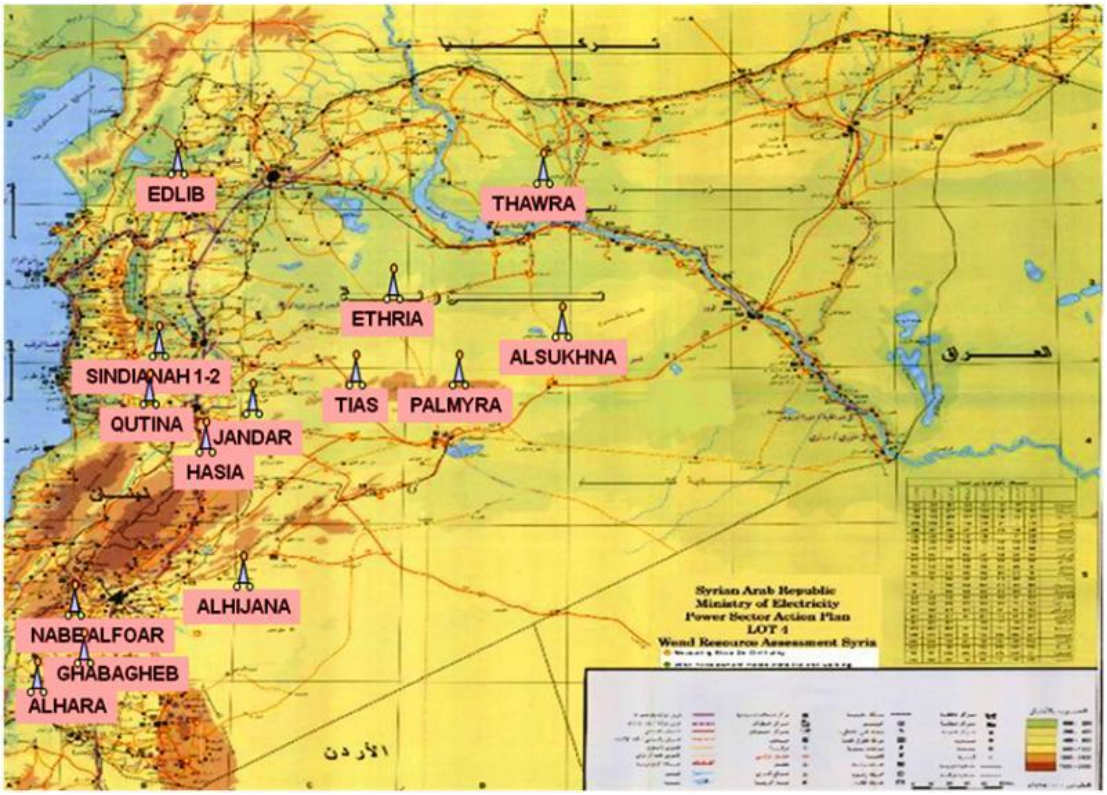
وبالتعاون مع المركز الوطني لبحوث الطاقة حيث تتجمع البيانات المتوفرة من محطات الرصد وحسب المتاح منها، فقد تم الاعتماد في هذه الدراسة على بيانات سرعات الرياح لموقعين مفترضين هما: السخنة و التياس في محافظة حمص.

الجدول ('4-1) معطيات سرعة الرياح للمناطق الواعدة ريحياً في سورية [11]

ANNUAL WIND SPEED		SITE NAME	AREA	LOCATION	Altitude M
AVERAGE m/s	MAX m/s				
8	23.3	SINDIANAH1-2	HOMS	E 265,673 N3844,438	545 515
7.8	24.03	QUTINA	HOMS	E 36°36.857' N34°40.216'	505
7.7	23.29	JANDAR		E 36° 46,286 N 34° 28.397	750
7.6	22	ALHARA	DARAA	E 35° 59.371' N 33° 03.609'	998
7.18	24.22	ALSUKHNA	HOMS	E 38° 49.86 N 34° 52,175	537
6.7	25.14	ALHIJANA	DAMASCUS SUBURB	E 36° 41.939 N 33° 22.637'	602
6.6	23.7	GHABAGHEB	DARAA	E 36° 15.801 N 33° 12.30	760
6.3	19.91	THAWRA	RAQA	E 38° 30.44' N 35° 48.63'	360
6.28	21.48	EDLIB	EDLIB	E 36° 38,981 N 35° 58.889'	386
6.2	23.87	NABE ALFOAR	QUNITRA	E 35° 56.68 N 33° 14.04	935
6.2	24.57	ETHRIA	HOMS	E 37°49.575' N35° 22,163	480
6.18	22.63	PALMYRA		E 38° 14.286' N 34° 33.879'	473
6.1	24.67	HASIA		E 36° 47.956' N 34° 20.106'	960
5.8	22.78	TIAS		E 37° 42.421 N 34° 32,591	562



الشكل **(4-18)** خريطة مصادر الرياح [4]



الشكل **(4-19)** مواقع أبراج الرصد [12]

أسباب اختيار هاتين المنطقتين:

1- منطقة السخنة:

تقع في البادية السورية إلى الشمال الشرقي من تدمر تبعد عنها 75 كم تقريباً، شرقي الجبال التدمرية الشمالية، وهي منطقة تلية (جبل الضاحك) ذات سرعات رياح عالية كما يتبين من معطيات برج القياس المتوضع عند درجة 38.49 شرقي غرينتش و 34.52 شمال خط الاستواء. وهي قريبة من الطريق العام الواصل بين الرقة والسخنة،وبالنسبة للربط مع الشبكة الكهربائية فإنه متاح من خلال محطة تحويل السخنة 20/66ك.ف، كما أنها تمتاز بوفرة الأراضي التابعة للدولة وبمساحات كبيرة مسطحة خالية من العوائق (أشجار، أبنية..)ويمكن الاستفادة منها لإقامة مزرعة رياح باستطاعة 100 MW وقابلية التوسع المستقبلي حيث تسمح باستطاعة تشغيلية تُقدر بـــ 500-600 MW .[23]

ويبين الشكل(20-4) طبيعة هذه المنطقة:

الشكل(20-4) منظر عام من منطقة السخنة [11]

2- منطقة التياس:

تقع في البادية السورية شرقي حمص بـــ 100 كم وعلى الطريق الواصل بين حمص-تدمر وإلى الغرب من تدمر بـــ 55كم تقريباً، فيها محطة تحويل 20/66ك.ف قائمة، وهي منطقة شبه صحراوية سهلة التضاريس، لا تحتوي عوائق أمام الرياح الغربية القادمة من جهة البحر، وسرعات الرياح فيها جيدة نوعاً ما، يتوضع برج القياس عند درجة 37.42 شرقي غرينتش و 34.32 شمال

خط الاستواء. وأيضاً تمتاز بوفرة الأراضي التابعة للدولة وبمساحات كبيرة يمكن الاستفادة منها لإقامة مزرعة رياح باستطاعة 100 MW وأكثر.[23]

الشكل (21-4) برج الرصد في التياس [11]

4-1-7-1-ب- بيانات الرياح المستخلصة من الموقعين:

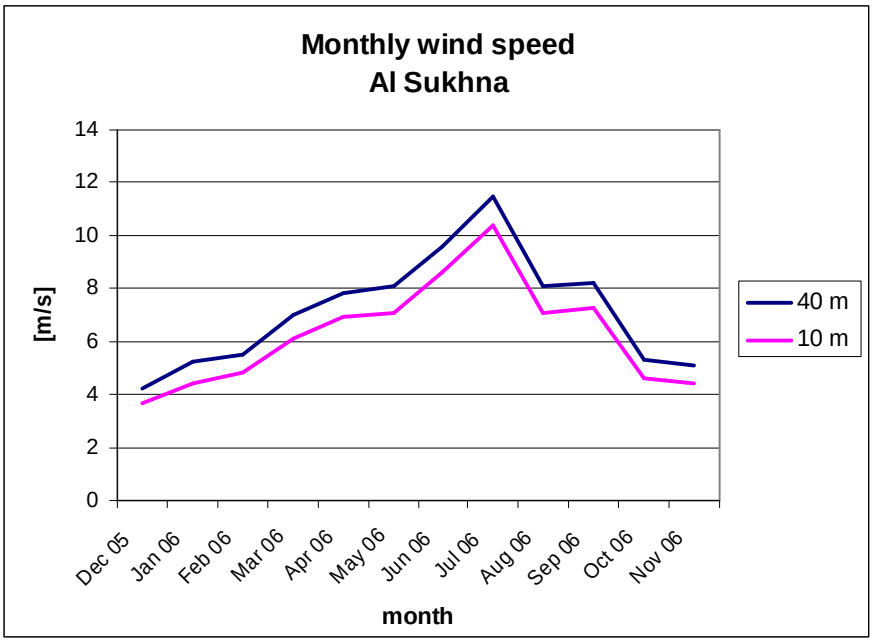
أخذت سرعات الرياح في منطقة السخنة من الفترة 25تشرين الثاني2005 وحتى 23تشرين الثاني 2006 ويوضح الجدول (4-2) المعدلات الشهرية للقيم المقاسة على ارتفاعين، ويبين الشكل (4-22) المنحني البياني لسرعات الرياح الشهرية فيها.

أما لمنطقة التياس فبياناتها من الفترة 18تشرين الأول 2005 وحتى 23تشرين الثاني 2006 موضحة في الجدول ('4-2) والشكل(4-23).

وقد تم استعمال بيانات الرياح لعام 2007 و2008 حسب المتوفر منها لهاتين المنطقتين عند تطبيق البرنامج الحاسوبي لإيجاد مناخ الرياح فيهما (التوزع التكراري لسرعات الرياح واتجاهاتها).

الجدول(2-4) المعدلات الشهرية لسرعات الرياح المقاسة في السخنة[11]

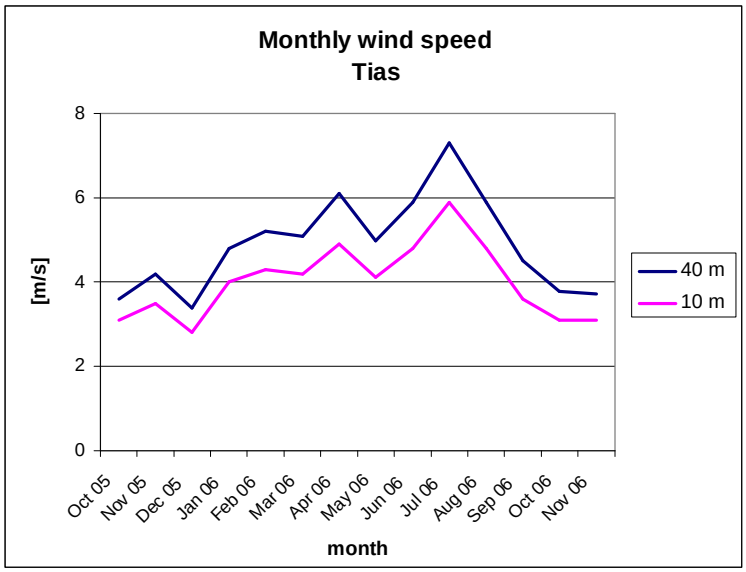
Month	data	40 m	10 m
	Recovery	Avg	Avg
Nov 05	4 %	7.8	7.1
Dec 05	100%	4.2	3.7
Jan 06	93%	5.2	4.4
Feb 06	100%	5.5	4.8
Mar 06	100%	7.0	6.1
Apr 06	100%	7.8	6.9
May 06	100%	8.1	7.1
Jun 06	100%	9.6	8.6
Jul 06	100%	11.5	10.4
Aug 06	100%	8.1	7.1
Sept 06	100 %	8.2	7.3
Oct 06	100 %	5.3	4.6
Nov 06	70 %	5.1	4.4
Avg.		7.18	6.34



الشكل(4-22)متوسط سرعات الرياح الشهرية في السخنة [11]

الجدول('4-2) المعدلات الشهرية لسرعات الرياح المقاسة في التياس[11]

Month	data	40 m	10 m
	Recovery	Avg	Avg
Oct 05	25 %	3.6	3.1
Nov 05	100%	4.2	3.5
Dec 05	100%	3.4	2.8
Jan 06	100%	4.8	4.0
Feb 06	100%	5.2	4.3
Mar 06	100%	5.1	4.2
Apr 06	100%	6.1	4.9
May 06	100%	5.0	4.1
Jun 06	100%	5.9	4.8
Jul 06	100%	7.3	5.9
Aug 06	100%	5.9	4.8
Sept 06	100 %	4.5	3.6
Oct 06	100 %	3.8	3.1
Nov 06	75 %	3.7	3.1
Avg.		5.08	4.15



الشكل(4-23) المعدلات الشهرية لسرعات الرياح في التياس [11]

نلاحظ من خلال الأشكال السابقة أن سرعة الرياح تكون في الحد الأعلى لها أثناء أشهر الصيف.

بعد الحصول على معطيات الرياح المقاسة نحتاج وصفاً للموقع. إن الشكل(4-19) هو خريطة مصورة للمناطق، ولا يمكن التعامل بها مع برنامجWAsP حيث نحتاج خريطة رقمية تعبر عن خطوط تساوي الارتفاع لذا تمت الاستفادة من برنامج آخر لفتح الخرائط الرقمية هو: Global Mapper حيث نقوم

بواسطته باختيار الموقع المراد دراسته بدقة و وفق الإحداثيات المحددة، ثم نختار المسافات الفاصلة بين خطوط تساوي الارتفاعات فنحصل على خريطة رقمية ولها الشكل الآتي:

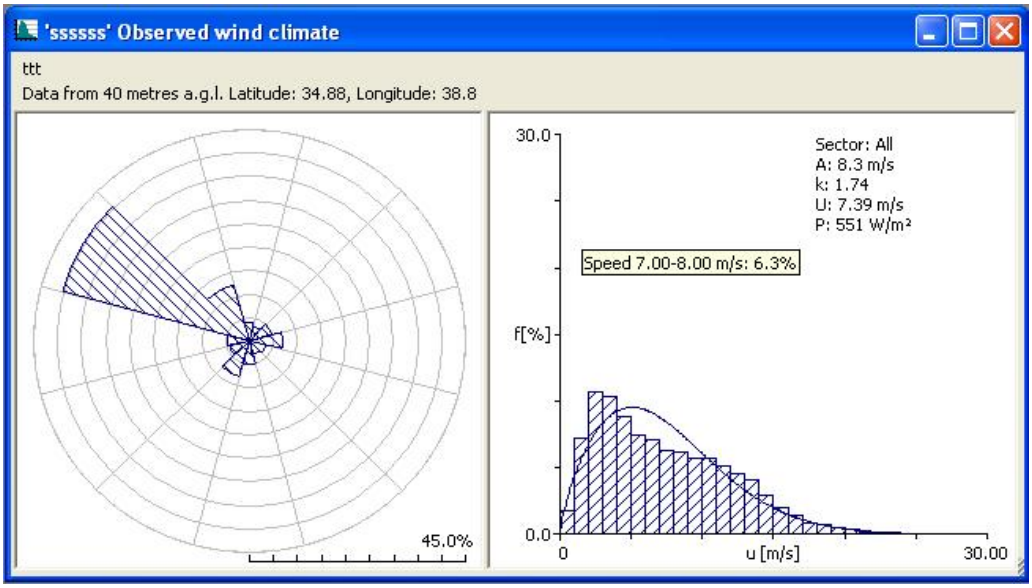
الشكل (4-24)خريطة توضح خطوط تساوي الارتفاع [27]

نقوم بحفظ هذه الخريطة بلاحقة **DXF**. ثم نفتحها بواسطة البرنامج الملحق بـــ **WAsP** وهو **WAsP Map Editor** ونحفظها بلاحقة **map**. وبذلك نتمكن من إدراجها في ورقة العمل التي ننشؤها ضمن برنامج **WAsP** .

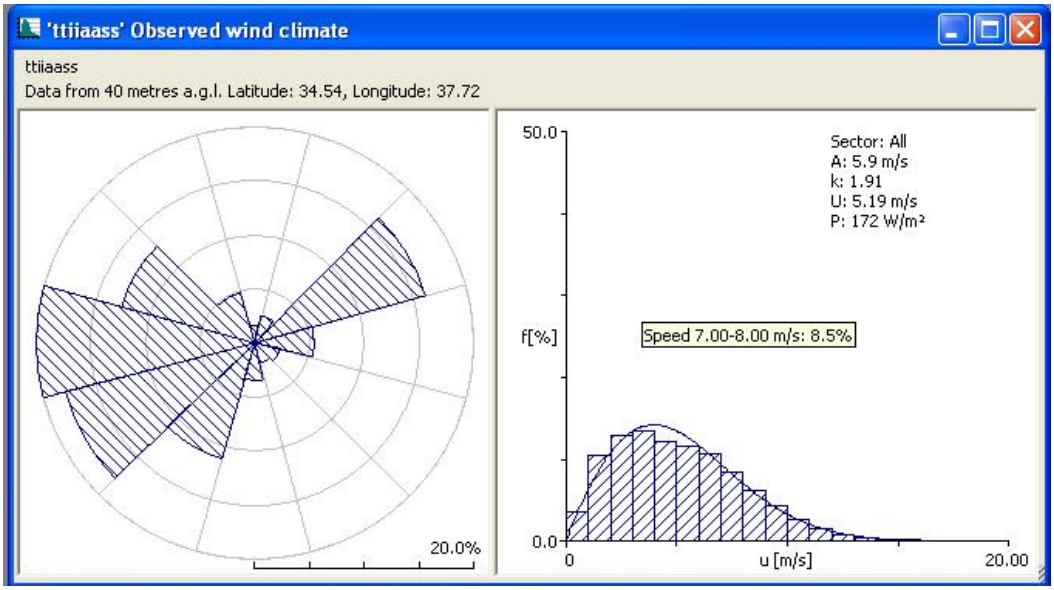
بعد إدراج الخريطة الشعاعية الرقمية، ندرج أطلس رياح المنطقة ويتشعب عنه عنصران:

- محطة القياس : إحداثياتها وتأثيرات الموقع.
- مناخ الرياح الملاحظ: نحصل عليه بعد معالجة البيانات الخام المتوفرة على شكل ملف **Excel**، حيث يتم وفق معالج خاص داخل البرنامج إجراء الإحصاءات والحسابات للحصول على التوزع التكراري لسرعات الرياح ووردة الرياح التي تعبر عن نسبة تكرار الرياح في اتجاه ما ضمن اثني عشر قطاعاً زاوياً (360°)، كما في الشكل (4-25) لمنطقة السخنة والشكل (4-26) لمنطقة التياس.

بعد الحصول على مناخ الرياح الملاحظ في موقع القياس يمكن للبرنامج عندها أن يحسب أطلس الرياح الإقليمي بإجراء التعميم على مساحة المنطقة والتي تم تحديدها بناء على إحداثيات الخريطة المدْرَجَة، حيث يعطي سرعة الرياح وكثافة الطاقة لأربع أصناف خشونة عند خمس ارتفاعات قياسية، كما في الشكل (4-27) و (4-28).



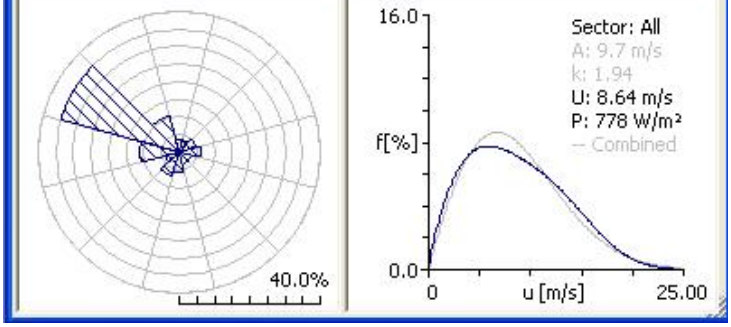
الشكل(4-25) توزع تكرار الرياح و وردة الرياح في منطقة السخنة-تدمر [25]



الشكل(4-26) توزع تكرار الرياح و وردة الرياح في منطقة التياس-تدمر [25]

'Wind atlas 1' Wind atlas

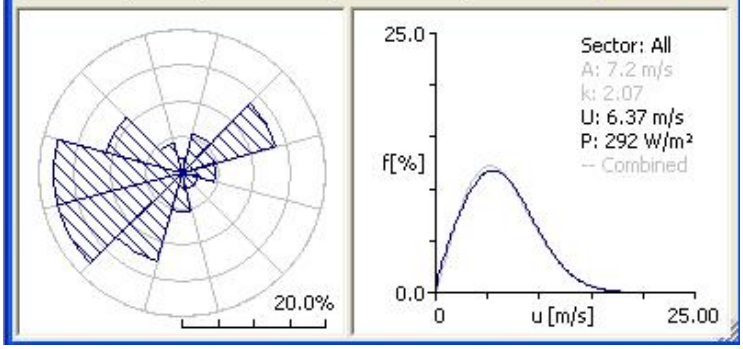
		R-class 0 (0.000 m)	R-class 1 (0.030 m)	R-class 2 (0.100 m)	R-class 3 (0.400 m)
Height 1 (z = 10 m)	m/s W/m²	8.24 751	5.82 291	5.08 191	4.00 92
Height 2 (z = 25 m)	m/s W/m²	8.99 961	6.87 456	6.18 333	5.21 196
Height 3 (z = 50 m)	m/s W/m²	9.59 1149	7.78 627	7.12 481	6.19 316
Height 4 (z = 100 m)	m/s W/m²	10.28 1416	8.92 878	8.24 693	7.31 484
Height 5 (z = 200 m)	m/s W/m²	11.14 1807	10.50 1405	9.70 1106	8.64 779



الشكل (4-27) أطلس الرياح الإقليمي لمنطقة السخنة-تدمر [25]

'Wind atlas 1' Wind atlas

		R-class 0 (0.000 m)	R-class 1 (0.030 m)	R-class 2 (0.100 m)	R-class 3 (0.400 m)
Height 1 (z = 10 m)	m/s W/m²	5.68 222	3.96 88	3.45 58	2.72 28
Height 2 (z = 25 m)	m/s W/m²	6.22 283	4.74 140	4.26 102	3.58 61
Height 3 (z = 50 m)	m/s W/m²	6.69 344	5.49 195	5.00 150	4.32 99
Height 4 (z = 100 m)	m/s W/m²	7.25 450	6.51 312	5.96 236	5.21 156
Height 5 (z = 200 m)	m/s W/m²	8.01 638	8.10 621	7.36 458	6.37 292



الشكل (4-28)أطلس الرياح الإقليمي لمنطقة التياس-تدمر [25]

يتم بعد ذلك إضافة عنصر جديد هو مزرعة الرياح(WIND FARM) التي تتألف بدورها من عنصرين هما: العنفات و نوع العنفة المستخدمة.

أ- العنفات: تتم إضافة كل عنفة كعنصر مستقل ويحدد موقعها وإحداثياتها بدقة على الخريطة، بحيث تؤخذ مسافات تباعد بين العنفات في الصف الواحد، وبين كل صفين متتاليين بشكل يضمن أكبر قدر من الاستفادة من طاقة الرياح.

ب- نوع العنفة المستخدمة: تحتوي مكتبة البرنامج عدة أنواع من العنفات المعروفة عالمياً، إلا أن ذلك لا يمنع من إضافة نوع جديد بواسطة محرر العنفة(Turbine Editor)

في هذه الدراسة تم اختيار خمسة أنواع من العنفات:

1- Vestas v80: قطر الدائر 80 m ، استطاعتها 2MW

2- Vestas v63: قطر الدائر 63 m ، استطاعتها 1.5MW

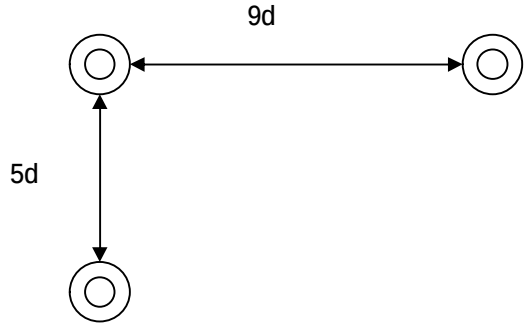
3- Bonus 76: قطر الدائر 76 m ، استطاعتها 2MW

4- Bonus 62 : قطر الدائر 62 m ، استطاعتها 1.3MW

5- Nordex N60 : قطر الدائر 60 m ، استطاعتها 1.3MW

في كل حالة يتم اختيار أحد هذه الأنواع وتطبيقه على عدد محدد من العنفات بحيث نحقق استطاعة مركبة بقيمة 100MW فمثلاً إذا كانت استطاعة العنفة الواحدة 2MW سنضع 50 عنفة، وإذا كانت استطاعتها 1.5MW سنضع 67 عنفة، أما في حال 1.3MW فسنضع 77 عنفة وبعد ذلك نحدد تشكيل المزرعة المفترضة.

في البداية اخترنا التوزع الطبيعي (الشبكي) بحيث تكون المسافة بين كل صفين (عمودياً على اتجاه الرياح) مساوية لخمسة أضعاف قطر الدوار أي5d و المسافة بين كل نسقين (موازيين لاتجاه الرياح) مساوية تسعة أضعاف قطر الدوار 9d . وهذا التشكيل مبين في الشكل (29-4).



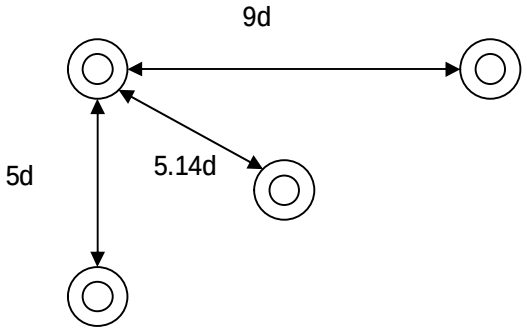
كما قمنا باختيار التوزع الشطرنجي للمزرعة وتطبيقه في المنطقتين عند حالة استخدام العنفة Vestas v80 ، والأبعاد بين العنفات على الشكل التالي:

المسافة بين كل صفين(عمودياً على الرياح) تساوي على خمسة أضعاف قطر الدوار وباعتبار قطر الدوار 80m تكون المسافة $5d = 5 * 80 = 400m$

المسافة بين كل نسقين متقابلين(باتجاه الرياح) تساوي إلى تسعة أضعاف قطر الدوار وبالتالي المسافة هي

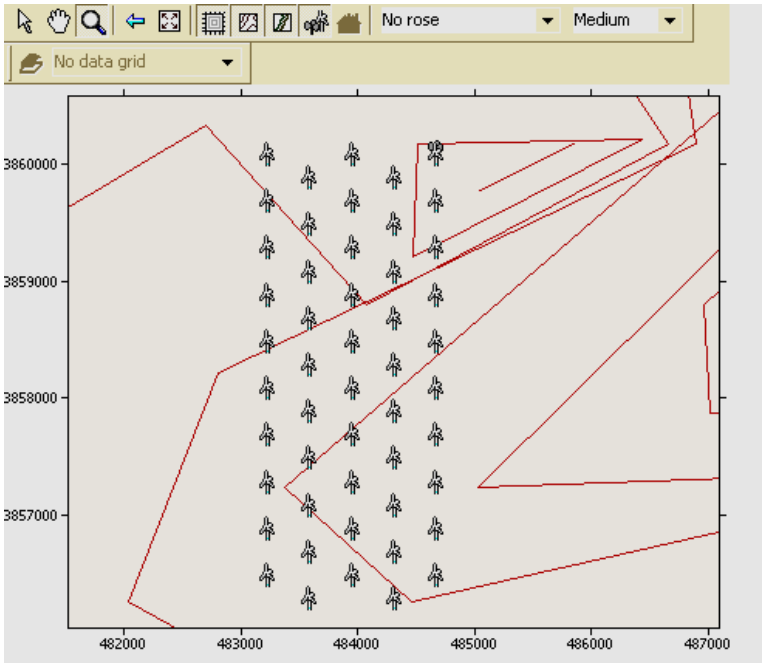
$$9d = 9 * 80 = 720m.$$

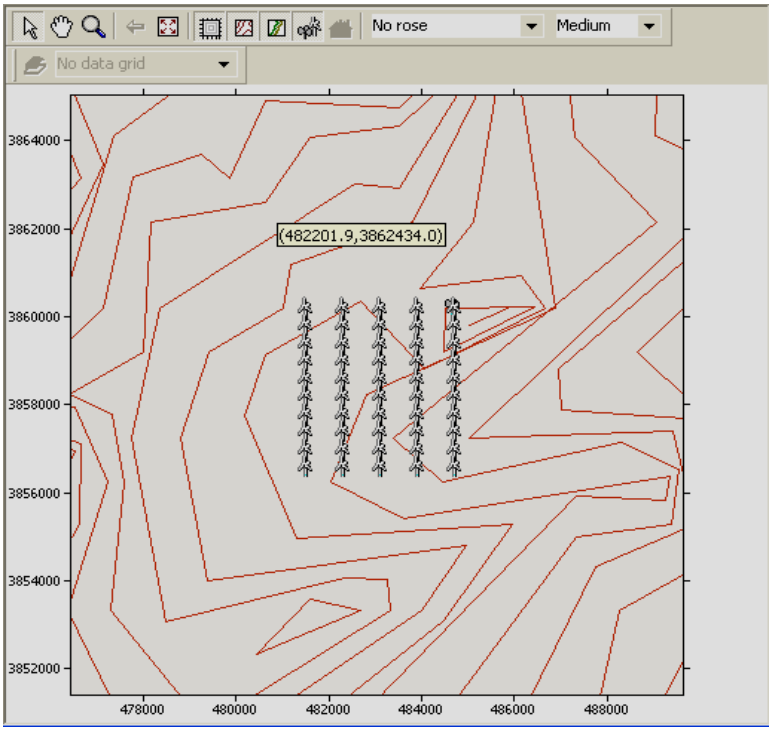
المسافة بين كل نسق والنسق الذي يليه مباشرة تساوي 4.5 من قطر الدوار ومنه تكون المسافة $4.5d = 4.5 * 80 = 360m$ كما يلي:



وهذا التشكيل موضح أيضاً في الشكل الشكل (4-29).

بعد أن يضع المستثمر التصميم المناسب للمزرعة المفترضة كما في الشكل (4-29) ويختار نوع العنفة التي سيتم استخدامها في المزرعة، يقوم البرنامج بحساب الطاقة الكلية والضياعات والطاقة الصافية السنوية الممكن استخراجها من هذه المزرعة.





التوزيع الطبيعي (الشبكي)

الشكل (4-29) تشكيل المزرعة المفترضة [25]

4-1-7-1-ت- النتائج:

تم في هذا البحث إجراء مقارنة بين موقعي السخنة والتياس باستخدام أنواع مختلفة من العنفات، وتبين بالنتيجة:

في حال التوزيع الشبكي للعنفات في منطقة السخنة وعند استخدام النوع Vestas v80 فقد بلغت إنتاجية الموقع 326 GWh في حين كانت الإنتاجية عند استعمال التوزيع الشطرنجي ولنفس نوع العنفة 308GWh أي بفارق 18GWh لصالح الطريقة الشبكية في توزيع العنفات رغم امتياز الطريقة الشطرنجية بانخفاض مساحة الأرض المستعملة ($5.5Km^2$ تقريباً) مقارنة بالمساحة المستعملة في التوزع الشبكي ($10.4Km^2$ تقريباً)، كذلك الأمر في منطقة التياس كانت الإنتاجية في حال التوزيع الشبكي 166GWh بينما كانت الإنتاجية عند استعمال التوزيع الشطرنجي 156GWh أي بفارق 10GWh.

ويوضح الجدول (4-3) الفارق في القيمة الإنتاجية السنوية لكل منهما في حالة تشكيل مزرعة رياح باستطاعة 100 م.و. بطريقة التوزيع الشبكي:

الجدول (3-4)الفارق في القيمة الإنتاجية السنوية لموقعي السخنة والتياس [24]

Name	Type of Turbine	Hub Hight	Cap (MW)	Production GWh
Tias	Vestas v80	67	2	167
	Vestas v63	60	1.5	128
	Bonus 76	60	2	147
	Bonus 62	60	1.3	140
	Nordex N60	50	1.3	112
Sokhna	Vestas v80	67	2	325
	Vestas v63	60	1.5	294
	Bonus 76	60	2	309
	Bonus 62	60	1.3	307
	Nordex N60	50	1.3	275

نلاحظ من الجدول السابق أن منطقة السخنة ذات مردود أعلى مهما اختلف نوع العنفة أو المولد المستخدم وبالتالي فالاستثمار فيها مجدي أكثر من منطقة التياس.

وتجدر الإشارة إلى ضرورة أخذ مواصفات المنطقة ككل بكافة العوائق المحيطة بها حتى تكون الدراسة أكثر دقة، مع الانتباه إلى إمكان وجود مناطق واعدة جديدة غير مطروقة لحد الآن. وإن الدراسة الدقيقة لإنتاجية أي موقع تُعَدُّ من الأمور الهامة التي تسبق اختيار الموقع والتي تعتبر من عوامل جودته ونجاحه اقتصادياً.

وبافتراض أنه قد تم إنشاء مزرعة ريحية في السخنة باستطاعة 100MW (50عنفة كل منها 2MW) ستحتاج إلى سنة لإتمام إنشائها وبتكلفة الكيلو واط المركب 1800$/KW [30,4,11] حيث يشمل هذا الرقم كافة الأعمال المدنية والدراسات الهندسية وأجور استثمار الأرض ...وبالتالي تصبح الكلفة التأسيسية الإجمالية لهذه المزرعة: 1800*100,000=180 Million$

وباعتبار أن السعر العالمي للكهرباء المنتجة من الرياح هو 9 cent €/kWh [4] والذي يساوي أحد العروض (من الشركة البرتغالية Talerano عام 2009) المقدمة لوزارة الكهرباء لإنشاء مزارع رياح في سوريا، فإن القيمة الناتجة من بيع الكهرباء هي:

$$V_{year} = 326000 \times 0.09 = 29.34 \text{ Million } €$$

أي: 42.38 Million $

وبالتالي تكون فترة الاسترداد:

- دون اعتبار الفائدة المصرفية:

$$Recovery\ period = \frac{C_{project}}{V_{year}} = \frac{180}{42.38} = 4.24\ year$$

- مع اعتبار الفائدة المصرفية:

بفرض معدل الفائدة المصرفية i=6% وكلفة المشروع: $C_{project} = C_0 \times a \times n$

حيث a: عامل الدخل السنوي *annuity factor* ويؤخذ حسب قيمة معدل الفائدة وهنا يساوي 0.0782 ، وعمر المشروع n.

$$C_{project} = C_0 \times a \times n = 180{,}000{,}000 \times 0.0782 \times 25 = 351.9\ Million\ \$$$

$$Recovery\ period = \frac{C_{project}}{V_{year}} = \frac{351.9}{42.38} = 8.3\ year$$

أي يحتاج المشروع إلى ثماني سنوات تقريباً حتى نتمكن من استرداد رأس المال وهنا لم نأخذ بالحساب قيمة غاز ثاني أكسيد الكربون الموفر من استخدام طاقة الرياح عن المصادر التقليدية الأخرى، والتي تتراوح ضمن المجال (8-25 €/tonCO2) [29,11] إذ سيتم حسابها بشكل كامل في نهاية الدراسة بعد أن نكون قد أدخلنا 1800 MW من طاقة الرياح في نظام توليد الطاقة الكهربائية في سورية في نهاية عام 2030 بواسطة برنامج WASP IV الذي يحسب كمية الانبعاثات الكلية كواحدة من النتائج التي يقدمها هذا البرنامج.

2-4 برنامج WASP IV [9]

4-2-1: لمحة تاريخية:

تم تطوير برنامج WASP (Wien Automatic System Planning) من قبل مؤسستي Tennesse Valley Authority (TVA) و Oak Ridge National (ORNL) Laboratory في الولايات المتحدة بناء على حاجة الوكالة الدولية للطاقة الذرية IAEA'S لإجراء مسح سوق الطاقة النووية في البلدان النامية الأعضاء بالوكالة لعام 1972-1973 وقد صمم برنامج WASP-IV لإيجاد السياسة الاقتصادية للتوسع الأمثل لنظام التوليد الكهربائي ضمن محددات المستثمر.

وهو يستعمل : التقييم الاحتمالي للنظام - تكاليف الإنتاج -كلفة الطاقة غير المخدمة - الوثوقية - تقنية البرمجة الخطية لتحديد سياسة التنسيق الأمثل ضمن المحددات الخارجية على كل من الانبعاثات البيئية، الوقود المتاح والتوليد الكهربائي لبعض المحطات وأخيراً الطريقة الديناميكية للحل الأمثل لمقارنة تكاليف السياسات البديلة لتوسع النظام.

إن بنية البرنامج تسمح للمستثمر بمراقبة النتائج في مراحل متوسطة بما يتيح تجنب إضاعة الوقت الناجم عن أخطاء معطيات الدخل.

ويتميز WASP-IV بالسمات الآتية:

- خيار فرض محددات على الانبعاثات الغازية ، الوقود المستهلك وكمية الطاقة الكهربائية المنتجة.

فهو يتيح للمستثمر أن يُدخل حدود للانبعاثات الغازية (تصل إلى نوعين من الملوثات) الصادرة من عدد محدد من المحطات واستهلاك وقود عدد معين من المحطات .

تُعالَج هذه المحددات بواسطة تقنية (محددات المجموعة المتعددة Multiple group- limitation) حيث من الممكن أن تتعلق المحطات بنوع أو أكثر من هذه المحددات.

هذا الخيار مفيد جداً في التخطيط الواقعي بسبب تزايد أهمية الاعتبارات البيئية إضافة إلى أنه في كثير من الحالات تكون إتاحة الوقود وكمية الطاقة الكهربائية المولدة ذات قيم محدودة.

- إمكانية تمثيل محطات الضخ التخزينية: ويعد هذا من الخيارات الضرورية بسبب أهمية محطات الضخ التخزينية وتقنيات تخزين الطاقة الكهربائية المختلفة.
- جدول الصيانة الثابتة: يمكن للمستثمر وتبعاً لبعض الاعتبارات العملية أن يحدد جدول معين للصيانة السنوية لبعض المحطات في النظام.
- حساب الانبعاثات الغازية: يقوم البرنامج بحساب الانبعاثات جراء توليد الكهرباء لكل سنة ولكل

فترة من السنة (محددة مسبقاً في دخل البرنامج) وذلك بناء على توقعات إنتاج كل محطة وعلى خواص الوقود المستخدم.

- الأبعاد والاتجاهات الموسعة: حيث يمكن معالجة 90 نوع من المحطات وعدد تشكيلات يصل إلى 500 لكل سنة و 5000 لفترة الدراسة ككل.

4-2-2- وصف ملخص لنظام WASP-IV على الحاسوب:

يسمح برنامج WASP-IV بإيجاد خطة التوسع الأمثل لنظام توليد قدرة كهربائية ولفترة تصل إلى 30 سنة ضمن المحددات المعطاة من قبل المخطِّط.

ويُقيّم الحل الأمثل بناء على التكاليف الكلية بعد الحسم. وكل تتابع محتمل لوحدات توليد الطاقة المضافة إلى النظام يُقيّم بواسطة تابع الكلفة:

$$Bj = \sum_{t=1}^{T}[\bar{I}_{j,t} - \bar{S}_{j,t} + \bar{F}_{j,t} + \bar{M}_{j,t} + \bar{O}_{j,t}] \qquad (4\text{-}22)$$

حيث:

(I) : تكاليف استثمار رأس المال – تكاليف الاستثمار الكلية

(S) : القيمة المتبقية من كلف الاستثمار

(F) : كلفة الوقود

(M) : تكاليف الصيانة وتشغيل (عدا الوقود).

(O) : كلفة الطاقة غير المخدمة.

(Bj) : تابع رأس المال (تابع الهدف) لخطة التوسع j .

(t) : الزمن بالسنوات. (1,2,..... T)

(T) : العدد الكلي لسنوات الدراسة.

ويعني الخط فوق الرموز أنها محسوبة بعد الحسم نسبة إلى تاريخ مرجعي عند عامل حسم محدد i

وتحدد خطة التوسع المثلى وفق ما يلي :

$$\text{Minimum Bj among all j} \qquad (4\text{-}23)$$

ويتطلب تحليل WASP كنقطة بداية تحديد حلول التوسع البديلة لنظام الطاقة.

إذا كان Kt شعاع يضم العدد الكلي لوحدات التوليد التي في الخدمة في السنة t بالنسبة لخطة توسع معينة فإن $[kt]$يجب أن يحقق العلاقة الآتية :

$$K_t = [K_{t-1}] + [A_t] - [R_t] + [U_t] \qquad (4\text{-}24)$$

حيث :

$[A_t]$: شعاع الوحدات المقرر إضافتها في السنة **t**.

$[R_t]$: شعاع الوحدات المقصاة من الخدمة في السنة **t**.

$[U_t]$: شعاع الوحدات المرشح إضافتها للنظام في السنة **t**.

$[A_t]$و$[R_t]$ هي بيانات معطاة ومحددة، أما$[\mathbf{U_t}]$ شعاع المحطات المرشحة (Candidate Plants) فهو متحول غير معروف يطلب تحديده من قبل المستثمر ويسمى شعاع تشكيلة النظام The system configuration.

إذا عرّفنا الفترة الحرجة(P) بأنها الفترة من السنة التي تحقق أقل فرق بين استطاعة التوليد المتاحة وطلب الذروة وبفرض $P(K_{tp})$الاستطاعة المركبة في النظام خلال الفترة الحرجة من سنة **t** فيجب تحقيق المعادلة الآتية لقبول تشكيل ما :

$$(1 + a_t)D_{tp} \geq P(K_{tp}) \geq (1 + b_t)\mathrm{D_{tp}} \qquad (4\text{-}25)$$

حيث :

a_t: الهامش الاحتياطي الأعظمي للنظام .

b_t : الهامش الاحتياطي الأصغري للنظام .

D_{tp} : طلب الذروة خلال الفترة الحرجة.

أي أن الاستطاعة المركبة في الفترة الحرجة يجب أن تقع بين الحد الأعلى والحد الأدنى لهامش الاحتياطي مضافاً إلى كل منهما طلب الذروة في هذه الفترة .

ويُقيّم البرنامج وثوقية أي تشكيلة مقترحة للنظام باستخدام مؤشر(LOLP) احتمالية فقدان الحمل Loss of Load Probability حيث يحسب البرنامج هذا المؤشر لكل فترات السنة ولكل حالة كهرومائية (لمراعاة المحطات المائية) معرّفة ضمن المدخلات ويجب أن تحقق التشكيلة المقبولة المتراجحة الآتية:

$$\mathrm{LOLP}\ (K_{t.a}) \leq C_{t.a} \qquad (4\text{-}26)$$

$$\mathrm{LOLP}\ (K_{t.i}) \leq C_{t.p} \qquad (4\text{-}27)$$

حيث :

$\mathrm{LOLP}\ (K_{\mathbf{ti}})$: مؤشر احتمالية فقدان الحمل للفترة **i** .

$\mathrm{LOLP}\ (K_{ta})$: مؤشر احتمالية فقدان الحمل للسنة .

يجب أن يكون كلا المؤشرين أقل من الحد الأعظمي المدخل للبرنامج: $C_{t.a}$, $C_{t.p}$.

إذا كانت خطة التوسع تحوي تشكيلات للنظام بحيث يكون الطلب السنوي على الطاقة الكهربائية E_t أعلى من التوليد السنوي المتوقع G_t لكل الوحدات الموجودة في تشكيلة خطة توسيع السنة t فإن هذا الفرق هو كلفة يعبر عنها بشكل طاقة غير مخدمة Energy Not Served حيث تعرف الطاقة غير المخدمة N_t بالعلاقة:

$$N_t = E_t - G_t \qquad (4\text{-}28)$$

بالإضافة إلى أن المستثمر يستطيع فرض محددات نفق (عرض مجال) على شعاع التشكيلات $[U_t]$ بحيث يخضع قبول أي تشكيلة للعلاقة :

$$[U_t^0] \leq [U_t] \leq [U_t^0] + [\Delta U_t] \qquad (4\text{-}29)$$

حيث :$[U_t^0]$ القيمة الدنيا المسموحة لشعاع التشكيلات $[U_t]$ و$[\Delta U_t]$ عرض النفق.

يقدر توليد كل محطة خلال كل فترة من السنة بناء على سياسة التوزيع الأمثل والتي تعتمد بدورها على : جاهزية المحطة، متطلبات الصيانة، متطلبات الاحتياطي الدوار، وأي محددات مفروضة من قبل المستثمر على الانبعاثات الغازية وتوفر الوقود وكمية التوليد.

ويعبر عن هذه المحددات بالشكل الآتي :

$$\sum_{i \in I} COEF_{ij}.G_i \leq LIMIT_j \quad \text{for j=1,.....M} \qquad (4\text{-}30)$$

حيث :

G_i : توليد المحطة i .

$COEF_{ij}$: القيمة الواحدية للمحدد الناتجة من محطة i ضمن مجموعة المحددات j(إصدارات غازية، استهلاك وقود ،...) .

$LIMIT_j$: القيمة المحددة من قبل المستثمر على المحدد .

Ij :مجموعة المحطات المطبق عليها المحدد j.

تُعالج هذه المحددات بواسطة خوارزمية ضمن البرنامج بحيث يحدد توزيع المحطات بطريقة تُلحظ فيها هذه المحددات عند الكلفة الأصغرية للإنتاج .

إذاً فالمهمة الأساسية للمستثمر هي إيجاد شعاع التشكيلات U_t خلال فترة الدراسة والذي يحقق العلاقات من (4-22) إلى(4-30) ويستخدم البرنامج تقنية البرمجة الديناميكية في إيجاد أفضل خطة توسع بحيث لا يتجاوز الحل حدود نفق التشكيلة (عرض المجال) المعطى بالمعادلة (4-29) لأنه عندها يعطي في الخرج رسالة

يعرف المستثمر من خلالها بوجوب تعديل قيم الدخل وإعادة التنفيذ والحل حتى الوصول إلى تقرير خال من أي رسالة خطأ وبذلك يتم التوصل إلى خطة التوسع المثلى .

4-2-2-1- حساب التكاليف:

يحسب برنامج WASP-IV مختلف مكونات تابع الكلفة (22-4) مع الأخذ بالحسبان ما يلي:

- خصائص التنبؤ بالحمل .
- خصائص المحطات الحرارية و النووية .
- خصائص المحطات المائية .
- الطبيعة العشوائية للماء (يقصد بذلك كمية المياه المتوفرة).
- كلفة الطاقة غير المخدمة .

يُمثّل الحمل بواسطة حمل الذروة والطلب على الطاقة لكل فترة (حتى 12 فترة)ولكافة السنوات (حتى 30 سنة) ، ومنحني الحمل التراكمي النظير .

وتوصف المحطات الحرارية والنووية وفق :

- الاستطاعة العظمى والصغرى .
- المعدل الحراري Heat Rate عند الاستطاعة الصغرى والمعدل الحراري التزايدي بين الاستطاعة الصغرى والعظمى .
- متطلبات الصيانة (الخروج المبرمج) (Scheduled outages).
- احتمالية الفشل: معدل الخروج القسري (forced outage rate) .
- معدلات الانبعاثات الغازية واستخدام الطاقة المحدّد.
- تكاليف استثمار رأس المال (بالنسبة للتوسع المرشح).
- كلفة الوقود المتحولة.
- سعة الاحتياطي الدوار.
- المكونات الثابتة و المتحولة لتكاليف التشغيل والصيانة (عدا الوقود).
- عمر المحطة (للتوسعات المرشحة).

وتوصف المحطات المائية وتعرف كل محطة وفق:

- الاستطاعة المركبة .
- استطاعة طاقة التخزين لخزانات الماء.

- الطاقة المتاحة لكل فترة.
- كلفة استثمار رأس المال (للتوسعات المرشحة).
- تكاليف الصيانة والتشغيل الثابتة.
- عمر المحطة (للتوسعات المرشحة).

يفترض أن وثوقية المحطات المائية % 100 وليس لها كلفة إضافية للماء والحالة العشوائية لطبيعة الماء وتوفره (تغير المخزون المائي) تعالج بواسطة الشروط المائية (حتى خمسة شروط) وكل منها يحدد حسب احتمالية توفر الطاقة لكل مشروع مائي من الحالات المدروسة.

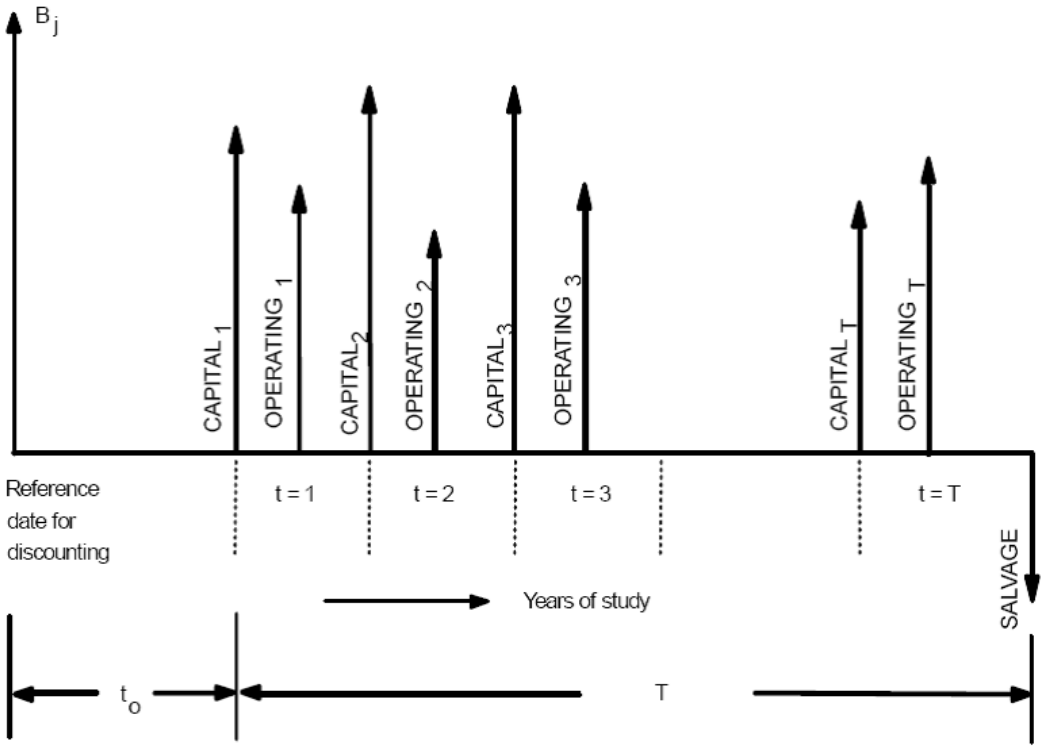
وتمثل محطات التخزين الاحتياطي (الادخارية) من خلال تحديد ما يلي:

- الاستطاعة المركبة.
- مردود الدورة .
- استطاعة الضخ (لكل فترة).
- استطاعة التوليد (لكل فترة).
- التوليد الأعظمي الممكن (لكل فترة).

إن كلفة الطاقة غير المخدمة تعكس الأضرار المتوقعة على اقتصاد المنطقة المدروسة عندما لا يتم تأمين كمية معينة من الطاقة الكهربائية وتمثل ضمن برنامج WASP بمعادلة من الدرجة الثانية وهذه الكلفة تسمح بتحديد كمية الاستطاعة الاحتياطية في نظام الطاقة.

ولحساب القيمة الحالية للتكاليف في المعادلة (4-22) يجري تقدير معاملات القيمة الحالية المستخدمة بافتراض أن رأس المال الاستثماري للمحطة المضافة وفق خطة التوسع قد تم دفعه في بداية سنة دخولها في الخدمة بينما تمثل القيمة المتبقية منه الرصيد المتبقي في نهاية فترة الدراسة بعد حسم الأقساط السنوية التي تمثل انخفاض قيمتها نتيجة التقادم لمحطة أضيفت من قبل خطة التوسع في بداية سنة دخول المحطة للخدمة وقيمتها المتبقية هي الدين خلال العمر الاقتصادي للمحطة أما باقي التكاليف فتحسب بافتراض أنها تحصل بمنتصف السنة.

ويبين الشكل(4-30) مخططاً توضيحياً لهذه الافتراضات.



B_j تابع الهدف (الكلفة الكلية) لخطة التوسع.

Capital 1 مجموع التكاليف الاستثمارية لكل الوحدات المضافة في السنة الأولى من الدراسة.

Operating 1 مجموع تكاليف التشغيل الكلية للنظام(وقود،O&M،الطاقة غير المخدمة)في السنة الأولى من الدراسة.

Salvage مجموع القيم المتبقية لكل المحطات خلال فترة الدراسة.

t_0 عدد السنوات بين التاريخ المرجعي للحسم والسنة الأولى من الدراسة .

T مدة فترة الدراسة بالسنوات.

الشكل (4-30) : مخطط الجريان النقدي لخطة توسع وفق برنامج WASP-IV [9]

استناداً إلى ما سبق تحسب عناصر التابع Bj في المعادلة (4-22) والذي يوضحه الشكل (4-30) كالآتي:

1. حساب كلفة رأس المال والقيمة المتبقية:

$$\bar{I}_{j.t} = (1+i)^{-t'} \times \sum[UI_k \times MW_k] \qquad (4\text{-}31)$$

$$\bar{S}_{j.t} = (1+i)^{-T'} \times \sum[\delta_{k.t} \times UI_k \times MW_k] \qquad (4\text{-}32)$$

حيث: $\bar{I}_{.t}$ كلفة رأس المال $\bar{S}_{j.t}$ القيمة المتبقية من رأس المال

$\sum$: المجموع ويحسب لكل الوحدات k المضافة بالسنة t ضمن خطة التوسع j.

UI_k : الكلفة الكلية للوحدة kمقدرة بالوحدة نقدية لكل MW.

MW_k : استطاعة الوحدة k مقدرة بـــ MW.

$\delta_{k.t}$: معامل القيمة المتبقية لوحدة k خلال فترة السنة .

$t' = t + t_0 - 1$.

$T+t_0=T'$.

i : معدل الحسم.

t_0 : عدد السنوات بين التاريخ المرجعي للحسم وأول سنة من الدراسة.

T: عدد سنوات الدراسة.

2. كلفة الوقود المستخدم :

$$F_{j.t} = (1 + i)^{-t'-0.5} \times \sum_{h=1}^{NHYD} [\alpha_h \times \varphi_{j.t.h}] \qquad (4\text{-}33)$$

حيث :

α_h : احتمالية الحالة المائية h.

$\varphi_{j.t.h}$: تكاليف الوقود الكلية (مجموع تكاليف الوقود للمحطات الحرارية والنووية)لكل حالة مائية، [M$].

NHYD : عدد الحالات المائية الكلي .

تستخدم محاكاة احتمالية لحساب الطاقة المولدة من كل وحدة ضمن النظام والتي تأخذ بعين الاعتبار الخروج القسري للوحدات الحرارية الذي سيؤثر على بقية المحطات حيث تحصل زيادة في توليد وحدات حمل الذروة لتغطية النقص الناتج عن الخروج المبرمج أو الفشل في وحدات حمل الأساس ، وبالآتي زيادة تكاليف التوليد المتوقعة للنظام .

3. تكاليف الصيانة والتشغيل :

$$\bar{M}_{j,t} = (1 + i)^{-t'-0.5} \times \sum [UF_{O\&M_L} \times MW_L + UV_{O\&M_L} \times G_{(L,t)}]$$

(4-35)

حيث :

$\sum$المجموع لكل الوحدات (L) الموجودة في النظام في السنة (t)

$UF_{O\&M_L}$: الكلفة الواحدية الثابتة للصيانة والتشغيل مقدرة بـــ وحدة نقدية لكلMW-year.

$UV_{O\&M_L}$: الكلفة الواحدية المتغيرة للصيانة والتشغيل مقدرة بـــ وحدة نقدية لكل kWh.

$G_{L,t}$: التوليد المتوقع للوحدة L في السنة t بـــ [kWh] وتحسب كمجموع الطاقة المولدة في الوحدة لكل حالة مائية حسب احتماليات الحالة الهيدروليكية.

4. تكاليف الطاقة غير المخدمة:

$$\bar{O}_{j,t} = (1+i)^{-t'-0.5} \sum_{h=1}^{NHYD}\left[a + \frac{b}{2}\times\left(\frac{N_{t,h}}{EA_t}\right) + \frac{c}{3}\times\left(\frac{N_{t,h}}{EA_t}\right)^2\right]\times N_{t,h}\times\alpha_h \quad (4\text{-}36)$$

حيث:

a,b,c : ثوابت مقدرة $\frac{\$}{kWh}$ وتعطى كبيانات دخل.

$N_{t,h}$: كمية الطاقة غير المخدمة [kWh] للحالة المائية h والسنة t .,

EA_t : الطلب على الطاقة [kWh] للنظام في السنة t.

إن المعادلات السابقة تم استخراجها باعتبار كل محطة مرشحة هي عبارة عن وحدة واحدة (one unit) بينما برنامج WASP يعتبر أن التوسع المرشح هو محطة plantوليس وحدة (unit) ويقوم البرنامج بتحديد عدد وحدات كل محطة الذي سيضاف كل سنة.

بالإضافة إلى ذلك يقوم البرنامج بما يلي:

- جمع كلفة رأس المال مع القيمة المتبقية منه.
- جمع تكاليف التشغيل حسب أنماط المحطات(الوقود)
- يفصل النفقات إلى أجنبية ومحلية.
- يسمح بتزايد كل التكاليف خلال فترة الدراسة.
- إمكانية تطبيق معاملات حسم وتزايد لكل سنة وذلك للتكاليف المحلية والأجنبية وتغيير الثوابت في (a,b,c) في معادلة الطاقة غير المخدمة.

ويلخص الجدول (4-4) إمكانيات برنامج WASP-IV

الجدول (4-4) إمكانيات برنامج WASP-IV [9]

المعاملات	الحد الأعظمي
عدد دراسات التخطيط	10
عدد حالات كل دراسة	99
عدد سنوات فترة الدراسة .	30
الفترات خلال السنة .	12
منحني الحمل التراكمي(واحد لكل فترة في السنة ولكل سنة).	360
درجة سلسلة فورييه	100
عدد أنماط المحطات مصنفة حسب نوع الوقود بحيث يحقق :10أنماط حرارية 2 نمط كهر مائي، نمط واحد لمحطة تخزين احتياطي.	12
عدد المحطات الحرارية، ويشمل المحطات في النظام القائم والمرشح (87 إذا استخدمت محطة تخزين احتياطي P-S).	88
أنماط المحطات المرشحة لتوسيع النظام بحيث : 12نمط للحرارية (11إذا استخدمت P-S) ، محطتان مائيتان ولكل محطة 30 وحدة كحد أقصى ، ومحطة واحدة PS ب30 وحدة كحد أقصى.	15
الملوثات البيئية (الإصدارات الغازية)	2
مجموعات المحددات	5
الحالات المائية	5
عدد التشكيلات لكل سنة	500
عدد التشكيلات لكامل فترة الدراسة خلال تنفيذ واحد للبرنامج	5000

4-2-3-وصف وحدات برنامج WASP IV :

يبين الشكل (4-31) مخططاً مبسطاً لجريان المعلومات ضمن البرنامج من الوحدات المختلفة.

ويمكن تنفيذ الوحدتين 1،2 بشكل مستقل عن بعضهما وبأي ترتيب، الوحدة 3 يجب أن تنفذ بعد الوحدة 2 . يجب تنفيذ الوحدات 4،5،6 بالترتيب ، والوحدة السابعة هي REOROBAT التي تقدم تقريراً ملخصاً عن الوحدات الستة السابقة ونتائجها.

فيما يلي توضيح لهذه الوحدات :

- Module 1 , LOADSY (Load System) :

يعالج المعطيات الخاصة بذروة كل فترة من الفترات السنوية و منحني الحمل التراكمي السنوي خلال فترة الدراسة

- Module 2,FIX SYS (Fix System):

يعالج المعلومات التي تصف نظام التوليد الكهربائي القائم والمحطات المزمع إضافتها أو إحالتها للتقاعد، وكذلك المحددات التي يقترح المستثمر إدخالها على الانبعاثات الغازية،كمية الوقود أو الإنتاج السنوي من الطاقة من بعض المحطات .

- Module 3,VAR SYS (Variable System) :

يعالج المعلومات التي تصف محطات التوليد المرشح إضافتها لتوسيع نظام التوليد.

- Module 4,CONGEN (Configuration Generator) :

يحسب كل التشكيلات الممكنة من المحطات المرشحة لدخول النظام كل سنة التي تلبي شروط دخل محددة , وتقوم مع بقية المحطات القائمة في النظام بتغطية طلب الحمل . كذلك يحسب CONGEN ترتيب التحميل الاقتصادي للمحطات المعرفة في الوحدات VARSYS, FIXSYS .

- Module 5,MERSIM(Merge and Simulate) :

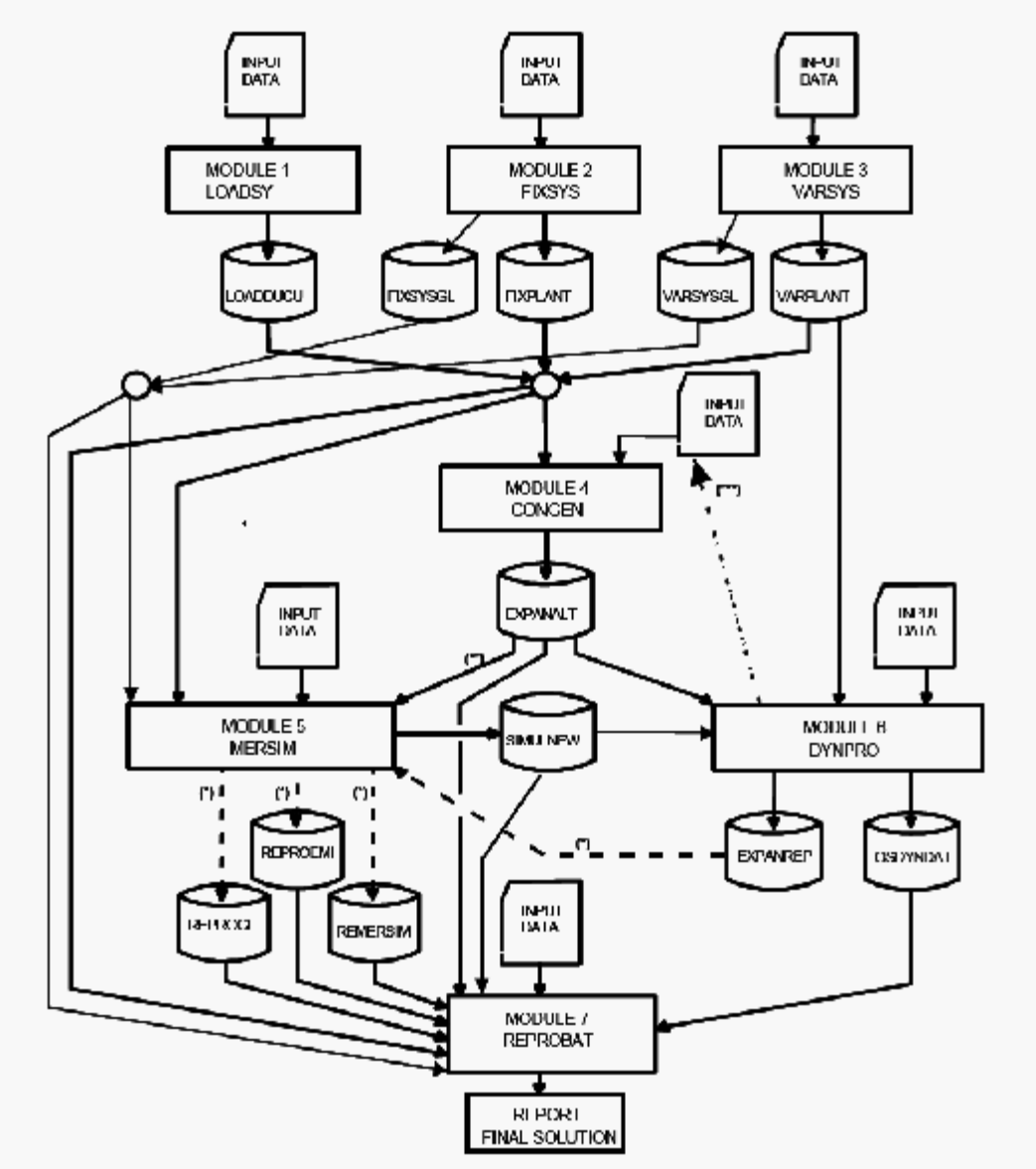
يستقبل كل التشكيلات الناتجة عن CONGEN ويحسب تكاليف الإنتاج وتكلفة الطاقة غير المخدمة و وثوقية النظام لكل تشكيلة باستخدام محاكاة احتمالية لتشغيل النظام . كذلك يأخذ بعين الاعتبار المحددات المفروضة على الإصدارات الغازية والوقود . من ناحية أخرى يقوم MERSIM بتوزيع المحطات اعتماداً على جاهزية المحطة ،ومتطلبات الصيانة ،والاحتياطي الدوار ، ومجموعة المحددات بحيث يحقق الحد الأدنى من الكلفة الكلية .

- Module 6,DYNPRO(Dynamic Programming Optimization):

يحدد خطة التوسع الأمثل بناءً على تكاليف التشغيل الواردة من MERSIM بالإضافة لمعلومات دخله عن تكاليف رأس المال ،تكاليف الطاقة غير المخدمة ، المعاملات الاقتصادية وشروط الوثوقية .

- Module 7,REPROBAT(Report Writer of WASP):

يقدم تقريراً يلخص النتائج الكلية والجزئية لخطة توسيع النظام المثلى ولجداول توسيع ثابتة .



الشكل (4-31) مخطط مبسط لجريان المعلومات ضمن وحدات برنامج WASP-VI [9]

4-2-3-1- وحدات البرنامج:

1- LOADSY :

مهمته معالجة معطيات منحنيات الحمل الكهربائي لسنوات الدراسة حيث يمكن تقسيم السنة إلى فترات متساوية (12 فترة كحد أقصى) يستخدم LOADSY ملف دخل هوLOADSY.DAT يجهز من قبل المستخدم وينتج عنه ملفي خرج هما LOADSY.REP و LOADUCU.BLN .

معطيات دخل LOADSY :

منحني الحمل الكهربائي الواحدي لفترات السنة ويعبر عنه بواسطة كثير حدود من الدرجة الخامسة أو على شكل نقاط تقارب من 50-100 نقطة مختارة من منحني الحمولة المفترض.

تبين المعادلة الآتية الشكل العام لكثير الحدود (المعاملات البولي نوميالية Polynomial):

$$f(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + a_4 x^4 \qquad (4\text{-}37)$$

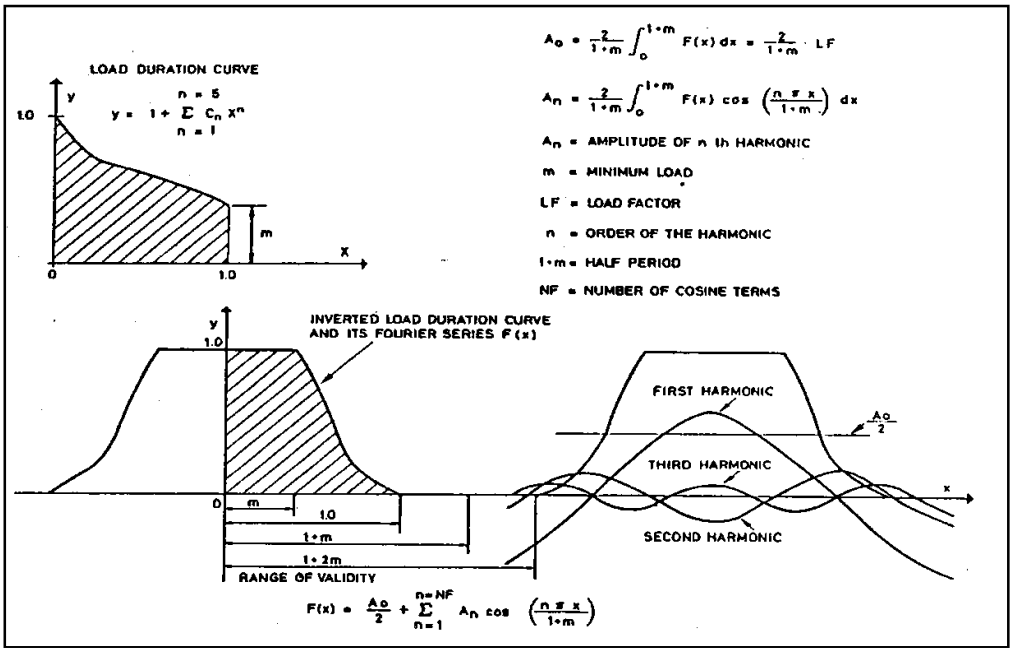
حيث:

$f($

$$f(1) = p_{min} \quad or \quad f(1) = \frac{p_{min}}{p_{max}} \qquad (4\text{-}38)$$

- عدد حدود تحليل فورييه الذي سيستخدم في تمثيل منحني الحمل (حتى 100 حد).
- الذروة السنوية [MW] .
- نسبة ذروة كل فترة من الفترات السنوية بالنسبة للذروة السنوية .

ويبين الشكل (4-32) عملية تمثيل منحني الحمل وفق سلسلة فورييه .



الشكل (4-32) تمثيل منحني الحمل وفق سلسلة فورييه المستخدم في WASP IV [9]

ملاحظة:

يحدد المستثمر السنوات المفصلية خلال فترة الدراسة التي سيجري إدخال معطياتها. كما يختار بين تقرير خرج عادي يتضمن الطاقة المستهلكة ومعاملات الحمل، أو تقرير خرج موسع يتضمن معلومات أكثر عن تحليل فوريه المستخدم، كما ينصح المستثمر باستخراج معامل الحمل الحقيقي لمعطيات الدخل لمقارنته مع معامل المنحني المستنتج من قبل البرنامج.

2- FIXSYS :

يتضمن كافة المعلومات الضرورية عن نظام التوليد القائم والمحطات المقرر إنشائها حتماً (عادة توجد لدى الجهات المسؤولة خطط لبناء محطات توليد جديدة خلال عدة سنوات مقررة) يجب إعداد الدخل تماماً كما سيوضح لاحقاً ، ينتج عن هذا الموديل الملفات الآتية :

"FIXPLANT.BIN","FIXSYSGL.WRK","FIXSYSGL.DBG" and "FIXSYS . REP"

ويبين الجدول (4-5) دخل الموديل بالنسبة للمحطات الحرارية مع التأكيد على ضرورة توخي الدقة في الأرقام المدخلة واستخدام نفس الواحدات .ويتيح WASP-FIXSYS تعريف نمطين من محطات التوليد المائية يحدد لكل منهما تكاليف التشغيل والصيانة [KW- month/ وحدة نقدية] ولكل منها 30 وحدة توليد كحد أقصى ويبين الجدول (4-6) معطيات الدخل اللازمة لمحطات التوليد المائي.

كما يمكن تعريف محطة تخزين احتياطي واحدة Pumped Storage ولكل منها 30 وحدة توليد كحد أقصى ، حيث يحدد للمحطة والوحدات المواصفات المبينة في الجدول .(4-7)

الجدول (4-5) مدخلات المحطات الحرارية [9]

دخل الموديل FIXSYS			
Number of Units			عدد وحدات التوليد ضمن المحطة
Min Capacity (MW)			الاستطاعة الصغرى [MW]
Aver Capacity (MW)			الاستطاعة المتاحة [MW]
Fuel Type			نوع الوقود
Heat Rate [kcal/kWh]	Min Capacity	الاستطاعة الصغرى	معدل المردود الحراري[kcal/kWh]
	Average	المتوسطة	
Spinning reserve			الاحتياطي الدوار%
Forced Outage %			معدل الخروج القسري %
Schedule Outage [day/year]			الخروج المجدول [day/year]
Maint Glass [MW]			فئة الصيانة [MW]
Fuel Price[b/ Gcal]			سعر الوقود [Cent /Gcal]
Operating&Maintenance costs	Fixed $/[KW-month]	الثابتة $ /[KW- month]	تكاليف الصيانة والتشغيل
	Variable $/[MWh]	المتحولة [$/MW]	
Energy content[Kcal/kg]			المحتوى الحراري [Kcal/Kg]
Emission Factors	[%WT OF FUEL]		معامل الإصدارات الغازية (تنسب

الجدول (4-6) مدخلات المحطات المائية[9]

Year of Operation				سنة التشغيل	
Installed Capacity [MW]				الاستطاعة التركيبية [MW]	
Energy Storage [GWh]				الطاقة التخزينية [GWh]	
Hydro Condition i		Annual Electricity Generation [GWh]	التوليد السنوي [GWh]		الحالة الهيدروليكية i
	Year Periods	Inflow Energy [GWh]&%	طاقة الجريان [GWh]&%	الفترات السنوية	
		Min. Generation [GWh]&%	التوليد الأصغري [GWh]&%		
		Available Capacity [MW]&%	الاستطاعة المتاحة [MW]		

الجدول (4-7) دخل محطة التخزين الادخارية[9]

Fixed O&M cost [$/KW-month]		تكاليف الصيانة والتشغيل الثابتة [$/KW-month]	
Installed Capacity [MW]		الاستطاعة التركيبية [MW]	
Cycle Efficiency [%]		مردود الدورة [%]	
Year of Operation		سنة التشغيل	
Pumped Units	Pumping Capacity [MW]	استطاعة الضخ [MW]	**وحدات التخزين الاحتياطي**
	Generation Capacity [MW]	استطاعة التوليد [MW]	
	[GWh]Max Feasible Eneagy	الطاقة القصوى الممكنة [GWh]	

ويمكن من ناحية أخرى تعريف من 1 إلى 5 شروط حدية بالنسبة لوحدات توليد يعينها المستثمر وفق الجدول (4-8) مع ملاحظة أن المستثمر يجب أن يعرف بدايةً عدد الشروط الحدية واسمي غازين منبعثين والممكن تعريفهما ضمن البرنامج ولابد من التنويه إلى ضرورة تلاؤم تعاريف الشروط الحدية بين FIXSYS وVARSYS.

الجدول (4-8) الشروط الحدية[9]

الدليل	المحدد	الواحدة
1	كمية الوقود	KT
2	الانبعاث الغازي (1)	KT
3	الانبعاث الغازي (2)	KT
4	الاستهلاك الحراري	Tcal
5	كمية التوليد الكهربائي	GWh

يمكن للمستثمر تعريف الوحدات المقرر إنشاؤها أو الوحدات التي ستخرج من الخدمة من خلال حقل خاص بكل نمط من أنماط وحدات التوليد المعرفة ضمن البرنامج على أن يشار للمحطات المقرر إنشاؤها بعدد الوحدات المقررة مسبوقاً بإشارة (+) وللمحطات المتقاعدة بإشارة (-) .

كما يتضمن FIXSYS إمكانية تعريف معامل القسر (معامل التغريم) Penalty Factor لاحتمالية فقد الحمل LOLP عند تحديد الاستراتيجيات المثالية، قيمته النظامية = 0 .

ومعامل التغريم للطاقة غير المخدمة قيمته النظامية = 1 .

3- VARSYS :

يتعامل VARSYSمع ملف دخل هو VARSYS.DAT (يحضر من قبل المستثمر) ويولد أربع ملفات خرج هي :

“VARSYS.REP”, “ VARSYSGL.WRK”, “VARPLANT.BIN”
“VARSYS.DBG”

الغاية من هذا الجزء تعريف الوحدات المرشحة لتكوين نظام التوليد المستقبلي حيث يحدد المستثمر عدد هذه الوحدات ومواصفاتها التقنية والاقتصادية تماماً كما جرى تعريف وحدات النظام القائم في الجدول (4-5) كذلك يمكن تعريف المجموعات الحدية و الانبعاثات الغازية بالتوافق مع FIXSYS ويبلغ العدد الأقصى المسموح لأنماط وحدات التوليد 12 في حال عدم تعريف محطات PS و 11 وحدة عند تعريف نمط وحدة PS ونمطين للوحدات المائية.

4- CONGEN :

يستقبل CONGEN دخله من المستثمر عبر ملف CONGEN.DAT ومن خرج الوحدات الثلاث

إعادة تنفيذه خلال تكرارات التنفيذ للبرنامج WASP فإن CONGEN يستقبل معلومات عن محاكاة التشكيلات السابقة المنفذة من قبل MERSIM عبر ملف SIMULOLD.BIN أما خرج CONGEN فيخزن في ملفي EXPANALT.BIN, CONGEN.REP.

وتتمثل مهمة CONGEN في توليد كافة التشكيلات الممكنة للوحدات المرشحة بما يفي بمتطلبات النظام من طلب على الكهرباء وضمن محددات البرنامج والمخطِّط. يسمح CONGEN بتعريف 14 وحدة توليد مرشحة وتكوين 500 تشكيلة للسنة الواحدة كحد أقصى وبما لا يتجاوز 5000 تشكيلة لكامل السنوات. ويركب التشكيلات الممكنة وفق الحد الأدنى من الوحدات المرشحة والذي يحدده المستثمر ووفق نفق (مجال) يتضمن الحرية المسموحة للبرنامج في زيادة عدد الوحدات والذي يحدده المستثمر أيضاً. يجب أن تحقق هذه التشكيلات متطلبات الطلب على الكهرباء المحدد في LOADSY وضمن مجال هامش الاحتياطي المحدد من قبل المستثمر ويجب الانتباه لعرض النفق (مجال الاختيار) بحيث يمنح البرنامج مسافة رؤية كافية للمقارنة بين الوحدات خلال عملية إيجاد الحل الأمثل وكذلك بحيث لا يتجاوز عدد التشكيلات الحد المسموح به، حسب المثال المبين فإن احتمالات الوحدة CC هي 1 أو 2 أو 3 ضمن مختلف التشكيلات وعدد التشكيلات الكلي للسنة المعينة : 2X3X3X2X3X2=216 .

HYD2	HYD1	NUC	CC	LIGN	COAL	Units
0	1	0	2	1	0	Minimum
1	2	1	2	2	1	Tunnel Width

: MERSIM -5

الوحدة الخامسة في WASP وله 17 ملف دخل وخرج يقوم المستثمر بإعداد ملف الدخل MERSIM.DAT فقط أما بقية ملفات الدخل فهي خرج الوحدات السابقة وهي:

"LOADDUCU.BIN";"FIXPLANT.BIN";"FIXSYSGL.WRK"
"VARPLANT.BIN";"VARSYSGL.WRK";"EXPANALT.BIN").

وخلال التنفيذ المتحول يضاف ملف دخل أخر ناتج عن التنفيذ السابق هو SIMULOLD.BIN يتضمن التشكيلات خلال التنفيذ السابق.

ينتج MERSIM أربع ملفات نصية تحوي خرجه هي:"MERSIM 2.REP"
;"MERSIM1.REP" "MERSIM3.REP"and"GROUPLIM.REP"

بالإضافة لتوليد ملفات بينية تستخدمها الوحدات الآتية ومن أجل التنفيذ المتكرر هي : SIMULNEW.BIN SIMGRAPH.BIN . يقوم MERSIM بمحاكاة تشغيل النظام لكل تشكيلة ناتجة عن CONGEN ولكل فترة من السنة ولكل حالة مائية وبالآتي فهو يحدد:

* إنتاج كل وحدة توليد لكل فترة من السنة .

*معامل الاستطاعة .

*تكاليف الوقود.

*تكاليف الصيانة والتشغيل .

*LOLP (يشمل الصيانة).

*الطاقة غير المخدمة .

دخل MERSIM :

- خيارات الخرج .

-ترتيب الحمل.

-عدد حدود تحليل فورييه المستخدم في محاكاة النظام.

-استهلاك الوقود لكل وحدة توليد .

-بقايا الوقود لكل وحدة Fuel Stocks .

-LOLP (للاحتياطي الدوار).

-جدول الصيانة.

-الشروط الحدية .

خرج MERSIM:

يمكن اختيار ثلاث حالات لخرج MERSIM

*Minimum output ويتضمن قائمة بكل التشكيلات وتكاليف كل تشكيلة والقيمة المتوسطة المتوقعة لـــ LOLP مع أو بدون صيانة بالإضافة للطاقة غير المخدمة لكل حالة مائية .

*Intermediate output :بالإضافة للخرج الأصغري يضاف ملخص عن التكاليف السنوية (وقود صيانة وتشغيل) حسب نمط الوقود لوحدات التوليد ولكل حالة مائية .

*Maximum Output : بالإضافة للخرج المتوسط يتضمن تفاصيل ترتيب الحمل ونتائج محاكاة كل تشكيلة لكل فترة ولكل حالة مائية .

: DYNPRO -6

الوحدة الأخيرة في التنفيذ المتحول ويتعامل مع 9 ملفات دخل وخرج، يحضر المستثمر ملف الدخل DYNPRO.DAT أما بقية ملفات الدخل فهي ناتجة عن الوحدات السابقة :

"VARPLANT.BIN"," EXPANALT.BIN", "SIMULNEW.BIN"

وينتج عنه ملفي خرج بينيين "OSDYNDAT.BIN لاستخدامه في REPROBAT وملف EXPANREP.BIN الذي يستخدم من قبل نفس الموديل في إعادة التنفيذ أثناء التنفيذ المتحول.

أما تقرير الخرج فيضمن في ثلاث ملفات هي:

"DYNPRO1.REP" "DYNPRO2.REO" and " DYNPRO3.DBG"

وتتمثل مهمة DYNPRO في توليد خطة التوسع الأمثل لنظام التوليد بالاعتماد على المعلومات الواردة من MERSIM التي تتضمن تكاليف الوقود والصيانة والتشغيل والطاقة غير المخدمة بالإضافة للمعلومات المحددة من قبل المستثمر حول تكاليف رأس المال وتكاليف الطاقة غير المخدمة بالإضافة لبعض البارامترات الاقتصادية

4-2 -4 منهجية إيجاد الحل وفق برنامج WASP-IV :

يحتاج برنامج WASP-IV إلى عدد من المعطيات الضرورية للبحث عن التوسيع الأمثل لنظام التوليد قيد الدراسة .

يبين الجدول (4-9)أهم معطيات البرنامج التي يجب إدخالها أو التي لها تأثير على النتائج.

ولابد من التأكيد على أهمية تحضير المعطيات اللازمة للبرنامج بعناية وبدقة كبيرة قدر الإمكان. فالتغيير في بعض المعطيات قد يؤدي إلى إعادة تنفيذ البرنامج عدة مرات . من ناحية أخرى يقوم البرنامج بالتحقق من بعض المعطيات ذاتياً، كتلك التي يجب أن تتوافق بين عدة وحدات ضمن البرنامج أو للتحقق من قدرة البرنامج على استيعاب بعض المعطيات المحددة ضمن إمكانيات البرنامج. لكنه يتعامل مع المعطيات الأخرى كما هي، وبالآتي لابد من التحقق من المعطيات بدقة والتحقق من خرج كل موديل خلال مرحلة تتبع الأخطاء.

4-2-4-1- التحقق من الدخل وتتبع الأخطاء :

برغم أن الموديلات LOADSY , FIXSYS , VARSYS مستقلة عن بعضها ويمكن تنفيذها بأي ترتيب، إلا أنه يجب أن تكون قد نفذت قبل البدء بتنفيذ CONGEN . بعد التحقق من نتائج هذه الوحدات بعد تنفيذها لا حاجة لتنفيذ أي منها مرة ثانية ، ما لم يظهر خطأ يتعلق بها أثناء تنفيذ بقية الوحدات.

4-2-4-2- التوسيع الثابت Fixed Expansion Plan :

تعني أن يقوم المستثمر بوضع خطة التوسع بناء على الخبرة وبعض الحسابات اليدوية والهدف منها أن يكون المستثمر خبرة بالنظام المستقبلي الممكن وتصوراً له من خلال وضع عدة خطط توسيع ثابت وينصح بإجراء المقارنة بينها لتكوين فكرة أعمق عن النظام والوحدات المرشحة الشكل(4-33)

الجدول (4-9) معطيات البرنامج الواجب إدخالها[9]

TYPE OF DATA	LOADSY	FIXSYS	VARSYS	CONGEN	MERSIM	DYNPRO	REPROBAT
LOAD FORECAST							
First year of study	X	X	-	X	X	X	X
Study period	X	X	-	X	X	X	X
Number of periods per year	X	X	X	X	X	X	X
Load duration curves	X	-	-	-	X	-	-
Maximum demands	X	-	-	X	X	-	X
Seasonal multipliers of peak demands	X	-	-	X	X	-	-
HYDROELECTRIC PROJECTS							
Number of hydro-conditions	-	X	X	-	X	X	X
Probability of hydro-conditions	-	X	X	-	X	-	-
Technical data	-	X	X	X	X	-	X
Grouping of hydro projects	-	X	X	-	X	-	X
Preferred sequences of hydro projects	-	-	X	X	-	X	X
Addition or retirement of projects	-	X	-	X	X	-	X
Spinning reserve capabilities	-	-	-	-	X	-	-
THERMOELECTRIC UNITS							
Technical data	-	X	X	X	X	-	X
Fuel types, heat contents	-	X	X	-	X	-	X
Maintenance requirements	-	X	X	-	X	-	-
Forced outages	-	X	X	-	X	-	-
Spinning reserve capabilities	-	X	X	-	X	-	-
Addition/retirement of units	-	X	-	X	X	-	X
SYSTEM ECONOMICS							
L.O. order of thermal plants	-	X	X	X	X	-	-
Fuel costs	-	X	X	-	X	X	X
O&M (non-fuel) costs	-	X	X	-	X	X	X
Capital investment costs	-	-	-	-	-	X	X
Interest during construction	-	-	-	-	-	X	X
Plant economic life	-	-	-	-	-	X	X
Construction periods	-	-	-	-	-	X	X
Depreciation option	-	-	-	-	-	X	-
Cost of energy not served	-	-	-	-	-	X	X
Reference date for present worth calculations	-	-	-	-	-	X	-
Reference date for calculation of cost escalation	-	-	-	-	-	X	-
Discount rates	-	-	-	-	-	X	X
Escalation rates	-	-	-	-	-	X	X
SYSTEM RELIABILITY							
Maximum and minimum reserve margins	-	-	-	X	-	-	X
LOLP limits	-	-	-	-	-	X	X
Spinning reserve requirements	-	-	-	-	X	-	-
Maximum unit size	-	-	X	X	-	-	-
ACCURACY OF COMPUTATION							
Number of Fourier terms	X	-	-	-	X	-	-
REPORTING OPTIONS	X			X	X	X	X

4-2-4-2-1- المرحلة الأولى :

تنفيذ LOADSY (من أجل درجة تحليل فورييه =1)و FIXSYS و VARSYS ومن ثم قراءة التقرير الناتج للتحقق من صحة معطيات الدخل .

تجدر الإشارة إلى أن منحني الحمل التراكمي للفترات السنوية يتم إدخاله إلىLOADSY وفق إحدى طريقتين الأولى : باستخدام شكل كثير حدود Polynomial Form .

الثانية : باستخدام توزع نقطي Point-Point: إدخال نقاط التقارب المختارة من منحني الحمل المفترض.

وإذا استخدمت الطريقة الثانية فيفضل أن يتحقق المستخدم من صحة نتائج تنفيذ LOADSY بحيث لا يتجاوز الخطأ عن المنحني الحقيقي % 1 وإلا فيفضل اللجوء للطريقة الأولى .

4-2-4-2-2- المرحلة الثانية:

تنفيذ REPROBAT بخيارات خرج مقصورة على VARSYS ، LOADSY ، FIXSYS للتحقق مرة ثانية من المعلومات المتضمنة في الملفات LOADDUCU , FIXPLANT , VARPLANT BIN. الأمر الذي قد يتطلب إجراء بعض التغييرات على معطيات الدخل .

4-2-4-2-3- المرحلة الثالثة :

تنفيذ CONGEN بخطة توسع معدة مسبقاً وخيارات خرج أعظمي بهدف تضمين ملفات الوحدات السابقة في تقرير الخرج والتحقق مرة أخرى من صحة الوحدات الثلاث السابقة ومن توافقها مع CONGEN .

4-2-4-2-4- المرحلة الرابعة :

تنفيذ MERSIM وبخيار طباعة FIXSYS , VARSYS لنفس الأسباب السابقة (فقط للتنفيذ أول مرة) ويجب على المستخدم قراءة النتائج بدقة والتحقق من صحتها وبحال اكتشاف خطأ ما يجب تصحيحه وإعادة التنفيذ قبل الانتقال للخطوة الآتية .

يجب توخي الدقة والحذر في تحديد ترتيب محطات الحمل LO (Loading Order) لأن هذا الترتيب سيؤثر على تكاليف التشغيل المحسوبة في MERSIM كذلك في حال تطبيق محددات على النظام فإن ذلك سيؤثر على ترتيب الحمل (المعلومات التفصيلية حول هذه النقطة مضمنة في ملفي – MERSIM.REP .(GROUPLIM.REP)

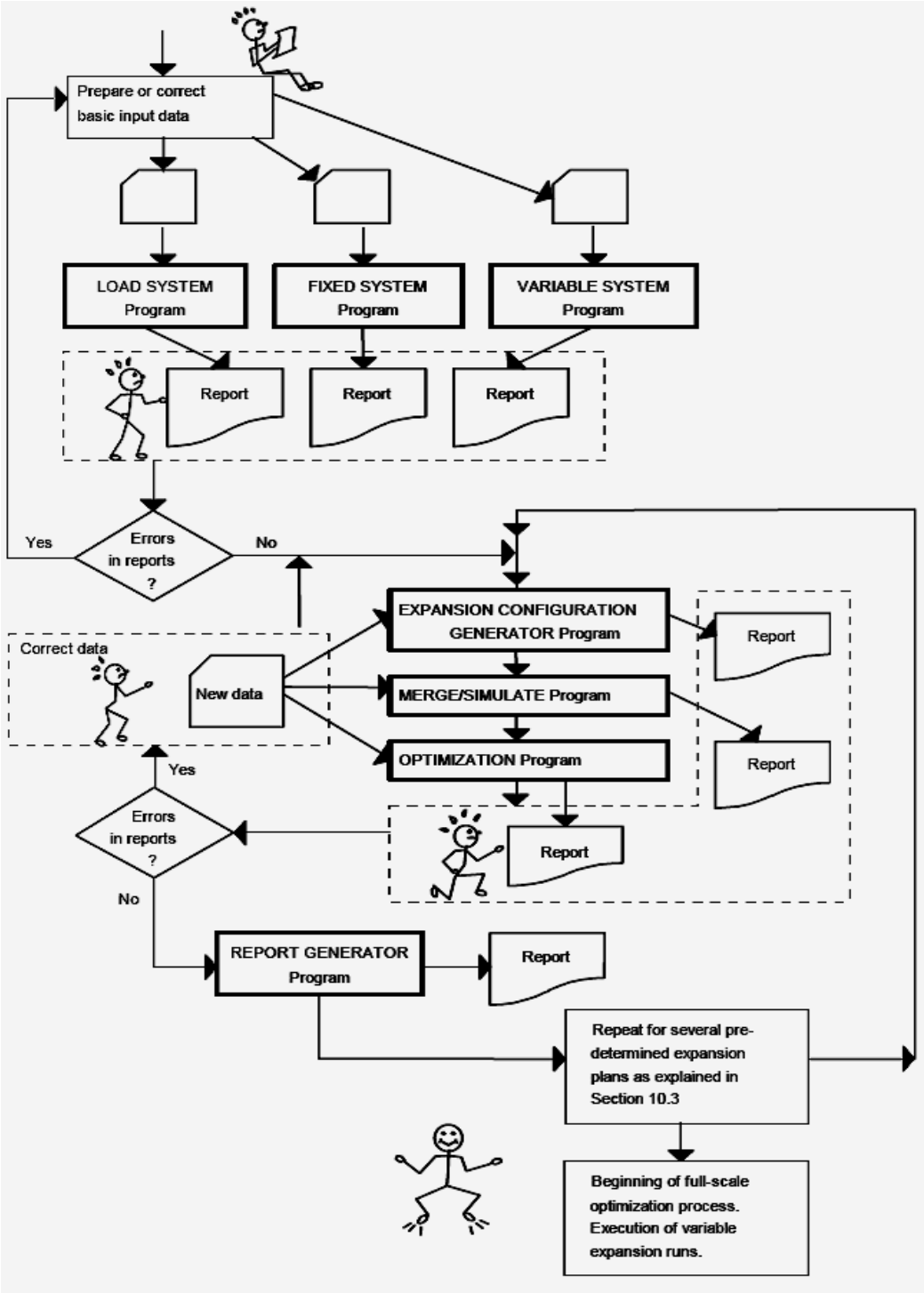
4-2-4-2-5- المرحلة الخامسة :

تنفيذ DYNPRO بعد التأكد من نجاح تنفيذ الوحدات السابقة ومن المفيد هنا أن تحسب تكاليف

الإنتاج السنوية يدوياً من أجل معاملات استطاعة Capacity Factor مختلفة ومقارنتها مع نتائج DYNPRO .

4-2-4-2-6- المرحلة السادسة :

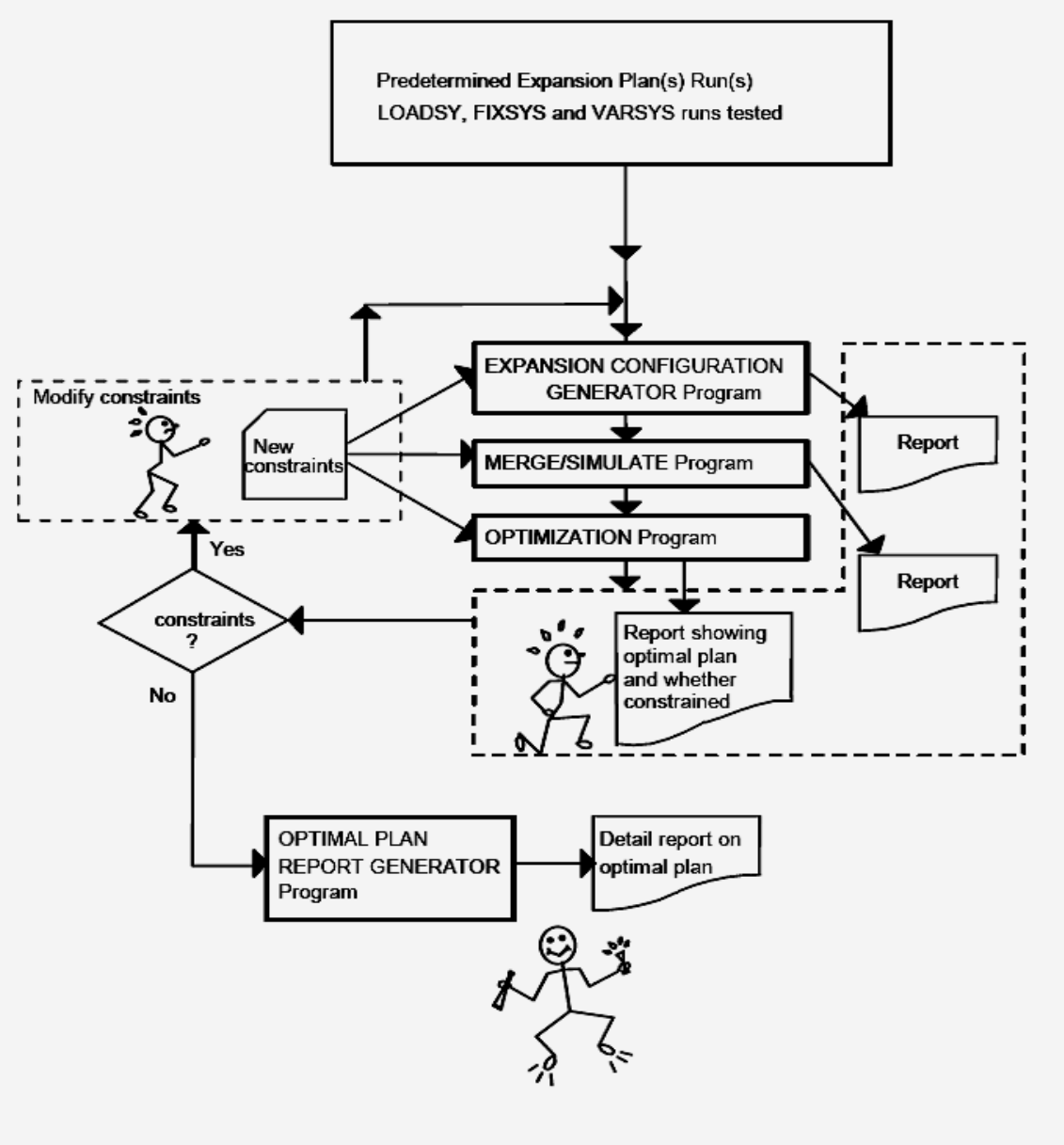
تنفيذ REPROBAT للحصول على تقرير شامل عن الدراسة.



الشكل (4-33) مخطط البرنامج الفرعي [9]

4-2-4-3- تنفيذ خطة التوسع المتحولة Variable Expansion Plans :

يفضل تنفيذ خطط التوسيع المتحولة بعد التأكد من سلامة تنفيذ التوسع الثابت ويبين الشكل (4-34) مخططاً توضيحياً للتنفيذ المتحول للبرنامج.



الشكل (4-34) مخطط التوسع المتحول[9]

كما لابد من الإشارة إلى بعض النقاط المهمة لتنفيذ البرنامج والمبينة بالجدول (4-10).

الجدول (4-10) نقاط تنفيذ التوسع المتحول[9]

ملاحظات	OUTPUT OPTIONS REQUIRED	MODULE	STEP
تعديل عرض النفق أو هامش الإحتياطي أو التشكيلة الصغرى	FIXSYS and VARSYS files not required.	CONGEN	الخطوة 1
ينفذ بعد CONGEN	FIXSYS and VARSYS files not required.	MERSIM	الخطوة 2
	Minimum or Intermediate results of simulation for all years, as required.		
يفضل طلب إظهار حتى خمس حلول ينفذ بعد MERSIM	VARSYS file not required.	DYNPRO	الخطوة 3
	Listing of states considered in the run may be required (optional).		
	Use report options as necessary (e.g. deleting LOADSY, FIXSYS and VARSYS).	REPROBAT	الخطوة 4

4-2-4-3-1- تحضير التشكيلات:

يتم تحضير التشكيلات الصغرى والأنفاق المناسبة لـــ CONGEN وذلك اعتماداً على المعلومات الناتجة عن التنفيذ الثابت للبرنامج ويجب اختيار عرض النفق (مجال الاختيار) بحيث لا يكون كبيراً حتى لا ينتج عدد من التشكيلات تتجاوز الحدود المسموح بها في البرنامج كما أنه يجب ألا يكون صغيراً جداً بحيث تهمل عدداً من التشكيلات الممكنة ويصلح الجدول (4-11) كدليل لتعيين عرض النفق.

الجدول (4-11) عرض النفق[9]

NUMBER OF COMPETING CANDIDATE PLANTS	GUIDE FOR TUNNEL WIDTHS FOR EACH CANDIDATE PLANT	MAXIMUM POSSIBLE NUMBER OF YEARLY CONFIGURATIONS
2	3 to 9	16 to 100
3	2 to 4	27 to 125
4	2 to 3	81 to 256
5	1 to 2	32 to 243
6 or more(*)	1 to 2	64 to 729

4-2-4-3-2- تنفيذ MERSIM:

يفضل تنفيذ هذا الجزء مع الحد الأدنى في خيارات تقرير الخرج minimum printout كما يجب التحقق من أن تنفيذه كان ناجحاً دون أخطاء (في تقرير الخرج يجب أن تنتهي كل سنة بالرقم (-1) كما لابد من الإشارة إلى ضرورة عدم تغيير الدخل أثناء تكرار التنفيذ لأن CONGEN يستفيد من معطيات التنفيذ السابق في التنفيذ الجديد .

4-2-4-3- تنفيذ DYNPRO :

بالحالة العامة فإن تقرير خرج DYNPRO يتضمن حلاً أمثلاً لخطة التوسع المتحولة مع وضع إشارات للتشكيلات التي يمكن تعديل عرض النفق أو الحد الأدنى فيها في كل سنة وتستخدم هذه الإشارات في تعديل CONGEN للتنفيذ الآتي ويساعد الشكل (35-4) في فهم المنطق المتبع في تعديل الحد الأدنى لعدد المحطات المرشحة ومجال اختيار عرض النفق كما يبين تأثير ذلك على تابع التكاليف الكلي .

- **الحالة a :**

التشكيلات الممكنة لعدد الوحدات للمحطة المرشحة 4 أو 5 أو 6 إذا كان التابع الكلي يتبع المنحى المبين بالشكل (35-4) فإن DYNPRO سيختار 4 وحدات للمحطة وسيكتب في التقرير أن الحل مقيد بالحد الأدنى أي سيظهر في التقرير (4-) لأنه لم تتح الفرصة للبرنامج لاختيار تشكيلة 3 وحدات .

- **الحالة b :**

التشكيلات الممكنة 3 أو 4 أو 5 والحل الأفضل هو 4 وحدات .

- **الحالة c :**

التشكيلات الممكنة 0 أو 1 أو 2 وسيختار البرنامج 2 لكن مع الإشارة إلى أن الحل مقيد بالحد الأعلى وسيكتب في التقرير +2 .

- **الحالة d:**

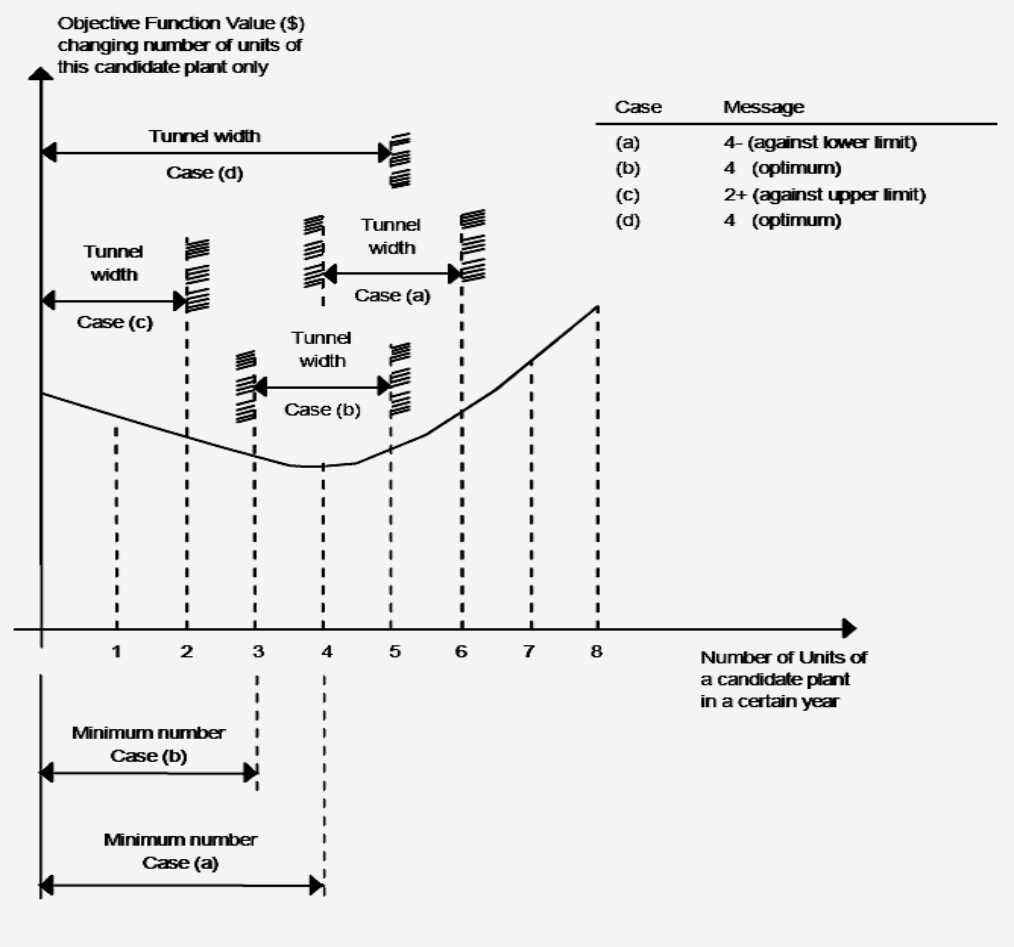
التشكيلات الممكنة 0 أو 1 أو 2 أو 3 أو 4 أو 5 وسيختار البرنامج 4 وحدات .

إذاً يعتبر البرنامج أن الحل الناتج هو الأمثل عندما يتمكن من اختبار التشكيلة بوحدة أعلى وبوحدة أدنى على الأقل ليقر بأمثلية الحل لذلك ينصح باستخدام عرض نفق 2 .

وبعد نجاح أول تنفيذ DYNPRO يحتاج التوصل للحل الأمثل إلى إعادة التنفيذ عدة مرات يتم خلالها تعديل دخل CONGEN حسب رسائل DYNPRO ولابد من تحليل رسائل DYNPRO بعناية للوصول إلى الحل الأمثل بأقل عدد من التكرارات وكقاعدة عامة يفضل الاستجابة لرسائل DYNPRO بتعديل الحد الأدنى لعدد الوحدات ضمن المحطة المرشحة والمحافظة على نفس عرض النفق .

4-2-4-4- تنفيذ REPROBAT :

بعد نجاح الخطوات السابقة والوصول للحل الأمثل ينفذ هذا الموديل للحصول على تقرير كامل عن العمل.



الشكل (35-4) مثال عن كيفية اختيار البرنامج لعدد الوحدات[9]

4-2-5- تحليل الحل الأمثل وفق البرنامج WASP-IV :

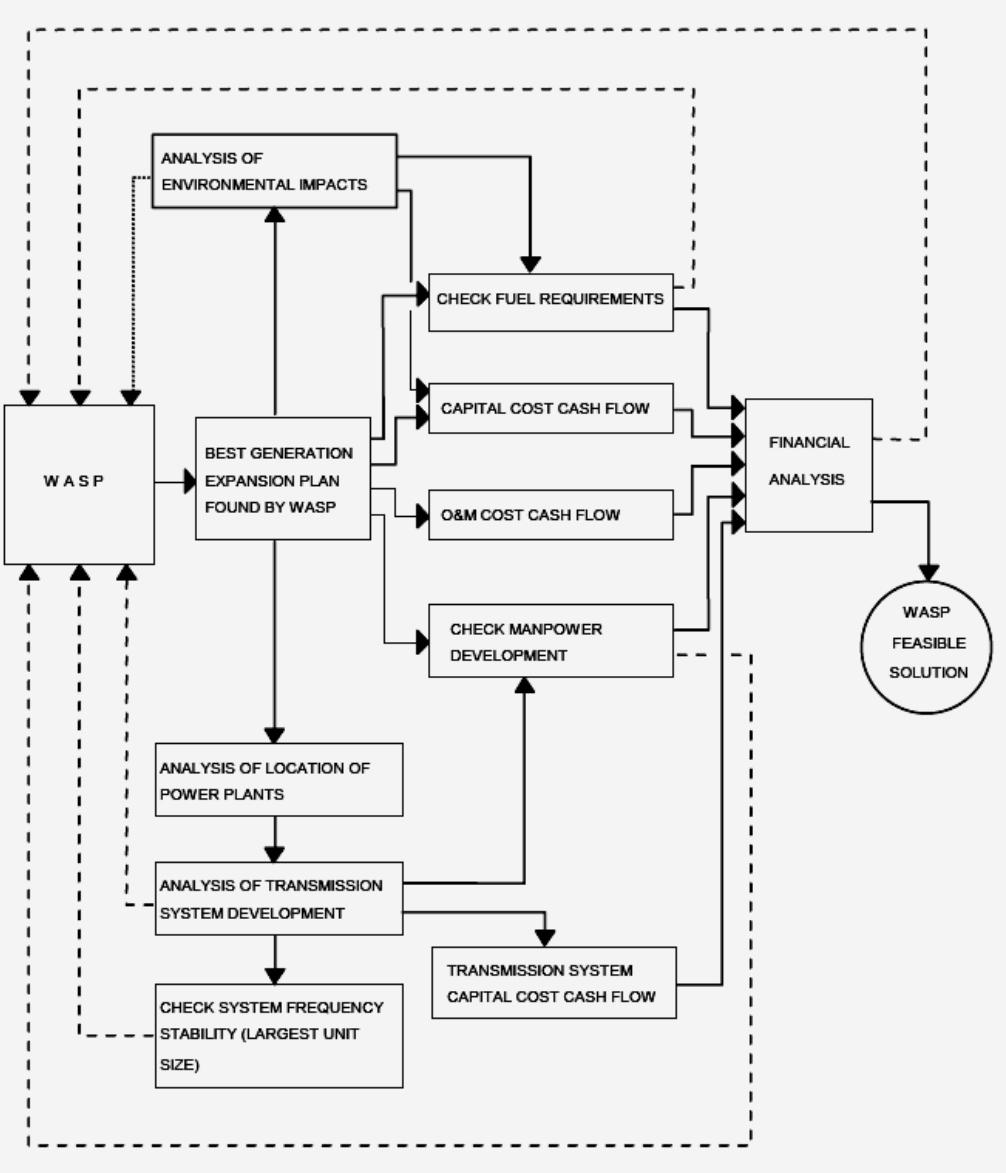
بعد التوصل لخطة التوسع الأمثل بتغطية النظام الكهربائي يجب أن يقوم المستثمر بتحليل هذه الخطة ليحدد إمكانية تطبيق هذا الحل ضمن مواصفات النظام القائم والوضع الاقتصادي للبلد المعني وضمن هذا التحليل يقوم المخطط بالتحقق من النقاط الآتية :

- استقرارية التردد: للتحقق من أن الوحدة ذات الاستطاعة الأكبر لن تؤدي لعدم استقرار تردد النظام.
- تطوير شبكة النقل .
- جدول المحطات المضافة وتكاليفها وتكاليف التشغيل والصيانة للنظام واليد العاملة .
- الوقود الذي سيحتاجه النظام المقترح .
- الإمكانيات التمويلية للبلد المعني والمحددات البيئية.

- وقد ينتج عن هذا التحليل ضرورة إعادة النظر في بعض المعطيات المدخلة للبرنامج وإعادة التنفيذ للوصول لخطة توسع مناسبة لظروف القضية المدروسة. ويبين الشكل (4-36) مخططاً تبسيطياً لسير عملية التحليل السابقة حيث وضعت النقاط المذكورة سابقاً بصناديق مستقلة واستخدمت الأسهم المستمرة لتشير للسير المنطقي العام لعمليات التحليل (لا يشترط الالتزام الكامل بها) أما الأسهم المنقطة فتشير للقضايا التي تحتاج لتنفيذ جديد للبرنامج .

الخلاصة :

من خلال ما تم شرحه عن برنامج WASP-IV يتضح أن هذا البرنامج يتمتع بوثوقية عالية، علماً أن هذا البرنامج قد صمم لدراسة الجدوى الاقتصادية حول دخول أنواع مختلفة من المحطات الحرارية. الأمر الذي يجعله مستخدماً في معظم الدول الكبرى والدول النامية وذلك من أجل تحديد الخطط المستقبلية لديهم في تغطية الحمل المتوقع.كما أنه يتميز بقدرته على حساب كمية الانبعاثات الغازية (CO_2-SO_2) السنوية الصادرة من مجمل المحطات وبالآتي معرفة القيمة الضريبية المفروض دفعها لحماية البيئة.الأمر الأخر الذي يمتاز البرنامج به وفق ما تم شرحه سابقاً هو قدرة البرنامج على تغطية الحمل المتوقع وفق الحل الأمثل، أي بأقل تكاليف اقتصادية ممكنة وبأقل فترة انقطاع محتملة للنظام والحصول على هذا الحل يتطلب دقة في المعلومات المدخلة ودقة في إجراء الحل. علماً أن الحصول على الحل الأمثل يستدعي إعادة الحل وتعديل في المدخلات أكثر من مرة، من خلال التأكد من ناتج نافذة DYNPRO وذلك بالتخلص من كافة الإشارات(-) بالإضافة إلى الحصول على قيم لعامل LOLP مقبولة عالمياً.وبالآتي سنقوم في القسم التطبيقي الآتي بتغطية الحمل وفق الحل الأمثل مع ذكر قيمة هذا العامل.



الشكل (36-4) مخطط التحليل الأمثل[9]

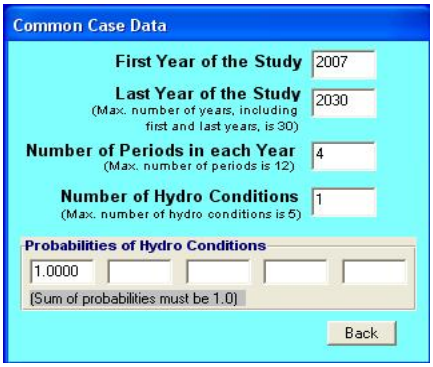
4-2-6: القسم التطبيقي لبرنامج WASP IV :

تم استخدام هذا البرنامج لتغطية الطلب المتوقع على الطاقة الكهربائية خلال فترة محددة تمثل سنوات الدراسة من عام 2007 -2030 بواسطة المحطات الموجودة و المتعاقد عليها و المرشح دخولها في الخدمة وذلك في حالتين: وجود محطات تقليدية فقط و وجود محطات متجددة(ريحية) إلى جانب المحطات التقليدية. وقد تم تجميع كافة المعلومات الضرورية لهذه الدراسة بالتعاون مع وزارة الكهرباء والمركز الوطني لبحوث الطاقة.

4-2-6-1 تحضير الدخل للبرنامج:

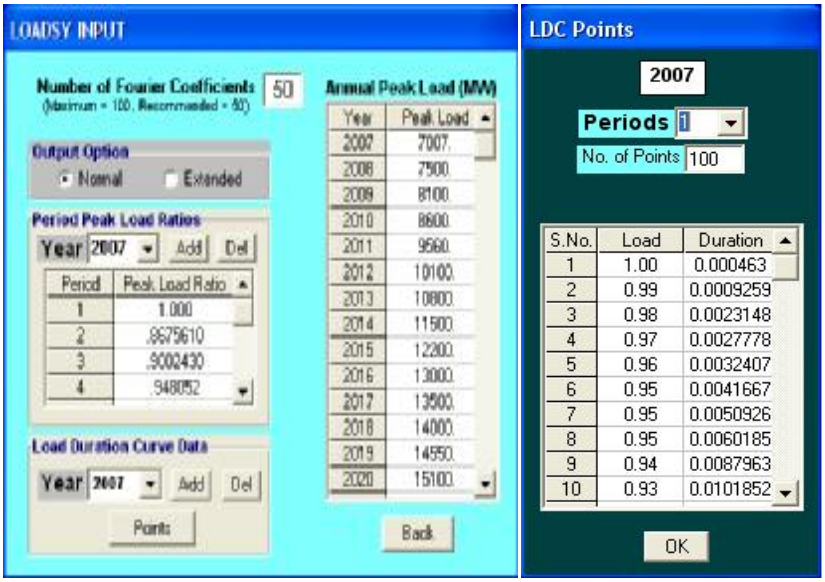
1- نافذة البيانات الرئيسية:

تتضمن تحديد سنة الأساس، سنة نهاية فترة الدراسة، تقسيم السنة الواحدة إلى أربع فترات متساوية كل فترة ثلاثة أشهر وذلك حسب طبيعة البلد المناخية ذات التأثير على الاستهلاك، وتحديد احتمالات الحالة المائية وهنا تعتبر ثابتة(واحد) لأن كمية التدفق المائي الواصل إلينا ثابتة. لهذه النافذة الشكل الآتي:



2- نافذة نظام الحمل:

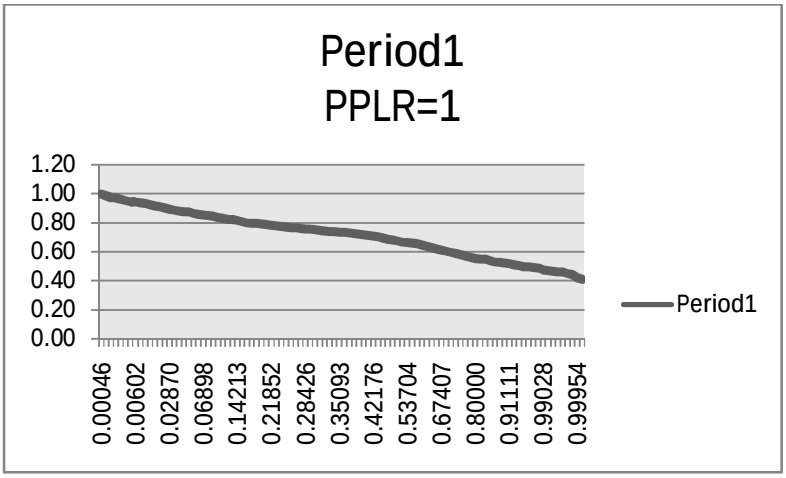
وهي على الشكل:

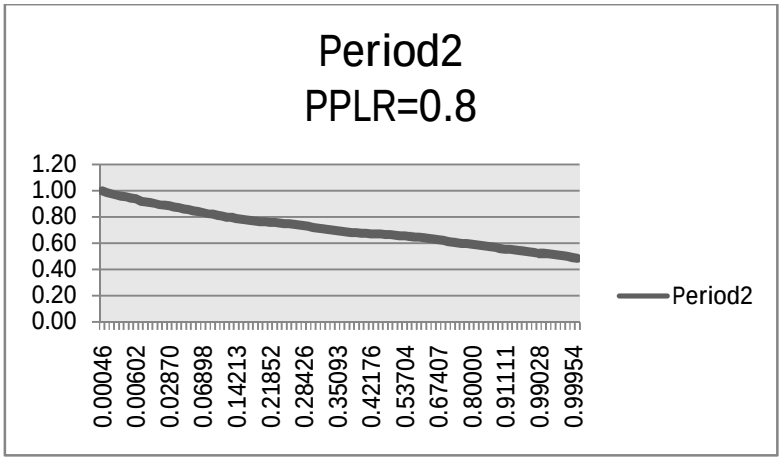


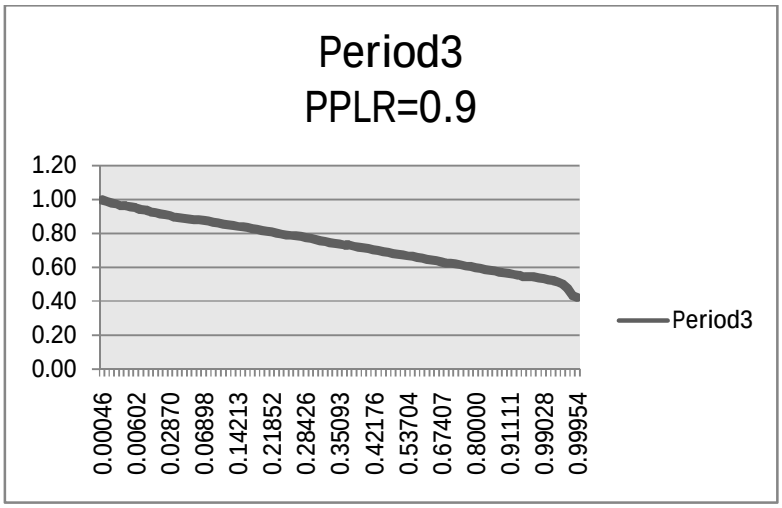
تحتوي توقعات استطاعة الذروة للسنوات القادمة، نسب الذروة لكل فترة من الفترات الأربع السنوية إلى الذروة العامة لسنة الأساس (في هذا البحث 2007)، منحني الحمل التراكمي الواحدي لكل فترة من سنة

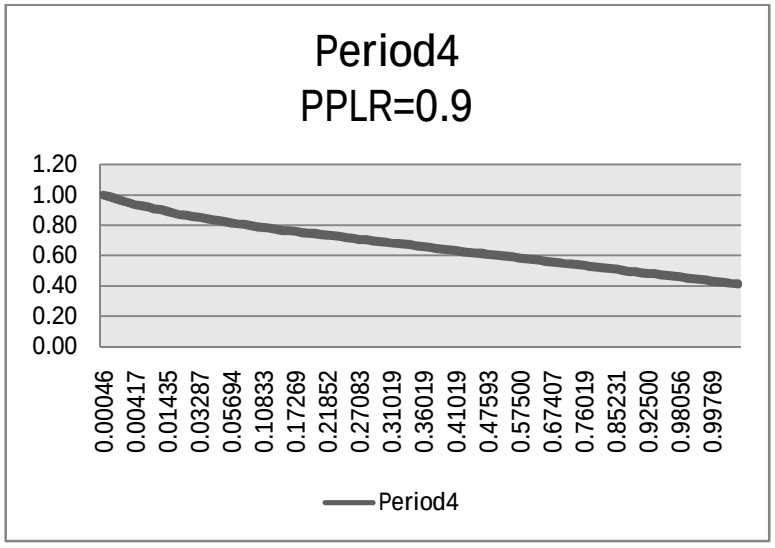
الأساس إذ يتم اختيار 100 نقطة منه بحيث نحصل على منحني يشابه منحني الحمل التراكمي الكلي ثم ندخلها للبرنامج.

هذه المنحنيات هي:









الشكل (37-4)منحنيات الحمل التراكمية لكل فترة من السنة

في هذا البحث تم اعتماد ثلاث سيناريوهات لتوقع الطلب على استطاعة الذروة:

أ- السيناريو المرجعي: سيناريو حفظ الطاقة من وزارة الكهرباء المتوقع فيه نسبة النمو الوسطية للفترة الأولى حتى عام 2016هي 6,9% ولباقي المدة حتى عام 2030 هي 4,8%.

ب-السيناريو العالي: تمت زيادة التوقع المرجعي بمقدار 200م.و لعام 2009 ثم اعتماد نسب النمو المتوقعة من قبل وزارة الكهرباء حتى عام 2030.

ت- السيناريو المنخفض: بإنقاص التوقع لعام 2009 بمقدار 100م.و ثم اعتماد نسب النمو المذكورة.

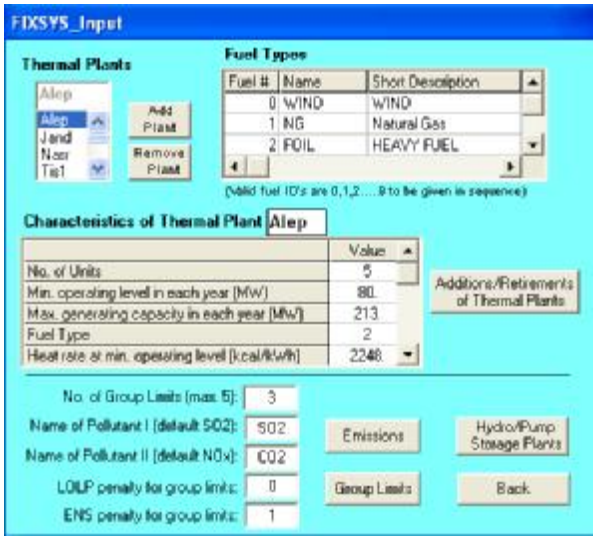
وهذه السيناريوهات على الشكل الآتي:

	Low	Ref	High
2007	6566	6566	6566
2008	6675	6675	6675
2009	6900	7000	7200
2010	7400	7600	8500
2011	7900	8100	9000
2012	8500	8700	9700
2013	8900	9200	10200
2014	9400	9800	10900
2015	9900	10500	11500
2016	10400	11200	12500
2017	10900	11900	13300
2018	11500	12450	13900
2019	12000	13100	14600
2020	12500	13750	15300
2021	13000	14600	16300

2022	13500	15100	16800
2023	14100	16000	17800
2024	14500	17000	18900
2025	14900	17800	19800
2026	15300	18700	20800
2027	15700	19450	21700
2028	16100	20250	22500
2029	16500	21000	23400
2030	17100	21800	24200

3- نافذة النظام القائم:

تحتوي مواصفات محطات توليد الطاقة الكهربائية التقليدية القائمة والمتعاقد عليها في المستقبل القريب الجدول ، مواصفات المحطات الكهرومائية، الجدول الزمني لإضافة وتقاعد المحطات الموجودة وقد تم الحصول على البيانات السابقة من وزارة الكهرباء ، تحديد نوعين من الغازات المنبعثة من المحطات وتحديد لأسماء المحطات المصدرة لكل نوع، إمكانية وضع المحددات التي يرغب المستثمر بفرضها مثل كمية الغاز المنبعث،كمية الوقود المستهلك، كمية الطاقة المنتجة..... كما في الشكل:



أما نوع الوقود المستخدم ورمزه فهو موضح في الجدول الآتي:

0	wind
1	Natural Gas
2	Heavy Fuel
3	Distillate oil
4	Diesel oil
5	solar
6	imported

الجدول (12-4)مواصفات محطات التوليد القائمة والمخطط لدخولها [10]

	NAME	NO OF UNIT	Min. Load (MW)	capacity (MW)	Heat rate Min. kcal/kwh	Ave. incre (kcal/kwh)	Domestic fuel (c/million kcals)	foreign fuel (c/ million kcals)	Type Fuel	Spinning reser %,	foresed outege rate %,	main dayes	fix O&M ($ /kw - month)	varO&M ($/MWH)	Pollutant so2) (%wt. of fuel)	Pollutant Co2) (%wt. of fuel)
0	Alep	5	80	213	2248	2019	1609.2621		2	10	10	30	0.08	0.82	4.9	286
1	Jand	2	105	330	2235	1582	8487		1	10	4	30	0.06	0.7	0	230
2	Nasr	1	115	450	2540	1564	8487		1	10	4	30	0.07	0.84	0	230
3	Tish1	2	120	200	2580	2020	1609.2621		2	10	10	40	0.02	0.29	4.9	286
4	Tish3	2	35	115	2700	2443	8487		1	10	4	30	0.02	0.28	0	230
5	Meh1	2	80	135	2605	2364	1609.2621		2	10	12	50	0.06	0.5	4.9	286
6	Meh3	2	80	165	2605	2395	1609.2621		2	10	12	50	0.05	0.48	4.9	286
7	Zez	1	115	450	2540	1613	8487		1	10	4	30	0.08	1.05	0	230
8	Alza	3	66	220	2282	2016	1609.2621		2	10	10	40	0.06	0.59	4.9	286
9	Ban1	2	70	165	2420	2364	1609.2621		2	10	12	50	0.04	0.3	4.9	286
10	Ban3	2	80	135	2900	2735	1609.2621		2	10	12	50	0.05	0.3	4.9	286
11	Tay1	3	10	35	3551	2411	8487		1	10	8	30	0.07	0.38	0	230
12	Swed1	5	10	35	3551	2411	8487		1	8	5	30	0.06	1.2	0	230
13	AdC	0	250	750	2266	1425	8487		1	10	4	16	0.9	2	0	230
14	Ezzo	0	250	750	2266	1425	8487		1	10	4	16	0.9	2	0	230
15	Impo	0	100	100	2000	1500	3000		6	0	0	0	0	0	0	0
16	TshC	0	115	450	2314	1590	8487		1	10	4	30	0.9	2	0	230
17	TshS	0	66	200	2248	2035	1609.2621		2	10	12	50	0.4	2	4.9	286
18	NasG	0	35	150	2314	2707	8487		1	10	12	25	0.09	2	0	230
19	Dral	0	250	750	2266	1189	8487		1	10	4	16	0.9	2	0	230
20	BanG	0	35	150	2615	2222	8487		1	10	4	20	0.9	2	0	230
21	SwedC	0	115	450	3436	1306	8487		1	10	5	20	0.9	2	0	230
22	AzR	0	300	600	2248	1962	1609.2621		2	10	12	50	0.4	2	4.9	286
23	JanC	0	115	450	2314	1590		8487	1	10	4	16	0.9	2	0	230
24	NaSD	0	18	216	4000	2400		8446	3	0	2	10	1.25	1	0	230
25	DEZ	0	70	360	4000	2400		8446	3	0	2	10	1.25	1	0	230
26	NasC	0	115	450	2314	1590		8487	1	10	4	16	0.9	2	0	230
27	Sola	0	50	200	0	0	0	0	5	2	2	12	0.01	0.02	0	0
28	Wind	0	10	50	0	0	0	0	9	0	2	12	0.01	0.02	0	0

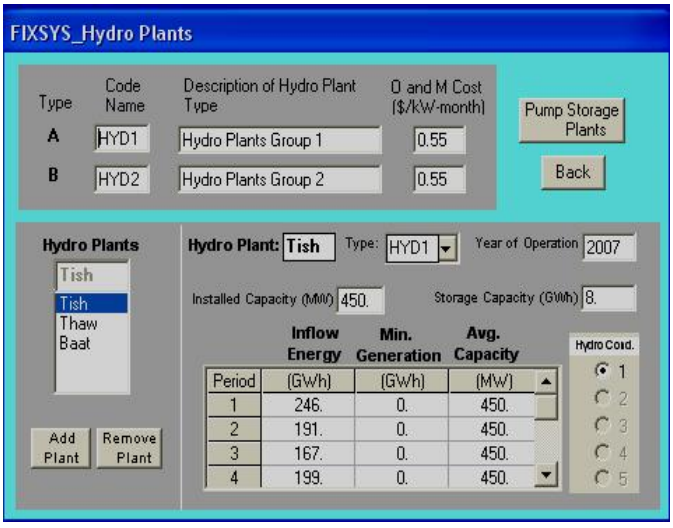
ويوضح الجدول (13-4) استطاعات المحطات المائية (سد تشرين، سد البعث، سد الثورة) خلال الفترات الأربع، وقد تم اعتماد قيمة تكاليف الصيانة والتشغيل الثابتة (0,55 دولار/كيلو واط شهري) .

كما أنه من المتوقع دخول محطة ضخ تخزيني(محطة ادخارية) في منطقة حلبية-زلبية في عام 2019 باستطاعة 1200 م.و، بمردود 80% ، وفيها قيمة تكاليف الصيانة والتشغيل الثابتة (10 دولار /كيلو واط شهري).

الجدول (13-4) استطاعات المحطات المائية [10]

		1	2	3	4
Tishreen	Inflow energy GWH	246	191	167	199
	Ave Capacity MW	450			
Bath	Inflow energy GWH	413	319	279	319
	Ave Capacity MW	700			
Thawra	Inflow energy GWH	66	50	44	50
	Ave Capacity MW	50			

ونافذة تعريف المحطات المائية كما يلي:



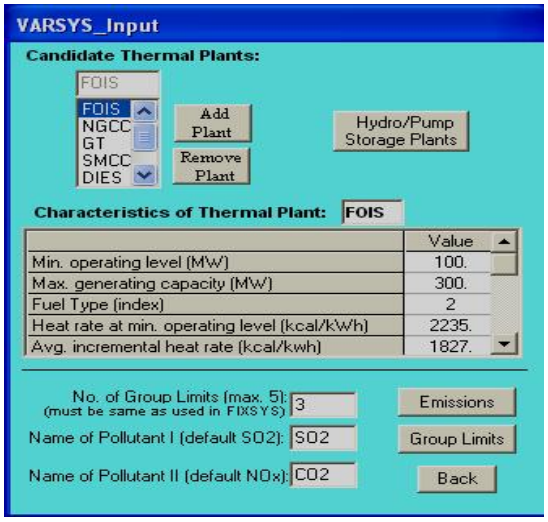
الجدول(4-14) الجدول الزمني لدخول وخروج المحطات في نظام الطاقة الكهربائية [10]

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Alep																		-3	-2	
Jand																				-2
Tay1																-3				
Swe1											-1	-2	-2							
ALIC	1																			
Ezzo					1															
Impo			-2	-1																
TSHC			1																	
TSHS						1	1													
NASG							2													
DRAL						1														
BANG		1	1																	
SWED						1														
ALZR				1	1															
janc					1															
NASD				1																
DEZ					1															
NASC							1													
Sola			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
wind					1															

4- نافذة النظام المرشح:

تحتوي مواصفات محطات توليد الطاقة الكهربائية المرشح دخولها في النظام، وتهدف التوجهات العامة لوزارة الكهرباء إلى الاعتماد على المحطات العاملة على الغاز كوقود نظراً لمحدودية المخزون النفطي، مثل محطات الدارة المركبةNGCC(750م.و) محطات الدارة المركبة الصغرىSMCC(450م.و) بالإضافة للمحطات البخاريةFIOS (300م.و) حيث تتم تغطية الحمل بها إلى جانب المحطات الغازية GT(150م.و) ومحطات الديزل DIES(200م.و) ومحطات الطاقة المتجددة (الريحية و الشمسية) و المحطات الكهرومائية.

ويبين الجدول (4-15) المواصفات الفنية والاقتصادية للمحطات المقترحة.

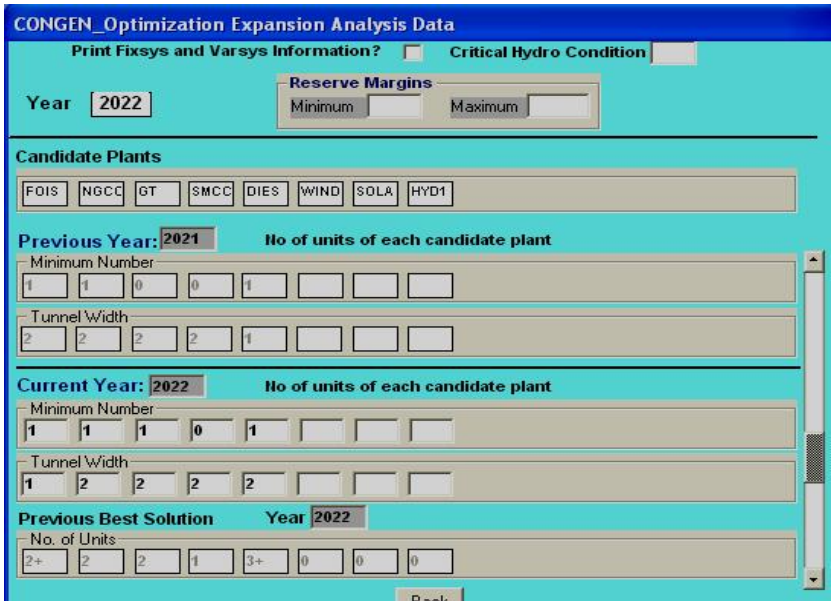


الجدول (15-4) المواصفات الفنية والاقتصادية للمحطات المقترحة [10]

NAME	FOIS	NGCC	GT	SMCC	DIES	WIND	SOLA
NO OF UNIT	0	0	0	0	0	0	0
Min. Load (MW)	100	250	30	150	70	20	100
Max.generation capacity in each year (MW)	300	750	150	450	210	100	100
Heat rate at Min. operation level kcal/kwh	2235	2266	2540	2314	4000	0	0
Ave. incremental heat rate (kcal/kwh)	1827	1425	1800	1590	2400	0	0
Domestic fuel cost (c/million kcals)	0	0	0	0	0	0	0
foreign fuel cost (c/ million kcals)	1809/2821	8487	8487	8487	8446	0	0
Spinning reserveas % of uint capacity	10	10	10	10	0	0	0
foresed outege rate %	4	4	4	4	4	2	2
schedulad maintenance dayes per year	30	16	15	30	15	15	15
fixsed O&M cost ($ /kw - month)	2	1.2	0.7	0.9	1.25	0.01	0.01
variabel O&M cost ($/MWH)	3	2.2	1	2	1	0.02	0.02
HEAT VALUE (kcal / kg)	9000	9000	9000	9000	10000	0	0
Pollutant emission (as default so2) (%wt. of fuel)	4.9	0	0	0	0	0	0
Pollutant emission (as default Nox) (%wt. of fuel)	286	230	230	230	230	0	0

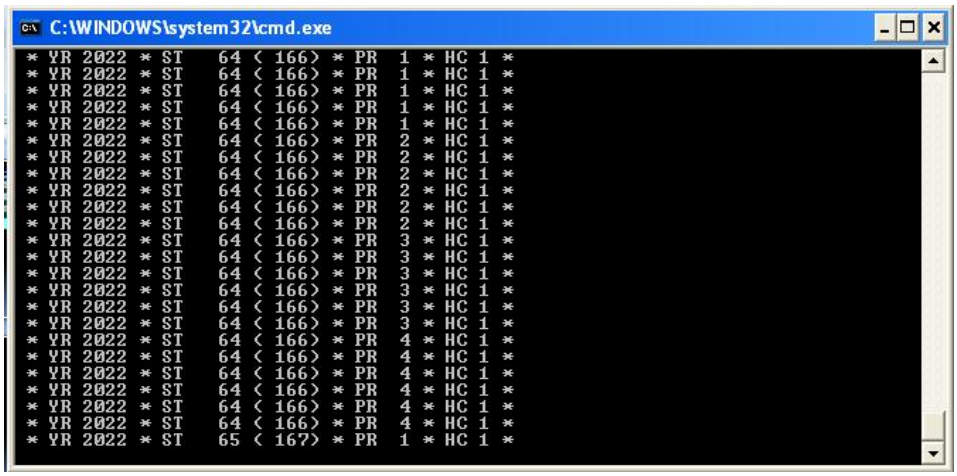
5- نافذة مولد التشكيلات:

نقوم كمرحلة أولى بتغطية الحمل حسب الحاجة من خلال إضافة المحطات المرشحة في هذه النافذة(congen) ونعطي حدود مجال(عرض نفق) لكل نوع من المحطات المرشحة يستطيع البرنامج من خلالها اختيار العدد المناسب من هذا النوع.



6- نافذة Mersim:

يقوم البرنامج من خلال هذه المرحلة بالمقارنة بين الحلول والتشكيلات المقترحة فيأخذ بعين الاعتبار المجال المعطى من عدد وحدات نوع محدد من المحطات، ويكون أساس المقارنة هو معادلة التكاليف و درجة الوثوقية التي سيؤمنها التوزيع الجديد و بالآتي الوصول إلى التوسع الأمثل.



7- نافذة Dynpro:

يعتمد البرنامج أيضاً على البرمجة الديناميكية لإيجاد الحل الأمثل لتوسع نظام الطاقة، وتحتوي هذه النافذة على معطيات اقتصادية ضرورية للحل، حيث تم اعتماد قيمة معدل الحسم في البحث 9% كما هو متبع بالنسبة لأغلبية المشاريع التي تجري دراستها الاقتصادية في القطر، بالإضافة لمعطيات اقتصادية أخرى موضحة بالجدول (4-16) وفيها النسبةIDC الفائدة خلال الإنشاء تؤخذ حسب مدة الإنشاء من جداول عالمية موجودة ضمن دليل البرنامج.

الجدول (4-16)المعطيات الاقتصادية للمحطات المرشحة [10]، [11]

Name	Depreciable capital cost ($/KW)	Plant Life Years	IDC %	Constr Time Years
FOIS	1883	40	10.8	3
NGCC	900	30	10.8	3
GT	737	25	7.31	2
SMCC	737	25	7.31	2
DIES	325	40	3.71	1
WIND	1800	25	3.71	1
SOLA	4400	25	3.71	1

8-نافذة التقرير النهائي:

بعد الانتهاء من أمر التنفيذ نختار إظهار ملف التقرير الذي يجمع كافة بيانات الدخل والنتائج التي تم التوصل إليها وهي التكاليف الكلية بما فيها من تكاليف الإنشاء وتكاليف الوقود و الصيانة والتشغيل، ومعامل فقد الحملLOLP و كميات الانبعاثات الغازية الصادرة من المحطات كافة حتى نهاية عام 2030.

4-2-6-2 تغطية الحمل وفق السيناريوهات الثلاث للتوسع الأمثل:

تم الاعتماد في هذه الدراسة على ثلاث سيناريوهات للطلب المتوقع على الطاقة الكهربائية حتى عام 2030كما ذكرت سابقاً، وتمت تغطية الحمل في السيناريوهات الثلاث في حالتين، الأولى عدم وجود محطات ريحية مساهمة في نظام الطاقة الكهربائية، والثانية بوجودها، وتم أخذ النتائج لهذه الحالات.

1- السيناريو المرجعي:

أ- بدون وجود محطات رياح:

نلاحظ أنه بوجود المحطات القائمة والمقرر دخولها حسب خطة الدولة فإن الحمل مغطى وبنسبة هامش احتياطي تصل إلى 40% عام 2014 وهي نسبة عالمية، ويبدأ ظهور العجز في عام 2020 ما لم تتم إضافة المحطات المرشحة وهنا قمنا بإدخال هذه المحطات حسب الحاجة مع المحافظة على هامش احتياطي بحوالي 12% ، حيث أن زيادة هذه القيمة تعني زيادة في التكاليف المترتبة، ويبين ذلك الجدول (17-4) كنتيجة توصل إليها البرنامج للتوسع الأمثل مع ملاحظة العامل الهام LOLP (عامل فقدان الحمل) أثناء القيام بتغطية الحمل، الذي يجب ألا يتجاوز القيمة 0,5 % المعتمدة في الدول النامية علماً أنه يتراوح بين 0,1 و 0,01% في الدول المتطورة.

الجدول (17-4)تغطية الحمل للسيناريو المرجعي دون استخدام محطات ريحية

Year	FIXSYS [MW]	PEAK LOAD [MW]	FIOS 300 [MW]	NGCC 750 [MW]	GT 150 [MW]	Wind 100 [MW]	CC450 450 [MW]	Diesel 210 [MW]	TOTAL Capacity FIX+NEW
2008	7845	6675							7845
2009	7995	7000							7995
2010	8406	7600							8406
2011	9133	8100							9133
2012	11414	8700							11414
2013	12825	9200							12825
2014	13786	9800							13786
2015	13797	10500							13797
2016	13808	11200							13808
2017	13819	11900							13819
2018	13795	12450							13795
2019	14936	13100							14936
2020	14866	13750			450				15316
2021	14866	14600			150			630	16096
2022	14866	15100					450		16546
2023	14761	16000		1500					17941
2024	14761	17000	600						18541
2025	14122	17800	300	750	150				19102
2026	13696	18700	300	750				210	19936
2027	13036	19450		750	150		450		20626
2028	13036	20250	300				450	210	21586
2029	13036	21000		750				210	22546
2030	13036	21800	300		150				22996

وبالنتيجة يصبح العدد الكلي من المحطات الواجب إدخالها كحل أمثل حتى نهاية 2030 هو:

Plant	FOIS	NGCC	GT	SMCC	DIES
No.	6	6	7	3	6

ب- بوجود محطات رياح:

بناء على توجهات الدولة و وزارة الكهرباء لمشاركة الطاقات المتجددة في توليد الطاقة ومساهمتها في ميزان الطاقة والإعلان عن طرح مشاريع قيد الدراسة باستطاعة 100م.و من طاقة الرياح والتوسع بهذا المجال والقدر لتغدو نسبة مساهمة الطاقات المتجددة في الاستطاعة المركبة لعام 2030 ما يعادل 20%، تم في هذه الدراسة إضافة محطات ريحية(100م.و) سنوياً اعتباراً من 2013 وبشكل يتناسب مع ظروفنا بحيث

تصل نسبة مشاركة طاقة الرياح 9% في نهاية 2030 والجدول (18-4) يوضح تغطية الحمل لهذه الحالة:

الجدول (18-4) تغطية الحمل للسيناريو المرجعي بوجود محطات ريحية

Year	FIXSYS [MW]	PEAK LOAD [MW]	FIOS 300 [MW]	NGCC 750 [MW]	GT 150 [MW]	Wind 100 [MW]	CC450 450 [MW]	Diesel 210 [MW]	TOTAL Capacity FIX+NEW
2008	7845	**6675**							**7845**
2009	7995	**7000**							**7995**
2010	8406	**7600**							**8406**
2011	9133	**8100**							**9133**
2012	11414	**8700**							**11414**
2013	12825	**9200**				**100**			**12925**
2014	13786	**9800**				**100**			**13986**
2015	13797	**10500**				**100**			**14097**
2016	13808	**11200**				**100**			**14208**
2017	13819	**11900**				**100**			**14319**
2018	13795	**12450**				**100**			**14395**
2019	14936	**13100**				**100**			**15636**
2020	14866	**13750**				**100**			**15666**
2021	14866	**14600**			**150**	**100**			**15916**
2022	14866	**15100**			**300**	**100**			**16316**
2023	14761	**16000**			**150**	**100**	**900**		**17361**
2024	14761	**17000**		**750**		**100**			**18211**
2025	14122	**17800**		**1500**		**100**			**19172**
2026	13696	**18700**	**300**			**100**		**210**	**19566**
2027	13036	**19450**	**600**	**750**		**100**	**450**	**210**	**21016**
2028	13036	**20250**	**300**	**750**		**100**	**450**		**22616**
2029	13036	**21000**		**750**	**150**	**100**			**23616**
2030	13036	**21800**				**100**			**23716**

وبالنتيجة يصبح العدد الكلي من المحطات الواجب إدخالها كحل أمثل حتى نهاية 2030 هو:

Plant	FOIS	NGCC	GT	SMCC	DIES	wind
No.	4	6	5	4	2	18

2- السيناريو العالي:

أ- بدون وجود محطات ريحية: هنا بدأت إضافة محطات لتغطية الحمل من عام 2010 بسبب نقص الهامش الاحتياطي بشكل ملحوظ، ويبين الجدول (19-4) تغطية الحمل لهذه الحالة:

الجدول (19-4) تغطية الحمل للسيناريو العالي دون وجود محطات ريحية

Year	FIXSYS [MW]	PEAK LOAD [MW]	FIOS 300 [MW]	NGCC 750 [MW]	GT 150 [MW]	Wind 100 [MW]	CC450 450 [MW]	Diesel 210 [MW]	TOTAL Capacity FIX+NEW
2008	7845	**6675**							**7845**
2009	7995	**7200**							**7995**
2010	8406	**8500**			**150**				**8556**
2011	9133	**9000**							**9283**
2012	11414	**9700**							**11564**
2013	12825	**10200**							**12975**
2014	13786	**10900**							**13936**
2015	13797	**11700**							**13947**
2016	13808	**12500**							**13958**
2017	13819	**13300**						**210**	**14179**
2018	13795	**13900**					**450**	**210**	**14815**
2019	14936	**14600**	**300**						**16256**
2020	14866	**15300**	**300**	**750**					**17236**
2021	14866	**16300**		**750**					**17986**
2022	14866	**16800**			**150**			**210**	**18346**
2023	14761	**17800**	**300**	**750**					**19291**
2024	14761	**18900**			**150**		**900**		**20341**
2025	14122	**19800**	**300**	**750**	**150**			**210**	**21112**
2026	13696	**20800**		**1500**					**22186**
2027	13036	**21700**	**300**	**750**	**300**			**210**	**23086**
2028	13036	**22500**			**150**		**450**		**23686**
2029	13036	**23400**					**900**		**24586**
2030	13036	**24200**		**750**	**150**				**25486**

ويصبح العدد الكلي من المحطات الواجب إدخالها كحل أمثل حتى نهاية 2030 هو:

Plant	FOIS	NGCC	GT	SMCC	DIES
No.	5	8	8	6	5

ب-مع وجود محطات ريحية:

بما أن توقع الطلب على الطاقة الكهربائية مرتفع في السيناريو العالي فقد اقتضى ذلك البدء بإدخال محطة غازية عام 2010 ثم إدخال المحطات الريحية في 2013 وحتى 2030 وتغطية الحمل بما يؤمن الطلب وبهامش احتياطي مناسب كما هو مبين في الجدول(20-4):

الجدول (20-4) تغطية الحمل في حالة السيناريو العالي بوجود محطات ريحية:

Year	FIXSYS [MW]	PEAK LOAD [MW]	FIOS 300 [MW]	NGCC 750 [MW]	GT 150 [MW]	Wind 100 [MW]	CC450 450 [MW]	Diesel 210 [MW]	TOTAL Capacity FIX+NEW
2008	7845	6675							7845
2009	7995	7200							7995
2010	8406	8500			**150**				8556
2011	9133	9000							9283
2012	11414	9700							11564
2013	12825	10200				**100**			13075
2014	13786	10900				**100**			14136
2015	13797	11700				**100**			14247
2016	13808	12500				**100**			14358
2017	13819	13300				**100**			14469
2018	13795	13900				**100**			14545
2019	14936	14600			**150**	**100**			15936
2020	14866	15300			**300**	**100**		**420**	16686
2021	14866	16300		**750**		**100**			17536
2022	14866	16800	**300**			**100**			17936
2023	14761	17800	**600**	**750**		**100**			19281
2024	14761	18900		**750**		**100**			20131
2025	14122	19800		**750**		**100**	**450**	**210**	21002
2026	13696	20800	**300**			**100**	**900**	**210**	22086
2027	13036	21700		**750**	**150**	**100**	**450**		22876
2028	13036	22500		**750**		**100**			23726
2029	13036	23400	**300**			**100**	**450**		24576
2030	13036	24200			**300**	**100**		**420**	25396

ويصبح العدد الكلي من المحطات الواجب إدخالها كحل أمثل حتى نهاية 2030 هو:

Plant	FOIS	NGCC	GT	SMCC	DIES	wind
No.	5	6	7	5	6	18

3- السيناريو المنخفض:

أ- تغطية الحمل بدون محطات رياح:

هنا تبدأ إضافة المحطات المرشحة عام 2022 لأن الاحتياطي فيه غير كاف:

الجدول (21-4) تغطية الحمل للسيناريو المنخفض دون وجود محطات ريحية

Year	FIXSYS [MW]	PEAK LOAD [MW]	FIOS 300 [MW]	NGCC 750 [MW]	GT 150 [MW]	Wind 100 [MW]	CC450 450 [MW]	Diesel 210 [MW]	TOTAL Capacity FIX+NEW
2008	7845	6675							7845
2009	7995	6900							7995
2010	8406	7400							8406
2011	9133	7900							9133
2012	11414	8500							11414
2013	12825	8900							12825
2014	13786	9400							13786
2015	13797	9900							13797
2016	13808	10400							13808
2017	13819	10900							13819
2018	13795	11500							13795
2019	14936	12000							14936
2020	14866	12500							14866
2021	14866	13000							14866
2022	14866	13500			**150**				15016
2023	14761	14100			**450**			**420**	15781
2024	14761	14500			**150**				15931
2025	14122	14900		**1500**					16792
2026	13696	15300	**300**						16666
2027	13036	15700	**300**	**750**					17056
2028	13036	16100					**450**		17506
2029	13036	16500	**300**						17806
2030	13036	17100		**750**					18556

ويصبح العدد الكلي من المحطات الواجب إدخالها كحل أمثل حتى نهاية 2030 هو:

Plant	FOIS	NGCC	GT	SMCC	DIES
No.	3	4	5	1	2

ب- تغطية الحمل مع محطات ريحية:

بسبب إضافة المحطات الريحية من عام 2013فإن النقص في الاحتياطي لا يظهر حتى عام 2025 الذي تبدأ عنده تغطية الطلب على الحمل كما يبين الجدول (22-4)

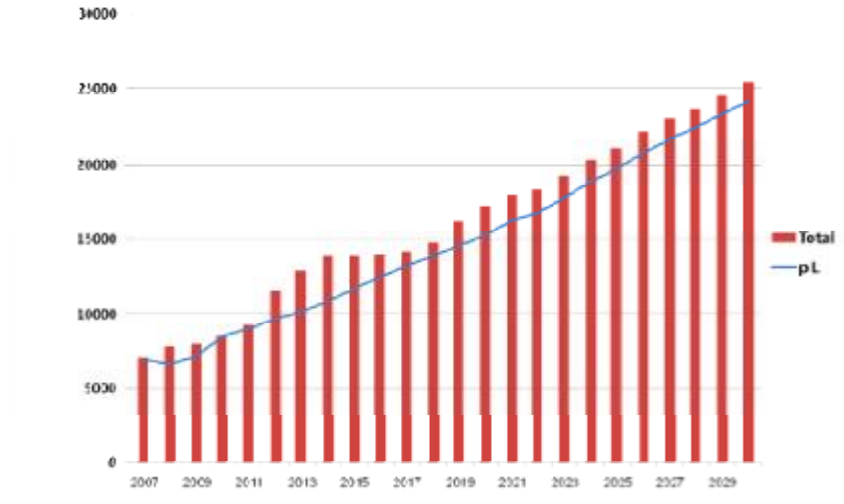
الجدول (22-4) تغطية الحمل للسيناريو المنخفض بوجود محطات ريحية

Year	FIXSYS [MW]	PEAK LOAD [MW]	FIOS 300	NGCC 750	GT 150	Wind 100	CC450 450	Diesel 210	TOTAL Capacity FIX+NEW
2008	7845	6675							7845
2009	7995	6900							7995
2010	8406	7400							8406
2011	9133	7900							9133
2012	11414	8500							11414
2013	12825	8900				**100**			12925
2014	13786	9400				**100**			13986
2015	13797	9900				**100**			14097
2016	13808	10400				**100**			14208
2017	13819	10900				**100**			14319
2018	13795	11500				**100**			14395
2019	14936	12000				**100**			15636
2020	14866	12500				**100**			15666
2021	14866	13000				**100**			15766
2022	14866	13500				**100**			15866
2023	14761	14100				**100**			15861
2024	14761	14500				**100**			15961
2025	14122	14900			**600**	**100**			16022
2026	13696	15300		**750**		**100**			16446
2027	13036	15700	**300**			**100**	**900**		17086
2028	13036	16100	**300**			**100**		**210**	17696
2029	13036	16500				**100**		**210**	18006
2030	13036	17100	**300**			**100**			18406

ويصبح العدد الكلي من المحطات الواجب إدخالها كحل أمثل حتى نهاية 2030 هو:

Plant	FOIS	NGCC	GT	SMCC	DIES	wind
No.	3	1	4	2	2	18

والشكل (4-38) يوضح الفرق بين حمل الذروة المتوقع وقيمة الاستطاعة المركبة بعد تغطية الحمل في حالة السيناريو العالي وعند سعر 45$ للبرميل:



الشكل (4-38) الفرق بين حمل الذروة المتوقع وقيمة الاستطاعة المركبة بعد تغطية الحمل

4-2-6-3 عامل LOLP في الحالات المدروسة:

تم مراعاة عامل فقد الحمل أثناء إجراء تغطية الحمل في الحالات المختلفة المدروسة، ثم المقارنة بينها بعد أن حققت جميع الحالات النسب المقبولة من LOLP.

ويبين الجدول (4-23) النتائج التي تم التوصل لها عند دراسة السيناريوهات الثلاث (المرجعي والعالي والمنخفض) في حالتي وجود المحطات الريحية وعدم وجودها على امتداد كافة سنوات الدراسة.

الجدول (4-23)القيم الناتجة لعامل فقد الحمل LOLPللسيناريوهات الثلاث عند وجود محطات رياح وعدم وجودها [26]

	hi no wind	re no wind	lo no wind	hi wind	re wind	lo win
2030	0.301	0.434	0.125	0.301	0.394	0.272
2029	0.472	0.091	0.426	0.353	0.509	0.065
2028	0.455	0.268	0.198	0.281	0.251	0.051
2027	0.177	0.521	0.226	0.404	0.288	0.207
2026	0.227	0.49	0.346	0.237	0.326	0.38
2025	0.423	0.452	0.035	0.448	0.083	0.581
2024	0.351	0.182	0.386	0.528	0.489	0.309
2023	0.254	0.039	0.093	0.102	0.326	0.04
2022	0.219	0.354	0.348	0.645	0.311	0.018
2021	0.122	0.319	0.036	0.404	0.51	0.015
2020	0.038	0.267	0.018	0.243	0.023	0.015
2019	0.116	0.038	0.015	0.354	0.016	0.014
2018	0.472	0.175	0.023	0.494	0.032	0.015
2017	0.507	0.044	0.015	0.249	0.018	0.015
2016	0.132	0.017	0.015	0.048	0.015	0.014

2014	0.015	0.014	0.014	0.015	0.014	0.014
2013	0.016	0.014	0.014	0.015	0.014	0.014
2012	0.032	0.015	0.015	0.032	0.015	0.015
2011	1.746	0.205	0.106	1.746	0.205	0.106
2010	2.347	0.24	0.118	2.347	0.24	0.118
2009	0.207	0.099	0.07	0.207	0.099	0.07
2008	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055

4-2-6-4 التكاليف الاقتصادية للحالات المدروسة:

كما أشرنا سابقاً، يقوم برنامج WASP IV بحساب تكاليف الوقود والصيانة والتشغيل للمحطات القائمة والمقرر دخولها، كما يحسب بالإضافة إليها التكاليف الكلية للمحطات المرشحة والمقترحة من قبل الدارس بما فيها من تكاليف إنشاء، تكاليف وقود و صيانة وتشغيل.

وقد تم في هذا البحث حساب هذه التكاليف من أجل السيناريوهات الثلاث العالي والمرجعي والمنخفض عند عدة أسعار لبرميل النفط(45-65-70-80-100)دولار/برميل والمقارنة بين النتائج في حالتي وجود محطات ريحية ضمن توسع نظام الطاقة الكهربائية و عدم وجودها.

لخصت هذه النتائج مقدرة بـــ مليون دولار حتى نهاية عام 2030 في الجدول (4-24) :

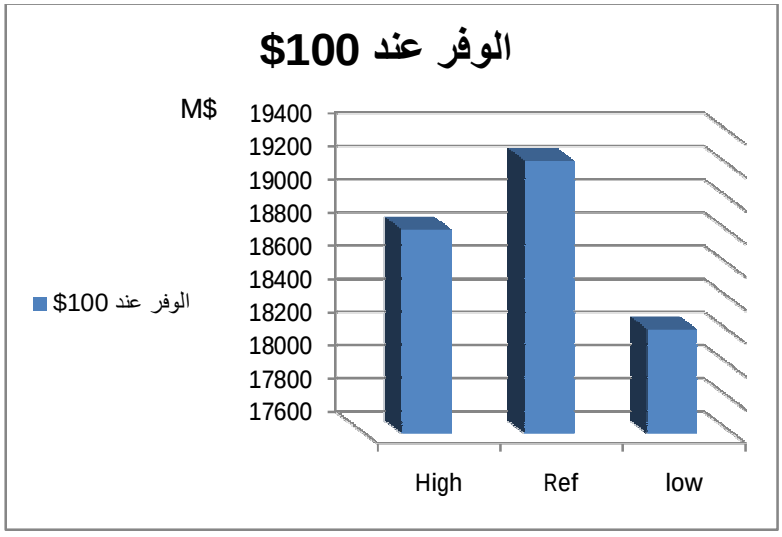
الجدول (4-24)النتائج

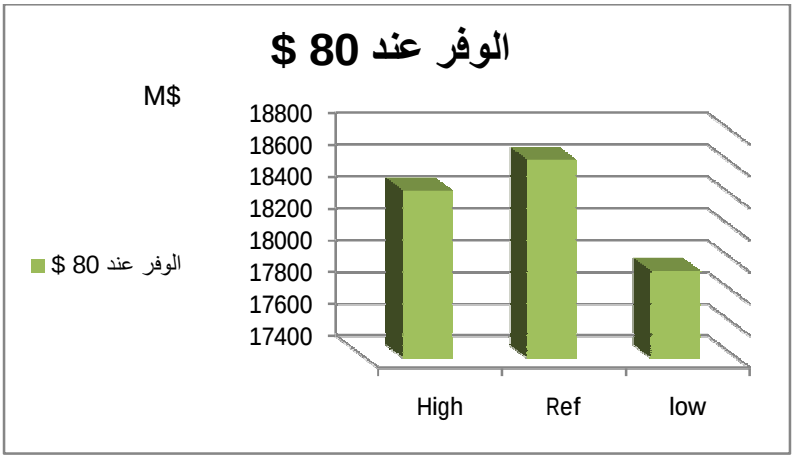
	Total cost M$	Cash Flow M$	Sum M$
High case without Wind 100	254305.8	11411.04	265716.84
High case with Wind 100	233937.3	12950.51	246887.81
Ref case without Wind 100	226879.7	9595.89	236475.59
Ref case with Wind 100	205598	11633.08	217231.08
Low case without Wind 100	196529.5	5402.87	201932.37
Low case with Wind 100	176844.4	6860.37	183704.77
High case without Wind 80	240059.4	11411.04	251470.44
High case with Wind 80	220069.1	12950.51	233019.61
Ref case without Wind 80	213196	9595.89	222791.89
Ref case with Wind 80	192515.3	11633.08	204148.38
Low case without Wind 80	183605.7	5402.87	189008.57
Low case with Wind 80	164200.8	6860.37	171061.17
High case without Wind 70	232856.7	11411.04	244267.74
High case with Wind 70	213057.6	12950.51	226008.11
Ref case without Wind 70	206278.5	9595.89	215874.39
Ref case with Wind 70	185901	11633.08	197534.08
Low case without Wind 70	177071.9	5402.87	182474.77
Low case with Wind 70	157809.2	6860.37	164669.57

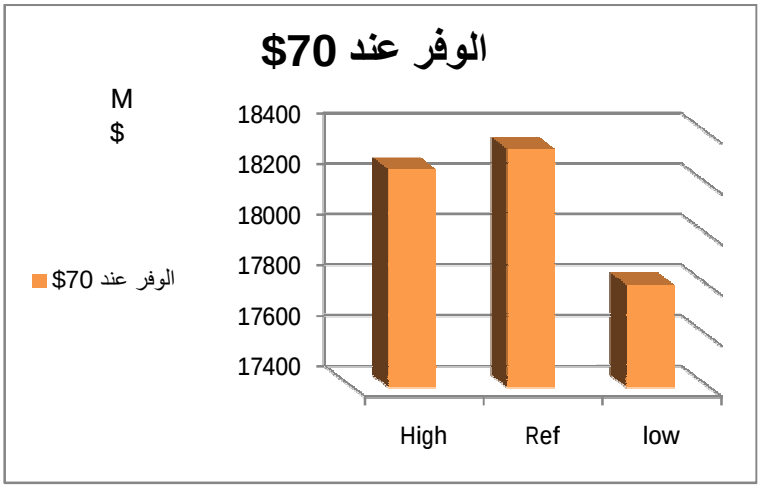
High case without Wind 65	229246	11411.04	240657.04
High case with Wind 65	209543	12950.51	222493.51
Ref case without Wind 65	202811	9595.89	212406.89
Ref case with Wind 65	182585.5	11633.08	194218.58
Low case without Wind 65	173796.5	5402.87	179199.37
Low case with Wind 65	154604	6860.37	161464.37

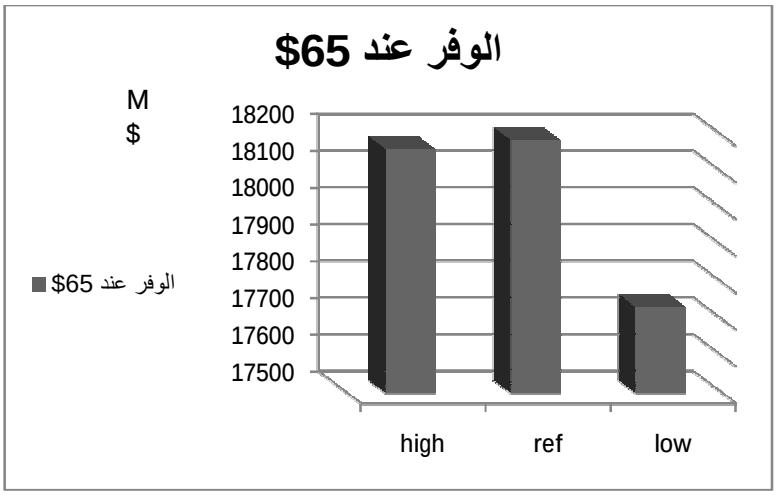
High case without Wind 45	214946.9	11411.04	226357.94
High case with Wind 45	195623.1	12950.5	208573.6
Ref case without Wind 45	189076.9	9595.89	198672.79
Ref case with Wind 45	169454.1	11633.08	181087.18
Low case without Wind 45	160824.5	5402.87	166227.37
Low case with Wind 45	141913.5	6860.37	148773.87

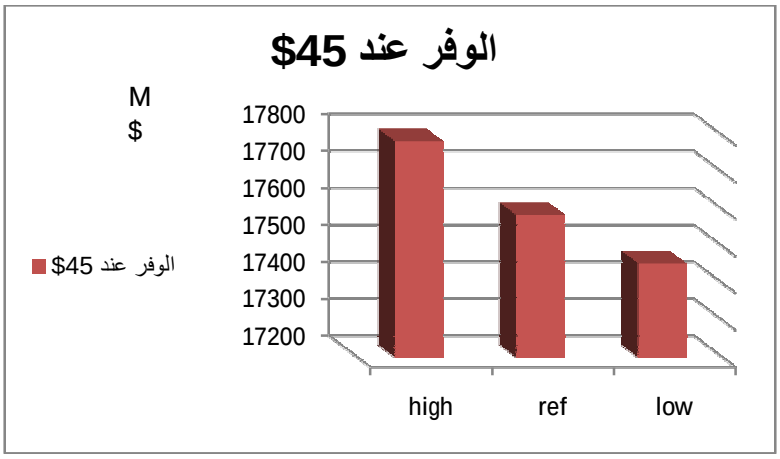
ويمكن ملاحظة الوفر الاقتصادي الواضح عند استخدام طاقة الرياح كمصدر مشارك في تلبية الطلب على الطاقة الكهربائية والأشكال الآتية توضح هذا الوفر: الشكل (4-39)











الشكل (39-4) الوفر الناتج في حال استخدام طاقة الرياح

إن قيمة الوفر في التكاليف الكلية بين الحالتين يتعدى هذه القيمة إلى وفر مادي يعكسه تخفيض الانبعاثات الغازية حين استعمال مصادر الطاقة النظيفة، من هنا ننطلق إلى :

4-2-6-5 دراسة الأثر البيئي في الحالات المدروسة:

يقوم البرنامج بالإضافة إلى حساب التكاليف الكلية، بحساب كميات الغاز المنبعثة من المحطات على مدى سنوات الدراسة. وقد حددنا للبرنامج منذ البداية نوعين من الغاز هماSO_2,CO_2، ومن خلال التقرير النهائي قمنا باستخلاص قيمة الانبعاث لكل سنة ولكل غاز، ويبين الجدول (4-25)الكميات الممكن توفيرها من غاز SO_2 في حال استعمال طاقة الرياح للسيناريوهات :

الجدول (4-25) الكميات الممكن توفيرها من غاز SO_2 في حال استعمال طاقة الرياح

	LO NO Wind	LO Wind	الوفر	Re No Wind	Re Wind	الوفر	Hi No Wind	Hi Wind	الوفر
2007	261.760	261.760		261.760	261.760		261.760	261.760	
2008	252.692	252.692		252.692	252.692		252.692	252.692	
2009	255.237	255.237		256.473	256.473		258.704	258.704	
2010	262.352	262.352		263.650	263.650		266.792	266.792	
2011	301.871	301.871		303.645	303.645		308.338	308.338	
2012	327.106	327.106		330.349	330.349		342.454	342.454	
2013	331.063	327.201	4	335.409	331.166	4	351.292	349.320	2
2014	344.197	336.506	8	351.978	344.550	7	366.465	362.286	4
2015	353.324	344.617	9	361.985	353.825	8	371.920	366.570	5
2016	360.425	349.964	10	367.492	358.267	9	377.735	373.567	4
2017	366.265	354.879	11	370.781	365.347	5	380.104	376.891	3
2018	371.886	360.617	11	375.666	368.865	7	380.803	376.906	4
2019	376.673	366.322	10	378.178	373.818	4	406.055	379.489	27
2020	378.629	369.234	9	381.290	375.430	6	430.584	380.782	50
2021	380.044	371.910	8	381.955	378.145	4	431.234	381.258	50
2022	381.032	373.934	7	382.136	378.964	3	431.498	405.415	26
2023	381.888	377.071	5	382.188	379.803	2	456.337	415.843	40
2024	382.045	377.835	4	431.623	381.001	51	456.462	421.327	35
2025	332.568	330.941	2	406.790	352.405	54	431.535	406.612	25
2026	324.190	298.773	25	398.410	368.811	30	410.412	398.382	12
2027	348.930	322.851	26	398.405	373.483	25	423.143	398.409	25
2028	348.930	346.811	2	423.145	373.566	50	423.152	398.410	25
2029	373.670	347.309	26	423.143	398.165	25	425.152	405.149	20
2030	373.670	371.562	2	447.892	398.346	50	443.149	423.156	20
Total Kt	8170.448	7989.356	**181**	8667.035	8322.527	**345**	9087.770	8710.513	**377**

كما يبين الجدول(4-26)الكميات الممكن توفيرها من غاز CO_2 في حال استعمال طاقة الرياح:

الجدول (26-4) الكميات الممكن توفيرها من غاز CO_2 في حال استعمال طاقة الرياح

	LO NO Wind	LO Wind	الوفر	Re No Wind	Re Wind	الوفر	Hi No Wind	Hi Wind	الوفر
2007	20804.06348	20804.063		20804.0635	20804.06		20804.063	20804.06	
2008	18035.41601	18035.416		18035.416	18035.42		18035.416	18035.42	
2009	18541.64892	18541.649		18739.5796	18739.58		19185.321	19185.32	
2010	19652.85645	19652.856		19999.6279	19999.63		21899.06	21899.06	
2011	22108.06201	22108.062		22483.77	22483.77		24398.412	24398.41	
2012	25064.67139	25064.671		25479.1699	25479.17		27527.566	27527.57	
2013	27169.79541	26802.224	368	27813.4199	27540.7	273	29901.629	29605.88	296
2014	28741.16943	27996.535	745	29597.6943	28876.67	721	31896.111	31293.91	602
2015	29777.23046	28770.492	1007	31008.791	29980.77	1028	33002.878	32102.15	901
2016	30768.24512	29483.654	1285	32312.5596	31038.36	1274	34880.625	33764.07	1117
2017	31724.72461	30184.642	1540	33646.9751	32176.24	1471	36521.018	35009.27	1512
2018	32781.90283	31023.745	1758	34589.4541	32997.31	1592	37956.972	35268.68	2688
2019	33596.43261	31514.485	2082	35808.043	33933.09	1875	39964.314	36715.45	3249
2020	34433.67626	32121.485	2312	37278.292	34734.09	2544	42229.396	38006.09	4223
2021	35483.74511	32839.46	2644	39370.2656	35869.82	3500	44730.906	40195.72	4535
2022	36621.04004	33528.471	3093	40679.376	36718.91	3960	45931.749	41555.22	4377
2023	37743.46582	34070.983	3672	42706.084	38789.7	3916	48609.024	44423.2	4186
2024	38742.63769	34640.591	4102	46120.1006	41049.71	5070	51518.104	47156.56	4362
2025	38959.48047	33978.371	4981	47667.5225	42880.01	4788	53326.14	48222.37	5104
2026	39742.58203	34056.55	5686	49805.7637	43934.01	5872	55352.489	50365.85	4987
2027	41209.88673	35649.14	5561	51787.6621	45908.29	5879	58095.358	52350.27	5745
2028	42278.31445	36791.444	5487	54369.1797	47743.82	6625	60180.842	54094.93	6086
2029	43750.60644	37384.629	6366	56292.4971	49824.28	6468	62608.993	56533.16	6076
2030	45349.51562	38983.515	6366	58756.2461	52062.28	6694	64706.059	58184.98	6521
Total Kt	773081.1694	714027.13	**59054**	875151.553	811599.7	**63552**	963262.45	896697.6	**66565**

ينعكس هذا الوفر بكمية CO_2 كقيمة مادية حيث تقدر غرامة استهلاك الفحم و إنتاج الغاز الملوث CO_2 كما أصدرها الاتحاد الأوربي حيث تتراوح هذه القيمة عالمياً بين (10-25$/Ton) [4,29,11] وتصل حتى 50 $/t في حالة المحطات الفحمية ويعود عدم ثبات هذه القيمة إلى عدة عوامل منها نوع المشروع وحجمه وعامل الخطورة فيه وحسب البلد المقامة فيه هذه المشاريع. وفي هذه الدراسة أخذت القيمة التقديرية 8€/TON .

بحساب هذا الوفر نجد أنه حتى نهاية عام 2030 يصل إلى:

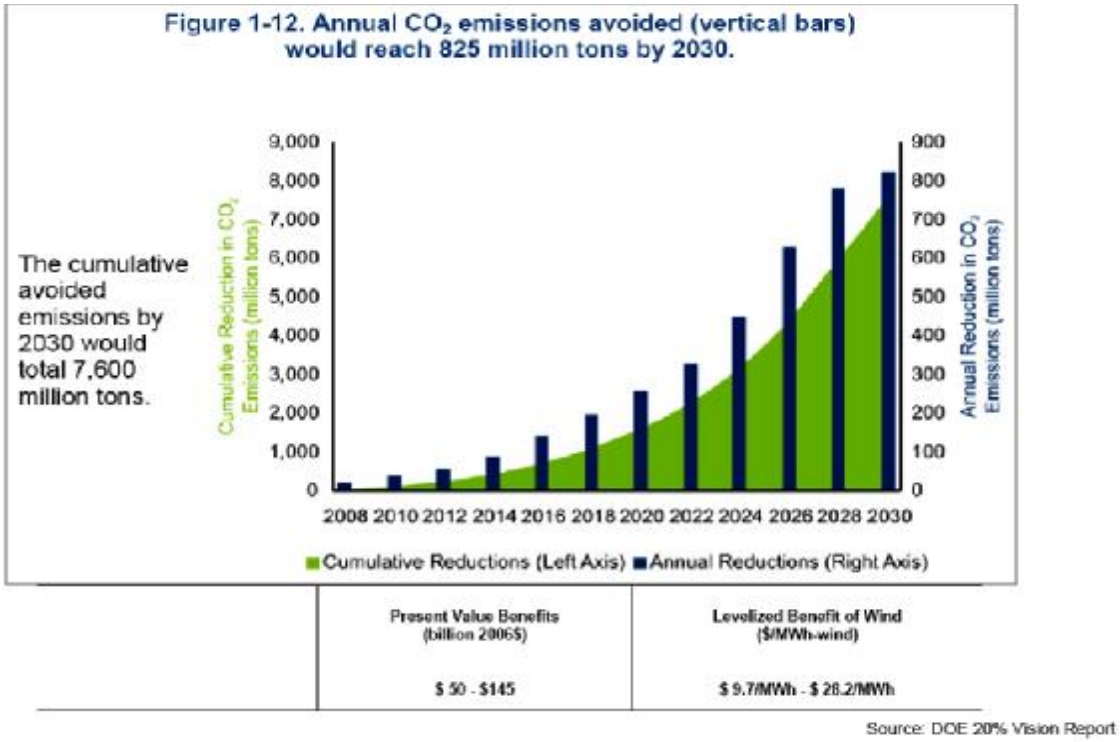
1- في السيناريو المنخفض الوفر في الانبعاث هو 59054 Kt أي 472 Million € أي ما يعادل 639 Million $.

2- في السيناريو المرجعي الوفر في الانبعاث هو 63552 Kt أي 508 Million € أي ما يعادل 688 Million $.

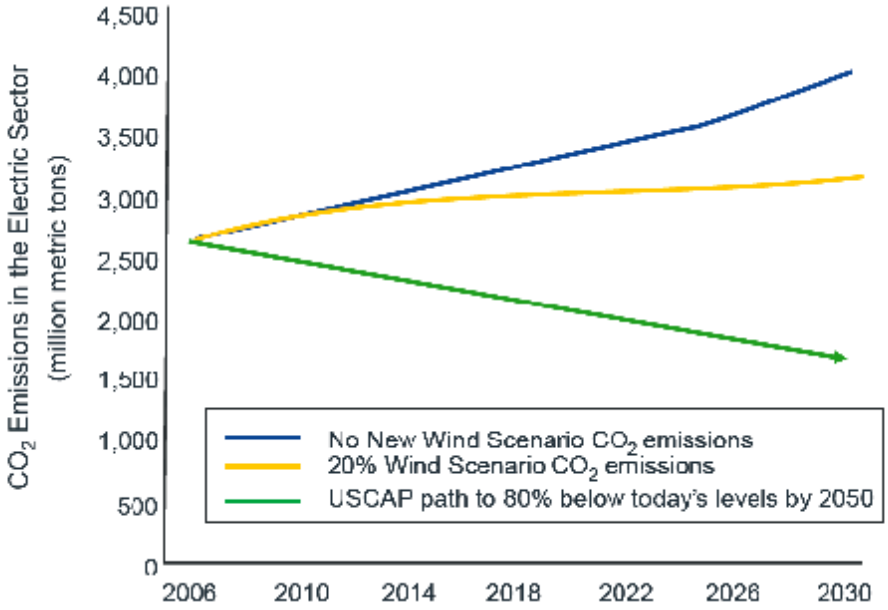
3- في السيناريو العالي الوفر في الانبعاث هو 66565 Kt أي 533 Million € أي ما يعادل 720 Million $.

نحصل على هذه القيم بالتوفير من مشاريع الطاقة الكهربائية ناهيك عن القيم الممكن توفيرها من المشاريع الأخرى.

أما عالمياً وكما يشير التقرير السنوي للوكالة الدولية للطاقة(الريحية) فإن الانبعاثات الممكن تجنبها من غاز CO_2 في حال تطبيق نسبة 20% كمساهمة للرياح في الإنتاج الكلي من الطاقة الكهربائية موضحة في الشكل (4-40) و بشكل خاص في الولايات المتحدة الأمريكية في الشكل (4-41).



الشكل (4-40) كمية غاز CO_2 المتجنبة في حال استخدام الرياح [31]



الشكل (41-4)الوفر في الانبعاثات الغازية عند استخدام الرياح في الولايات المتحدة [31]

نتائج ومقترحات

1-قدم هذا البحث طريقة منهجية لدراسة جدوى استخدام طاقة الرياح كمصدر لتوليد الطاقة الكهربائية في القطر، تمثلت بداية في التأكد من توفر المناطق المناسبة لهذا النوع من المشاريع بما يشمل عدة جوانب أهمها أن تكون هذه المناطق جيدة ريحياً (الأمر الذي توضحه خريطة المناطق الريحية في سورية والبيانات المستخلصة من أبراج رصد سرعات الرياح الموزعة في القطر والمجمعة في المركز الوطني لبحوث الطاقة)، وأن تتوافر في هذه المناطق المواصفات التي تؤهلها لغرض إقامة مزرعة ريحية فيها بحيث تحقق أقل كلفة مقارنة مع غيرها، بالإضافة للإلمام بخواصها الطبوغرافية مع ما يحيط بها وفهم تأثير هذه الخواص .
وبعد اختيار منطقة أو أكثر للدراسة، ينبغي معرفة إنتاجيتها السنوية من الطاقة والمقارنة بعدة مواقع حتى نتمكن من التوصل للخيار الجيد.

2- تم افتراض إقامة مزرعة ريحية في موقع السخنة باستطاعة 100 MW وكانت إنتاجيته 325 GWh عند استعمال العنفة Vestas V80 التي أعطت أفضل نتيجة بالمقارنة مع موقع آخر بديل هو التياس ومع الأنواع الأخرى المدروسة من العنفات.

3-بتحليل واقع المنظومة الكهربائية السورية وبالتعاون مع وزارة الكهرباء التي قدمت سيناريو لتطور الطلب على الطاقة يراعي استخدام وسائل ترشيد وحفظ الطاقة، بلغت نسبة نمو الطلب على استطاعة الذروة في البداية حتى عام 2016هي 6,9% ولباقي المدة حتى عام 2030 هي 4,8%، فإن من الواضح الحاجة إلى محطات جديدة تغطي الطلب، وحسب التوجهات المحلية تم افتراض إدخال محطة ريحية باستطاعة 100MW سنوياً اعتباراً من عام 2013 كمحطات مساهمة بنسبة محددة من الإنتاج الكلي للكهرباء ومشاركة للمحطات التقليدية، ثم دراسة الأثر الناتج عن ذلك. وكانت النتائج مشجعة.

4- الحصول على وفر اقتصادي ملحوظ في التكاليف بالإضافة إلى نقطة هامة وهي إحداث فرص عمل جديدة لليد العاملة، وكان الوفر الناتج في نهاية عام 2030 على النحو الآتي:

- الوفر في السيناريو العالي عند سعر 100$ للبرميل 18829 M$ أي بقيمة 7.09%
- الوفر في السيناريو العالي عند سعر 80$ للبرميل 18450 M$ أي بقيمة 7.34%
- الوفر في السيناريو العالي عند سعر 70$ للبرميل 18259 M$ أي بقيمة 7.48%

- الوفر في السيناريو العالي عند سعر 65$ للبرميل 18164 M$ أي بقيمة 7.5%
- الوفر في السيناريو العالي عند سعر 45$ للبرميل 17784 M$ أي بقيمة 7.9%

5- توفير في كمية غاز CO_2 المنبعث من محطات الطاقة التقليدية، هذا التوفير لا ينحصر بالبيئة فقط وإنما ينعكس مادياً أيضاً لصالح الدولة اعتماداً على كلفة غرامته وهي بالنسبة لسورية حوالي 8 €/ton أي:

- 472 مليون يورو في السيناريو المنخفض أي ما يعادل 639 Million $.
- 508 مليون يورو في السيناريو المرجعي أي ما يعادل 688 Million $.
- 533 مليون يورو في السيناريو العالي أي ما يعادل 720 Million $.

مما سبق نلاحظ أهمية التوجه إلى خيار طاقة الرياح كمصدر متجدد للطاقة صديق للبيئة، ولتحقيق هذا الهدف لا بد من العمل بشكل جاد وسريع، مع ضرورة عدم الاكتفاء بالمواقع الحالية لمحطات قياس سرعة الرياح، بل الاتجاه إلى مناطق أخرى قد تكون أفضل لأن الرياح تتبع خواص كل موقع على حدا، أي ضرورة لحظ أماكن جديدة من أجل التوسع المستقبلي لإنشاء مزارع ريحية.

المصطلحات

AEP	Annual Energy Production الإنتاج السنوي للطاقة
BWR	Boiling Water Reactor مفاعل الماء المغلي
CC	Combined Cycle دارة مركبة
CONGEN	Configuration Generators مولد التشكيلات في برنامجWASP
DIO	Diesel Oil وقود الديزل
DYNPRO	Dynamic Programming Optimization الحل المبرمج الديناميكي
FIXSYS	Fixed System نظام المدخلات الثابتة في برنامجWASP
FOIL	Heavy Fuel وقود الفيول
HTGR	High Temperature Gas-cooled Reactor المفاعل المبرد بالغاز عالي الحرارة
IRR	Internal Return Rate معدل العائد الداخلي
IEA	International Energy Agency الوكالة الدولية للطاقة
IMPO	Import الاستيراد
LO	Loading Order ترتيب الحمل
LOADSYS	Load System نظام إدخال بيانات حمل الذروة في برنامجWASP
LOLP	Loss Of Load Probability احتمالية فقدان الحمل
MERSIM	Merge and Simulate

	النمذجة ودمج الحلول في برنامجWASP
NHYD	Numerical Of Hydro تعداد المحطات المائية
Nt	Energy Not Served الطاقة غير المخدمة
NPV	Net Present Value القيمة الحالية الصافية
OWC	Observed Wind Climate مناخ الرياح الملاحظ
PPLR	Period Peak Load Ratio النسبة المئوية لكل فترة حمل ذروة
PS	Pumped Storage محطة التخزين الادخارية
PV	Present Value القيمة الحالية
PWR	Pressurized Water Reactor مفاعل الماء المضغوط
RWC	Regional Wind Climate مناخ الرياح الإقليمي
REPROBAT	Report Writer of WASP التقرير المدون من قبلWASP
SMCC	Small Combined Cycle محطات الدارة المركبة الصغيرة
TVA	Tennrssee Valley Authority Tennrssee Valleyمنظمة
VARSYS	Variable System نظام المدخلات المتغيرة في برنامجWASP
WASP-IV	Wien Automatic System Planning برنامج فينيا للحل الأمثل لنظام التوسع
WAsP 8	Wind Atlas Analysis And Application program برنامج تحليل وتطبيق أطلس الرياح

المراجع

المراجع العربية:

(1) د.محمد صالح الأيوبي-2004-" دراسة في أسس التقييم المالي والاقتصادي للطاقة الكهربائية". دراسة أعدت لنيل شهادة بكالوريوس في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق.

(2) د.محمد هاشم أبو الخير – 1981-"اقتصاديات نظم الطاقة الكهربائية" كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق.

(3) د.كمال ناجي،د.علي حمزة،د.سميح الجابي-2010-"مدخل إلى الطاقات المتجددة"، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق.

(4) د.كمال ناجي – مشاريع تخرج في مجال طاقة الرياح- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية ، جامعة دمشق.

(5) أطلس الرياح في الجمهورية العربية السورية 1998.

(6) د.كمال ناجي، د.صالح الأيوبي، د.مازن غندور-(الإعلان الثالث 2004-2005)- "دراسة الجدوى الفنية الاقتصادية والدراسة التصميمية لاستخدام العنفات الريحية في سورية ولبنان"- برنامج التعاون البحثي السوري اللبناني.

(7) م. علوان الأطرش- 2002- "الخيارات الاستراتيجية لبناء محطات توليد كهربائية بما يلبي متطلبات توفير الطاقة" بحث علمي فردي -الأكاديمية العسكرية العليا- كلية الدفاع الوطني.

(8) م. ياسين غنيمة – 2004-"تطوير مصادر توليد الطاقة الكهربائية في الجمهورية العربية السورية وأثرها على الاقتصاد الوطني" – بحث إجازة درجة زمالة كلية الدفاع الوطني.إشراف د.موسى الشحادات.

(9) د.علي حينون، م.محمد خضر سيف الدين، م.علاء الخطيب، م.السموءل المصطفى – 2004-"دراسة تطور الطلب على الطاقة والكهرباء وتحليل إستراتيجية التوسع الأمثل لنظام التوليد الكهربائي في سوريا للفترة 1999- 2030 " تقرير نهائي عن بحث علمي، قسم الهندسة النووية، هيئة الطاقة الذرية السورية.

(10) التقارير الصادرة عن المؤسسة العامة لتوليد ونقل الطاقة الكهربائية ، وزارة الكهرباء.

(11) بيانات سرعات الرياح - المركز الوطني لبحوث الطاقة.

(12) م.محمد الشيخي، أ.د.سميح الجابي، د.طلال قاسم- آذار 2010-ورقة عمل في المؤتمر الوطني للطاقة.

(13) م.معن كعدان، محاضرات في طاقة الرياح.

المراجع الأجنبية:

(14) Wind Energy Explained – "Theory, Design and Application" J.F.Manwell, J.G Mcgowan and A.L.Rogers – university of Massachusetts-USA.
(15) Grid Integration of wind Energy Conversion Systems- Seigfried Heier – Kassel University , Germany – Translated by Rachel Waddington, member of Institute Translation and Interpreting, UK.
(16) IEA WIND Annual Report- Excutive Summery 2007.
(17) Hannele Holttinen, Peter Meibom, Antje Orths, Frans van Hulle, Bernhard Lange, Mark O'Malley, - Design and operation of power systems with large amounts of wind power- IEA WIND Task 25 Final report Phase one 2006-08.
(18) Principles of Engineering Economic Analysis – John A.White, Marvin H.Agee, Kenneth E.Case.
(19) A Concise Introduction to Engineering Economics – Peter Cassimtis.
(20) GTZ- Feasibility Study for Wind Park Development in Ethiopia and Capacity Building-2006.
(21) German Wind Energy Association, Wind Energy Market, Vestas V80.
(22) Jørgen Lemming, Risø DTU- Edward James-Smith, Ea Energy Analyses- IEA Wind Task 26 Denmark – Madrid-12 January 2009.
(23) Ministry of Electricity-Public Establishment of Electricity for Generation & Transmission (PEEGT)- Request for Qualification (RFQ) For Developers/Sponsors Of a 50-100 MW Wind Park Independent Power Producer (IPP) Project through International Competitive Bidding (ICB) -Damascus-November 2009.
(24) IAEA.- Wien Automatic System Planning(WASP) Package, Vienna, 2006.
(25) Computer Program: WAsP 8.1- Denmark .
(26) Computer Program: WASP IV- Wien- Austria.
(27) Computer Program: Global Mapper.
(28) www.wasp.dk.
(29) www.enea.it ENEA – Nuclear Power-Monti Simbolotti- 2009.
(30) www.ewea.org Wind Energy Economics- 2009.
(31) NREL-Wind Powering America-Larry Flowers-2009.

جدول بأسماء الجداول:

رقم الجدول	اسم الجدول	الصفحة
(1-1)	نسب مساهمة طاقة الرياح في الناتج الإجمالي من توليد الطاقة الكهربائية في الدول الأعضاء بهيئة الطاقة الدولية للرياح لعام 2007	18
(4-1)	عامل النفوذية بالنسبة لأجسام مختلفة	47
(4-1')	معطيات سرعة الرياح للمناطق الواعدة ريحياً في سورية	68
(4-2)	المعدلات الشهرية لسرعات الرياح المقاسة في السخنة	72
(4-2')	المعدلات الشهرية لسرعات الرياح المقاسة في التياس	73
(4-3)	الفارق في القيمة الإنتاجية السنوية لموقعي السخنة والتياس	80
(4-4)	إمكانيات برنامج WASP-IV	91
(4-5)	مدخلات المحطات الحرارية	95
(4-6)	مدخلات المحطات المائية	96
(4-7)	دخل محطة التخزين الادخارية	96
(4-8)	الشروط الحدية	97
(4-9)	معطيات البرنامج الواجب إدخالها	101
(4-10)	نقاط تنفيذ التوسع المتحول	105
(4-11)	عرض النفق	105
(4-12)	مواصفات محطات التوليد القائمة والمخطط لدخولها	114
(4-13)	استطاعات المحطات المائية	115
(4-14)	الجدول الزمني لدخول وخروج المحطات في نظام الطاقة	116
(4-15)	المواصفات الفنية والاقتصادية للمحطات المقترحة	117

(4-16)	المعطيات الاقتصادية للمحطات المرشحة	118
(4-17)	تغطية الحمل للسيناريو المرجعي دون استخدام محطات ريحية	120
(4-18)	تغطية الحمل للسيناريو المرجعي بوجود محطات ريحية	121
(4-19)	تغطية الحمل للسيناريو العالي دون وجود محطات ريحية	122
(4-20)	تغطية الحمل في حالة السيناريو العالي بوجود محطات ريحية	123
(4-21)	تغطية الحمل للسيناريو المنخفض دون وجود محطات ريحية	124
(4-22)	تغطية الحمل للسيناريو المنخفض بوجود محطات ريحية	125
(4-23)	القيم الناتجة لعامل فقد الحمل LOLPللسيناريوهات الثلاث عند وجود محطات رياح وعدم وجودها	126
(4-24)	النتائج	127
(4-25)	الكميات الممكن توفيرها من غاز SO_2 في حال استعمال طاقة الرياح	130
(4-26)	الكميات الممكن توفيرها من غاز CO_2 في حال استعمال طاقة الرياح	131

جدول بأسماء الأشكال:

رقم الشكل	اسم الشكل	الصفحة
الشكل (1)	الطلب على الطاقة مع وبدون استخدام الطاقات المتجددة	9
الشكل(2)	انبعاثات غازات الدفيئة مع وبدون استخدام الطاقات المتجددة	10
الشكل (1-1)	نسبة مساهمة طاقة الرياح في إجمالي الطاقة المنتجة في دول مختلفة من العالم	17
الشكل (2-1)	تطور أحجام العنفات المركبة عالمياً خلال السنوات1995حتى 2007	19
الشكل (3-1)	توزع إنتاج الطاقة الكهربائية في محطات التوليد حسب نوع الوقود وخلال الفترة 2004-2009	29
الشكل (3-2)	توزع إنتاج الطاقة الكهربائية حسب نوع الوقود خلال عام 2009	30
الشكل (3-3)	التوزع القطاعي للاستطاعة المتاحة حسب نوع العنفات في سورية لعام 2008	31
الشكل(3-4)	محطات التوليد الرئيسية والاستطاعات المتاحة منها في المنظومة الكهربائية السورية لعام 2009	31
الشكل (3-5)	تطور الإنتاج الإجمالي للطاقة الكهربائية	32
الشكل(3-6)	الطلب على الاستطاعة في وقت الذروة	33
الشكل (3-7)	تطور الطلب على الطاقة الكهربائية	34
الشكل (4-1)	المدرج التكراري لسرعة الرياح وتابع ويبل المتوافق معه لمحطة رصد السنديانة	37
الشكل(4-2)	منطقة منبسطة	39
الشكل (4-3)	مناطق مرتفعة متموجة	39
الشكل (4-4)	مخطط تمثيلي لنموذج تحليل أطلس الرياح	41
الشكل (4-5)	مخطط تمثيلي لنموذج تطبيق أطلس الرياح	42
الشكل (4-6)	صنف الخشونة (0)صفر	44
الشكل (4-7)	صنف الخشونة(1)	44
الشكل (4-8)	صنف الخشونة (2)	44
الشكل (4-9)	صنف الخشونة (3)	44
الشكل (4-10)	معامل الخشونة وخواص سطح الأرض و أصناف الخشونة	46
الشكل (4-11)	النسبة المئوية لتناقص السرعة النسبي بسبب عائق ذي بعدين بالاعتماد على تجربة بيريرا 1981.	47
الشكل(4-12)	جريان الهواء فوق هضبة مثالية مع منحني تغير السرعة مع الارتفاع في الاتجاه الذي ترد فيه الرياح قبل الهضبة وعلى قمتها	48
الشكل (4-13)	عنفة ريحية قرب جرف مقابل للبحر	50

الشكل (4-14)	منحني تغير السرعة مع الارتفاع عند سطح الخشونة Z01 مع منحني تغير الرياح المعدل نتيجة لتغير صنف الخشونة في الاتجاه الذي ترد فيه الرياح حيث تغيرت الخشونة إلى Z02	53
الشكل (4-15)	تابع الترجيح Pr –المدرج التكراري الاحتمالي لسرعة الرياح	57
شكل (4-16)	مصطلحات متعلقة بالمزرعة الريحية	60
شكل (4-17)	مفاقيد الصفوف كتابع للأبعاد بين الأنساق من أجل كثافة اضطراب مختلفة	61
الشكل (4-18)	خريطة مصادر الرياح	69
الشكل (4-19)	مواقع أبراج الرصد	69
الشكل(4-20)	منظر عام من منطقة السخنة	70
الشكل (4-21)	برج الرصد في التياس	71
الشكل(4-22)	متوسط سرعات الرياح الشهرية في السخنة	72
الشكل(4-23)	المعدلات الشهرية لسرعات الرياح في التياس	73
الشكل (4-24)	خريطة توضح خطوط تساوي الارتفاع	74
الشكل(4-25)	توزع تكرار الرياح و وردة الرياح في منطقة السخنة-تدمر	75
الشكل(4-26)	توزع تكرار الرياح و وردة الرياح في منطقة التياس-تدمر	75
الشكل (4-27)	أطلس الرياح الإقليمي لمنطقة السخنة-تدمر	76
الشكل (4-28)	أطلس الرياح الإقليمي لمنطقة التياس-تدمر	76
الشكل(4-29)	تشكيل المزرعة المفترضة	79-78
الشكل (4-30)	مخطط الجريان النقدي لخطة توسع وفق برنامج WASP-IV	88
الشكل (4-31)	مخطط مبسط لجريان المعلومات ضمن وحدات برنامج WASP-VI	93
الشكل (4-32)	تمثيل منحني الحمل وفق سلسلة فورييه	94
الشكل (4-33)	مخطط التوسع الثابت	103
الشكل (4-34)	مخطط التوسع المتحول	104
الشكل (4-35)	مثال عن كيفية اختيار البرنامج لعدد الوحدات	107
الشكل (4-36)	مخطط التحليل الأمثل	109
الشكل (4-37)	منحنيات الحمل التراكمية لكل فترة من السنة	112
الشكل (4-38)	الفرق بين حمل الذروة المتوقع وقيمة الاستطاعة المركبة بعد تغطية الحمل	126
الشكل (4-39)	الوفر الناتج في حال استخدام طاقة الرياح	129
الشكل (4-40)	المتجنبة في حال استخدام الرياحCO2كمية غاز	132
الشكل (4-41)	الوفر في الانبعاثات الغازية عند استخدام الرياح في الولايات المتحدة	133

Master's Brief

Feasibility study for using Wind Energy in the Electric Power System

Prepared by
Eng. Sana Samuel Al-Ibrahim

Directed by

Dr.Eng.Mohamad Saleh Al-Ayoubi

Associated Advisor

Dr.Eng. Khaled AlHomsi

A study prepared to get the Master's degree at electric power systems-Electric Power Engineering Department-Mechanical and Electrical Engineering Faculty-Damascus University

The scope of the study :

1-study the tow chosen sites of Al Sokhna and Al Tias in Syria For constructing wind parks there and evaluate the electric power that can be annually produced.

2-Studay the optimal futuristic expansion of the generation system in Syria, according to specific scenarios and show effect of wind power penetration on the result of this study.

3- Analyze the result and show the feasibility of wind power penetration by accomplishing as economic comparison between the two cases of existing wind parks and without them.

The Preparation of the study:

1-A study based on references was done about the different types of the electric plants, then concentrating on wind parks among other types of renewable energy plants, and viewing the state of wind power through the

world and its contribution in the electric generation in many countries in the world.

2- Viewing some basics for economic evaluating of electric power systems.

3- Data and information, about the electric power system in Syria, has collected the ministry of electricity.

4- collecting data of the measured wind speed in Syria with the help of the National Center of Energy Researches(NCER)

5- Understanding and using computer programs which were :

- Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP8): which is used to estimate the possible energy production from a site of a wind park, and it's also can be used to find the regional wind atlas of a specific area starting from the measured wind data.

In this program, we need a digital map of a site and another program 'Global Mapper' has been used to open a digital map of Syria, and the proposed site is chosen, saved as .dxf file to opened later by the annex program " WAsP Map Editor".

After getting this stage, we can put a form of the proposed wind park where a suitable distance between turbines is taken into consideration in order to get the highest level of power.

Doing so, we can reach the expected annual productivity.

- WASP IV:" Wien Automatic System Planning"

  This program depends on the expected electricity demand in addition to the data of existed power plants and candidate ones by our plans for the future service, and the future optimal expansion plan of the generation system is found depending on economic basics and least cost with noticing the limits that can be done on the amount and the type of the fuel and the emissions.

In this research, an economic comparison has been done between two states: having wind power plants in our electric system and not having them, through analyzing the results of the both cases during meeting the expected load according three scenarios of electric demand of electricity, applying several prices of oil 45$, 65$, 70$, 80$, 100$.

As a result, we reached that using wind parks with capacity of 1800MW by the end of 2030 can give us an economic savings in the total cost, and environmental benefits through saving required fuel for the conventional

power plants and so saving in emission of CO_2, in addition to create job opportunities in our country.

The results were ,as an example of economic savings, it's found that in the end of 2030:

	Total cost M$	Cash Flow M$	Sum M$
High case without Wind 100	254305.8	11411.04	265716.84
High case with Wind 100	233937.3	12950.51	246887.81
Ref case without Wind 100	226879.7	9595.89	236475.59
Ref case with Wind 100	205598	11633.08	217231.08
Low case without Wind 100	196529.5	5402.87	201932.37
Low case with Wind 100	176844.4	6860.37	183704.77
High case without Wind 80	240059.4	11411.04	251470.44
High case with Wind 80	220069.1	12950.51	233019.61
Ref case without Wind 80	213196	9595.89	222791.89
Ref case with Wind 80	192515.3	11633.08	204148.38
Low case without Wind 80	183605.7	5402.87	189008.57
Low case with Wind 80	164200.8	6860.37	171061.17
High case without Wind 70	232856.7	11411.04	244267.74
High case with Wind 70	213057.6	12950.51	226008.11
Ref case without Wind 70	206278.5	9595.89	215874.39
Ref case with Wind 70	185901	11633.08	197534.08
Low case without Wind 70	177071.9	5402.87	182474.77
Low case with Wind 70	157809.2	6860.37	164669.57
High case without Wind 65	229246	11411.04	240657.04
High case with Wind 65	209543	12950.51	222493.51
Ref case without Wind 65	202811	9595.89	212406.89
Ref case with Wind 65	182585.5	11633.08	194218.58
Low case without Wind 65	173796.5	5402.87	179199.37
Low case with Wind 65	154604	6860.37	161464.37
High case without Wind 45	214946.9	11411.04	226357.94
High case with Wind 45	195623.1	12950.5	208573.6
Ref case without Wind 45	189076.9	9595.89	198672.79
Ref case with Wind 45	169454.1	11633.08	181087.18
Low case without Wind 45	160824.5	5402.87	166227.37
Low case with Wind 45	141913.5	6860.37	148773.87

- In High scenario, on a price of 100$/bar, the savings were 18829M$ (aprx. 7.09%).
- In High scenario, on a price of 80$/bar, the savings were 18450M$ (aprx. 7.34%).

- In High scenario, on a price of 70$/bar, the savings were 18259M$ (aprx. 7.48%).
- In High scenario, on a price of 65$/bar, the savings were 18164M$ (aprx. 7.5%).
- In High scenario, on a price of 45$/bar, the savings were 17784M$ (aprx. 7. 9%).

Whereas the resulting savings from the international tax applied for reducing the emission of CO_2, the savings in the end of 2030 were:

- 639 M$ in the low scenario.
- 688 M$ in the reference scenario.
- 720 M$ in the high scenario.

Finally, it's obvious that investing in the wind power as a one of the renewable energies, has noticeable and important financial returns, in addition to developing effective human staff that is capable of earning experiences in this field so that we can reduce depending on foreign experience and people, and replace them by national crew, what next will be reflected on our national economy and our capabilities in many fields.