الجمهورية العربية السورية
جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
هندسة ميكانيك الصناعات النسيجية وتقاناتها

تطوير أنظمة تكييف الهواء في الصناعات النسيجية وتأثيرها على منتجات النسيج في المصانع السورية

دراسة أعدت لنيل شهادة الماجستير في هندسة تكنولوجيا النسيج

المهندس محمد جاسم كنج

المشرف المشارك
الدكتور المهندس جمال العمر

المشرف العلمي
الدكتور المهندس وجيه ناعمة

العام الدراسي 2013 م

تطوير أنظمة تكييف الهواء في الصناعات النسيجية وتأثيرها على منتجات النسيج في المصانع السورية

المهندس محمد كنج

قُدمت هذه الرسالة استكمالاً لمتطلبات الحصول على درجة الماجستير في هندسة تكنولوجيا النسيج في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق، الجمهورية العربية السورية.

وافق عليها لجنة الحكم

المحددة بقرار مجلس البحث العلمي والدراسات العليا رقم /2792/ المتخذ بالجلسة رقم /20/ بتاريخ 2013/06/24 م والمتضمن تشكيل لجنة الحكم المؤلفة من السادة:

الدكتور المهندس محمد سعيد الجراح ..... عضواً

أستاذ في قسم هندسة الميكانيك العام – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة دمشق

الدكتور المهندس وجيه ناعمة ..... عضواً مشرفاً

أستاذ في قسم هندسة الميكانيك العام – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة دمشق

الدكتور المهندس محمد أبو عصفور ..... عضواً

متعاقد في قسم هندسة ميكانيك الصناعات النسيجية وتقاناتها – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة دمشق.

الدكتور المهندس	**الدكتور المهندس**	**الدكتور المهندس**
محمد أبو عصفور	**وجيه ناعمة**	**محمد سعيد الجراح**

بسم الله الرحمن الرحيم

شكر وتقدير

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على خير المرسلين سيدنا محمّد صل الله عليه وسلم وعلى آله وأصحابه أجمعين.

وأما وقد آل هذا الجهد البحثي إلى الانتهاء فإنه لا يسعني إلا أن أتقدم بجزيل الشكر وخالص التقدير والاحترام والعرفان إلى:

الدكتور الفاضل وجيه ناعمة و الدكتور الفاضل جمال العمر

اللذان أشرفا على هذه الرسالة منذ أن كانت فكرة في ذهني حتى أصبحت حقيقة، فقد تابعا مراحل إعدادها ووفرا لها عناصر النجاح بالنصح والمشورة والتوجيه فكانا نِعم المشرفين.

كما لا يفوتني أن أتقدم بالشكر والعرفان إلى أعضاء لجنة الحكم:

الدكتور الفاضل محمد سعيد الجراح و الدكتور الفاضل محمد أبو عصفور

فإليهم اعترافي بفضلهم وتقديري لجهودهم وجزاهم الله عني خير الجزاء.

وإلى كل من ساهم بإنجاز هذا البحث لهم كل المحبة والتقدير والاحترام.

م. محمد كنج

الإهداء

إلى والديّ اللذين ما انفكا يدعوان لي بالتوفيق والنجاح طول عمرهما....

إلى زوجتي الفاضلة ورفيقة العمر....

إلى القمر الذي ملئ حياتي نوراً وسعادة....

إلى أخوتي وأخواتي الأعزاء....

إلى طلبة العلم والمعرفة ....

إليهم جميعاً، أُهدي هذا الجهد المتواضع....

م. محمد كنج

الملخص: Abstract

تهدف هذه الأطروحة إلى دراسة تأثير تكييف الهواء والتهوية الصناعية على منتجات النسيج وخواصها لتساهم في اختيار الشروط التصميمية الداخلية لمصانع النسيج، ووجد إنه تنسج الخيوط القطنية بكفاءة أفضل عند الرطوبة النسبية RH% 75.

وتطوير نظام تكييف هواء باستخدام دارة التبريد التبخيري التجفيفي في مصانع النسيج التي تغذي المصنع بكميات أكبر من الهواء الجديد النقي مع استهلاك طاقي أقل يصل حتى 52% والتي تناسب المناطق ذات المناخ الحار والجاف، ومقارنتها مع دارة التبريد التقليدي الانضغاطي باعتماد مبدأ توفير وترشيد استهلاك الطاقة وفقاً لطريقة توزيع الهواء المشتركة التي تخفض كمية تدفق هواء التغذية اللازم حتى 42% بالمقارنة مع طريقة توزيع الهواء التقليدية المعتمدة في بلدنا. وتقييم أداء الدارات الطاقية والاقتصادية وفقاً لشروط التشغيل التصميمية في مدينة دمشق، حيث جرى تقييم أداء دارة التبريد التبخيري التجفيفي الهجينة وفق طريقة توزيع الهواء المشتركة وتبين أنه يتراوح قيمته ما بين $0.961 \leq COP \leq 5$ وأداء هذه الدارة الأفضل وتحقق التهوية الصناعية المطلوبة في مصنع النسيج. وتعتبر دارات التبريد التبخيري التجفيفي صديقة للبيئة التي تخفض انبعاث CO_2 بكميات كبيرة.

الفهرس: Index

الموضوع	الصفحة
كلمة الشكر	2
الإهداء	3
ملخص البحث	4
فهرس البحث	5
أهمية البحث	17
مشكلة البحث ومبرراته	17
غاية البحث	18
الدراسات المرجعية	18
الفصل الأول: تأثير الرطوبة ودرجة الحرارة في الصناعات النسيجية	
1-1 المقدمة	21
1-2 الرطوبة في المصانع النسيجية	21
1-3 مفهوم رطوبة الهواء المحيط	22
1-3-1 الرطوبة النسبية	23
1-3-2 مضمون الرطوبة	23
1-4 علاقة مضمون الرطوبة والترطيب في الصناعات النسيجية	24
1-5 العوامل المؤثرة على محتوى الرطوبة	25
1-6 تأثير الرطوبة على الخصائص الفيزيائية للألياف	26
1-6-1 التغيرات الهندسية (الانتفاخ)	26
1-6-2 التغيرات الميكانيكية	28
1-6-2-1 علاقات قوة الشد- الإجهاد	28
1-6-2-2 الصلابة	34
1-6-2-3 استعادة المرونة	34
1-6-3 التغيرات الكهربائية	34
1-7 تأثير الرطوبة ودرجة الحرارة على إمكانية النسيج	36
1-8 تأثير الرطوبة على تلوث الهواء في الصناعات النسيجية	38
1-9 تأثير الرطوبة على صحة العاملين في الصناعات النسيجية	39
1-10 تأثير الرطوبة على التجهيزات الإلكترونية في الصناعات النسيجية.....	40
الفصل الثاني: الشروط التصميمية لهواء التكييف في المصانع النسيجية السورية	
2-1 الشروط المناخية الخارجية.....	43

الموضوع **الصفحة**

2-1-1 حساب الشروط المناخية التصميمية الخارجية 43
2-1-2 مجال استخدام الشروط المناخية التصميمية الخارجية 44
2-2 الشروط المناخية التصميمية الداخلية 47
2-3 تبديل الهواء 48

الفصل الثالث: أنظمة تكييف الهواء في الصناعات النسيجية

3-1 مقدمة 51
3-2 غسالات الهواء في الصناعات النسيجية 52
3-2-1 طريقة عمل غسالة الهواء 54
3-2-2 غسالة الهواء بمرحلة أو متعددة المراحل 55
3-2-3 أداء غسالة الهواء 55
3-3 وحدات معالجة الهواء المركزية 56
3-3-1 بنية وحدة معالجة الهواء 58
3-3-2 الوشائع وحدات معالجة الهواء 59
3-3-2-1 الوشائع الرطبة 59
3-3-2-2 الوشائع الجافة 60
3-3-3 المرطبات والترطيب في وحدات معالجة الهواء 61
3-3-3-1 حمل الترطيب 61
3-3-3-2 أنواع المرطبات 62
3-4 آلات التبريد الانضغاطية البخارية (المضخات الحرارية) 64
3-4-1 العمليات الترموديناميكية لدورة كارنو العكسية 66
3-4-2 المبادلات الحرارية 67
3-4-1-1 المبخرات 68
3-4-1-2 المكثفات 69
3-4-3 الضواغط 70
3-5 طرق تكييف الهواء في مصانع النسيج 71
3-5-1 طريقة تكييف الهواء التقليدية 71
3-5-2 طريقة تكييف الهواء وفق مناطق العمل 72
3-5-3 طريقة تكييف الهواء المشتركة 74
3-6 التهوية في الصناعات النسيجية 75
3-6-1 أنواع انبعاثات العمليات الإنتاجية 76
3-6-1-1 الغازات والسوائل السامة 76
3-6-1-2 الانبعاثات الحرارية والرطوبة 76
3-6-2 تحديد كمية الهواء في التهوية 77

الموضوع **الصفحة**

3-6-3 تنقية الهواء من الملوثات 78
3-6-3-1 الهواء الملوث 78
3-6-3-2 غبار النسيج 78
3-6-4 أنواع فلاتر تنظيف الهواء 79
3-6-4-1 الفلاتر المسطحة 79
3-6-4-2 فلاتر الهواء الدوارة 79
3-6-4-3 أجهزة التنظيف المحلية 80
3-6-5 فعالية تنقية الهواء 81

الفصل الرابع: تطبيق التبريد التبخيري التجفيفي في الصناعات النسيجية

4-1 مقدمة 83
4-2 التبريد التبخيري 83
4-2-1 التبريد التبخيري المباشر 84
4-2-2 التبريد التبخيري غير المباشر 86
4-2-3 التبريد التبخيري المختلط 88
4-3 التبريد التجفيفي 88
4-4 التبريد التبخيري التجفيفي 90
4-4-1 المسترجع الحراري 91
4-4-1-1 فعالية المسترجعات الحرارية 92
4-4-1-2 الدراسة الترموديناميكية والحرارية للمسترجعات الحرارية 94
4-4-2 المجفف الدوار 95
4-4-3 المرطبات 97
4-4-4 مسخن هواء التنشيط 97
4-5 دارات التبريد التبخيري التجفيفي المقترحة 99
4-5-1 دارة التهوية 100
4-5-2 دارة التهوية المعدَلة 101
4-5-3 دارة التبريد التبخيري التجفيفي الهجينة 103

الفصل الخامس النمذجة الرياضية لدارات تكييف الهواء في مصنع النسيج القطني

5-1 فرضيات الدراسة 105
5-2 الأحمال الحرارية 106
5-2-1 الحمل الحراري شتاءً 106
5-2-1-1 الحمل الحراري وفقاً لطريقة توزيع الهواء التقليدية 108
5-2-1-2 الحمل الحراري وفقاً لطريقة توزيع الهواء المشتركة 108
5-2-2 الحمل الحراري صيفاً 110

الموضوع	الصفحة
5-2-2-1 الحمل الحراري وفقاً لطريقة توزيع الهواء التقليدية	110
5-2-2-2 الحمل الحراري وفقاً لطريقة توزيع الهواء المشتركة	112
5-3 النمذجة الرياضية لدارة التبريد الانضغاطية	113
5-3-1 تحديد درجة حرارة غليان وسيط التبريد t_e	113
5-3-2 تحديد درجة حرارة التكاثف لوسيط التبريد t_c	114
5-3-3 تحديد زيادة التبريد وزيادة التسخين	114
5-3-4 تحديد درجة الانضغاط	114
5-3-5 تحديد كمية وسيط التبريد المار في الدارة	116
5-3-6 تحديد تدفق المياه اللازمة للتبريد	116
5-3-6 تحديد عمل الضاغط	116
5-3-6 تحديد معامل أداء الدارة	117
5-4 النمذجة الرياضية دارات التبريد التبخيري التجفيفي	117
5-4-1 دارة التهوية	117
5-4-2 دارة التهوية المعدّلة	123
5-4-3 دارة التبريد التبخيري التجفيفي الهجينة	128
5-5 الكود البرمجي لدارات التبريد التبخيري التجفيفي	134
5-5-1 الكود البرمجي لدارة التهوية	135
5-5-2 الكود البرمجي لدارة التهوية المعدّلة	140
5-5-3 الكود البرمجي لدارة التبريد التبخيري التجفيفي الهجينة	145
5-6 الدراسة الطاقية والاقتصادية	151
5-6-1 الدراسة الطاقية لدارة التبريد الانضغاطية	152
5-6-1-1 طريقة الدراسة	152
5-6-1-2 الكسب الحراري الساعي	152
5-6-1-3 الحمل التبريدي الساعي	153
5-6-1-4 معدل نزع الحرارة ودرجة الحرارة داخل الحيز المكيّف	153
5-6-1-5 حساب استهلاك الطاقة الساعي	154
5-6-1-6 التجهيزات الأساسية واستهلاك الطاقة	155
5-6-2 الدراسة الطاقية لدارة التبريد التبخيري التجفيفي	155
5-7 الدراسة البيئية	156
5-7-1 حساب كمية انبعاث غاز CO_2 لدارة التبريد الانضغاطية	157
5-7-2 حساب كمية انبعاث غاز CO_2 لدارة التبريد التبخيري التجفيفي.....	158
5-7-3 حساب كمية انبعاث غاز CO_2 لدارة التبريد التبخيري التجفيفي الهجينة	160

الموضوع **الصفحة**

الفصل السادس: النتائج والتوصيات

6-1 النتائج 163
6-1-1 اختبارات تأثير الرطوبة النسبية 163
6-1-2 طريقة توزيع الهواء 164
6-1-3 استهلاك الطاقة الحرارية 165
6-1-3-1 الحمل الحراري شتاءً 165
6-1-3-2 الحمل الحراري صيفاً 166
6-1-4 استهلاك الطاقة الكهربائية لدارات التبريد 167
6-1-5 أداء دارات التبريد التجفيفية التبخيرية 168
6-1-5-1 أداء دارة التهوية 169
6-1-5-2 أداء دارة التهوية المعدّلة 172
6-1-5-3 أداء دارة التبريد التبخيري التجفيفي الهجينة 174
6-1-6 التقييم البيئي 177
6-2 الاستنتاجات 178
6-3 التوصيات 179

فهرس الأشكال: Figures Index

الشكل **الصفحة**

الشكل (1-1) العلاقة بين درجة الحرارة وكتلة بخار الماء في الوسط المحيط 23
الشكل (1-2) الرطوبة النسبية ومضمون الرطوبة بالعلاقة مع درجة الحرارة للقطن 24
الشكل (1-3) علاقة مضمون الرطوبة بالرطوبة النسبية لأنواع مختلفة من الألياف النسيجية 25
الشكل (1-4) تغير أبعاد الشعيرات بالعلاقة مع محتوى الرطوبة 27
الشكل (1-5) العلاقة بين قوة الشد والاستطالة لكلا الحالتين الرطبة والجافة لعينة الصوف 28
الشكل (1-6) جهاز قياس قوة الشد والاستطالة USTER TENSORAPID 3 V7.0 SA 29
الشكل (1-7) العلاقة بين الرطوبة النسبية وقوة الشد لعينة الخيط القطني نمرته المترية $18.2N_m$ 31
الشكل (1-8) العلاقة بين الرطوبة النسبية والاستطالة لعينة الخيط القطني نمرته المترية $18.2N_m$ 31
الشكل (1-9) العلاقة بين الرطوبة النسبية وقوة الشد لعينة الخيط القطني نمرته المترية $28.7\ N_m$ 32
الشكل (1-10) العلاقة بين الرطوبة النسبية والاستطالة لعينة الخيط القطني نمرته المترية $28.7\ N_m$ 32
الشكل (1-11) العلاقة بين الرطوبة النسبية وقوة الشد لعينة الخيط القطني نمرته المترية $42.8\ N_m$ 33
الشكل (1-12) العلاقة بين الرطوبة النسبية والاستطالة لعينة الخيط القطني نمرته المترية $42.8\ N_m$ 33
الشكل (1-13) علاقة محتوى الرطوبة w% بتغير المقاومة النوعية R_S للقطن 35

الشكل **الصفحة**

الشكل (1-14) منحنيات إمكانية النسيج لثلاث مستويات مختلفة للرطوبة النسبية لإنتاج قماش البوبلين 37

الشكل (1-15) منحنيات إمكانية النسيج لثلاث مستويات مختلفة للرطوبة النسبية لإنتاج الأقمشة الخفيفة 37

الشكل (1-16) تطاير الزغبر على نفس منحني إمكانية النسيج 38

الشكل (1-17) نمو الكائنات الحية الدقيقة بالعلاقة مع الرطوبة النسبية 40

الشكل (3-1) مخطط توضيحي لغسالة الهواء 53

الشكل (3-2) وصل المبرد الماء (الشيلر) مع غسالة الهواء 54

الشكل (3-3) غسالة الهواء (a) بمرحلة واحدة (b) متعددة المراحل 55

الشكل (3-4) وحدة معالجة الهواء الأفقية النموذجية 57

الشكل (3-5) وشيعة التبريد المائية 59

الشكل (3-6) وشيعة التدفئة بالبخار 59

الشكل (3-7) عملية التبريد المحسوس في الوشائع الجافة على المخطط البسايكرومتري 60

الشكل (3-8) عملية ترطيب الهواء على المخطط البسايكرومتري 62

الشكل (3-9) مرطبة البخار والتدفئة 63

الشكل (3-10) مخطط رمزي لآلة التبريد الانضغاطية البخارية التقليدية 65

الشكل (3-11) التمثيل الترموديناميكي لدورة كارنو العكسية 65

الشكل (3-12) مبادل حراري ذو جريان معاكس 67

الشكل (3-13) العمليات الترموديناميكية لمبادل حراري ذو الجريان متعاكس 67

الشكل (3-14) مخطط رمزي للمبخر في آلات التبريد الانضغاطية التقليدية 69

الشكل (3-15) مكثف هوائي لآلة تبريد الانضغاطية التقليدية 70

الشكل (3-16) مخطط رمزي لضاغط دارة التبريد الانضغاطية البخارية 71

الشكل (3-17) طريقة تكييف الهواء التقليدية في صالة النسيج 72

الشكل (3-18) طريقة تكييف الهواء وفق مناطق العمل..... 73

الشكل (3-19) كمية الهواء اللازمة والرطوبة النسبية وفقاً لاستطاعة الآلة 74

الشكل (3-20) طريقة تكييف الهواء المشتركة 75

الشكل (3-21) المخطط الرمزي لدارة التهوية في صالة نسيج 75

الشكل (3-22) نظام فلترة وتنظيف هواء الرجوع 79

الشكل (3-23) فلتر الهواء الدوار 80

الشكل (3-24) جهاز التنظيف المحلي في آلات الغزل والنسيج 81

الشكل (4-1) نظام التبريد التبخيري المباشر وتمثيله على المخطط البسايكرومتري 84

الشكل (4-2) أنواع المبردات التبخيرية المباشرة 85

الشكل (4-3) نظام التبريد التبخيري غير المباشر وتمثيله على المخطط البسايكرومتري 86

الشكل **الصفحة**

الشكل (4–4) المخطط التوضيحي لأنواع المبردات التبخيرية غير المباشرة 87
الشكل (4–5) عملية تمثيل التبريد التبخيري غير المباشر على المخطط البسايكرومتري 87
الشكل (4–6) نظام التبريد التبخيري المختلط وتمثيله على المخطط البسايكرومتري 88
الشكل (4–7) نظام التبريد التجفيفي وتمثيله على المخطط البسايكرومتري 89
الشكل (4–8) دارة التبريد التبخيري التجفيفي (دارة التهوية)..... 91
الشكل (4–9) المسترجع الدوار ومصفوفته 91
الشكل (4–10) المسترجع الحراري وجدار المصفوفة الساخن والبارد 93
الشكل (4–11) المجفف الدوار 94
الشكل (4–12) عملية انتقال الحرارة المحسوسة للمبادل الحراري المحسوس الدوار وعملية انتقال الانتالبي للمبادل الحراري الانتالبي 96
الشكل (4–13) مخطط توضيحي دارة إعادة التنشيط في دارة التبريد التبخيري التجفيفي 98
الشكل (4–14) مخطط رمزي لدارة التهوية 100
الشكل (4–15) تمثيل العمليات على المخطط البسايكرومتري لدارة التهوية 100
الشكل (4–16) مخطط رمزي لدارة التبريد التبخيري التجفيفي (دارة التهوية المعدّلة) 101
الشكل (4–17) تمثيل العمليات على المخطط البسايكرومتري لدارة التهوية المعدّلة..... 101
الشكل (4–18) مخطط رمزي لدارة التبريد التبخيري التجفيفي الهجينة 103
الشكل (4–19) تمثيل دارة التبريد التبخيري التجفيفي الهجينة على المخطط البسايكرومتري 103
الشكل (5–1) مخطط رمزي لدارة التكييف شتاءً وفق طريقة توزيع الهواء التقليدية..... 107
الشكل (5–2) تمثيل عملية التكييف شتاءً في صالة النسيج القطنية على المخطط البسايكرومتري وفق طريقة توزيع الهواء التقليدية 107
الشكل (5–3) مخطط رمزي لدارة التكييف شتاءً وفق طريقة توزيع الهواء المشتركة 109
الشكل (5–4) تمثيل عملية التكييف شتاءً في صالة النسيج القطنية على المخطط البسايكرومتري وفق طريقة توزيع الهواء المشتركة 109
الشكل (5–5) مخطط رمزي لدارة التكييف صيفاً وفق طريقة توزيع الهواء التقليدية 111
الشكل (5–6) تمثيل عملية التكييف صيفاً في صالة النسيج القطنية على المخطط البسايكرومتري وفق طريقة توزيع الهواء التقليدية 111
الشكل (5–7) مخطط رمزي لدارة التكييف صيفاً وفق طريقة توزيع الهواء المشتركة 112
الشكل(5–8) تمثيل عملية التكييف صيفاً في صالة النسيج القطنية على المخطط البسايكرومتري وفق طريقة توزيع الهواء المشتركة 113
الشكل (5–9) تمثيل الدورة الحرارية للمضخة الحرارية على مخطط (log P – h) 115
الشكل (5–10) منحني الفعالية الحرارية وتغيرها مع السعة الحرارية الحجمية..... 119
الشكل (5–11) مخطط رمزي لدارة التبريد التبخيري التجفيفي الهجينة 134
الشكل (5–12) تمثيل دارة التبريد التبخيري التجفيفي الهجينة على المخطط البسايكرومتري 134

الشكل **الصفحة**

الشكل (5–13) برمجة دارة التهوية على برنامج EES 139

الشكل (5–14) برمجة دارة التهوية المعدلة على برنامج EES 144

الشكل (5–15) برمجة دارة التبريد التبخيري التجفيفي الهجينة على برنامج EES 150

الشكل (5–16) استهلاك الطاقة الكهربائية لنظام تكييف الهواء في الصناعات النسيجية 151

الشكل (6–1) كمية تدفق هواء التغذية اللازم للصالة وفق طريقة توزيع الهواء التقليدية والمشتركة 164

الشكل (6–2) مقارنة الحمل الحراري الشتوي بين طريقة توزيع الهواء التقليدية والمشتركة 165

الشكل (6–3) مقارنة الحمل الحراري الصيفي بين طريقة توزيع الهواء التقليدية والمشتركة 166

الشكل (6–4) مقارنة استهلاك الطاقة الحرارية والكهربائية لدارة التبريد الانضغاطية التقليدية وفق طريقة توزيع الهواء التقليدية والمشتركة 167

الشكل(6–5) مقارنة استهلاك الطاقة الكهربائية الساعي لطريقتي توزيع الهواء التقليدية والمشتركة 168

الشكل (6–6) مخطط الحالة المناخية لمدينة دمشق وفق نقاط اختبار عمل دارات (DEC) 169

الشكل (6–7) إمكانية تطبيق دارة التهوية وفقاً للشروط المناخية لمدينة دمشق عند $t_{reg} = 80°C$ 170

الشكل (6–8) أداء دارة التهوية وفق طريقة توزيع الهواء التقليدية بالعلاقة مع درجة حرارة هواء إعادة التنشيط 170

الشكل (6–9) أداء دارة التهوية وفق طريقة توزيع الهواء المشتركة بالعلاقة مع درجة حرارة هواء إعادة التنشيط 171

الشكل (6–10) إمكانية تطبيق دارة التهوية المعدّلة وفقاً للشروط المناخية لدمشق عند $t_{reg} = 80°C$ 172

الشكل (6–11) مخطط أداء دارة التهوية المعدّلة وفق طريقة توزيع الهواء التقليدية بالعلاقة بين درجة حرارة هواء التغذية ودرجة حرارة الهواء إعادة التنشيط 173

الشكل (6–12) مخطط أداء دارة التهوية المعدّلة وفق طريقة توزيع الهواء المشتركة بالعلاقة بين درجة حرارة هواء التغذية ودرجة حرارة الهواء إعادة التنشيط 173

الشكل (6–13) إمكانية تطبيق دارة التبريد التبخيري التجفيفي الهجينة HDEC وفقاً للشروط المناخية لمدينة دمشق 174

الشكل (6–14) مخطط أداء دارة التبريد التبخيري التجفيفي الهجينة وفق طريقة توزيع الهواء التقليدية بالعلاقة بين درجة حرارة هواء التغذية ودرجة حرارة الهواء إعادة التنشيط 175

الشكل (6–15) مخطط أداء دارة التبريد التبخيري التجفيفي الهجينة وفق طريقة توزيع الهواء المشتركة بالعلاقة بين درجة حرارة هواء التغذية ودرجة حرارة الهواء إعادة التنشيط 175

الشكل (6–16) مقارنة بين معامل أداء دارات التبريد المدروسة (VCC دارة التبريد الانضغاطي – DEC دارة التبريد التبخيري التجفيفي (دارة التهوية المعدّلة) – HDEC دارة التبريد التبخيري الهجينة) 177

الشكل (6–17) مقارنة انبعاث غاز CO_2 لدارات التبريد الانضغاطي مع دارات التبريد التبخيري التجفيفي 177

فهرس الجداول: Tables Index

الجدول	الصفحة
الجدول (1-1) زيادة الأبعاد الهندسية وانتفاخها لأنواع مختلفة من الألياف	27
الجدول (1-2) يبين المقاومة الكهربائية ومحتوى الرطوبة لبعض الألياف النسيجية في الشروط المناخية النظامية للهواء	35
الجدول (2-1) الشروط التصميمية الخارجية لبعض المدن السورية	46
الجدول (2-2) توصيات الشروط المناخية التصميمية الداخلية لدرجة الحرارة والرطوبة النسبية للألياف القطنية والصنعية في مصنع الغزل وفقاً للمعيار ASHRAE 2007 HVAC App	47
الجدول (2-3) توصيات الشروط المناخية التصميمية الداخلية لدرجة الحرارة والرطوبة النسبية للألياف القطنية والصنعية في مصنع النسيج وفقاً للمعيار ASHRAE 2007 HVAC App	47
الجدول (2-4) توصيات الشروط المناخية التصميمية الداخلية لدرجة الحرارة والرطوبة النسبية للألياف الصوفية والكتان وفقاً للمعيار الألماني DNI	48
الجدول (2-5) عدد مرات تبديل الهواء والحمل الحراري في صالات النسيج	49
الجدول (2-6) عدد مرات تبديل الهواء في صالات الغزل	49
الجدول (3-1) القيم التصميمية الحرارية للمبخر الجاف	69
الجدول (3-2) التركيز الحدي المسموح به لبعض الغازات والبخرة الضارة	76
الجدول (5-1) الأحمال الحرارية شتاءً في صالة النسيج وفق طريقة توزيع الهواء التقليدية	108
الجدول (5-2) الأحمال الحرارية شتاءً في صالة النسيج وفق طريقة توزيع الهواء المشتركة	109
الجدول (5-3) الأحمال الحرارية صيفاً في صالة النسيج وفق طريقة توزيع الهواء التقليدية	110
الجدول (5-4) الأحمال الحرارية صيفاً في صالة النسيج وفق طريقة توزيع الهواء المشتركة	112
الجدول (5-5) مواصفات نقاط الدورة الحرارية للمضخة الحرارية على مخطط (log P – h) ...	115
الجدول (5-6) كمية انبعاث غاز CO_2 لدارات التبريد المدروسة	161
الجدول (6-1) نتائج اختبار العينات على جهاز USTER TENSORAPID 3 V7.0 SA	163
الجدول (6-2) الأحمال الحرارية الشتوية في صالة النسيج وفق طريقة توزيع الهواء التقليدية	165
الجدول (6-3) الأحمال الحرارية الشتوية في صالة النسيج وفق طريقة توزيع الهواء المشتركة ...	166
الجدول (6-4) الأحمال الحرارية صيفاً في صالة النسيج وفق طريقة توزيع الهواء التقليدية	166
الجدول (6-5) الأحمال الحرارية صيفاً في صالة النسيج وفق طريقة توزيع الهواء المشتركة	166
الجدول (6-6) الشروط التصميمية الخارجية التي تم عندها اختبار دارات (DEC)	168
الجدول (6-7) القيم الحسابية الناتجة عن المحاكاة الرياضية في برنامج EES لدارة التهوية	171
الجدول (6-8) القيم الحسابية الناتجة عن المحاكاة الرياضية في برنامج EES لدارة التهوية المعدلة	174
الجدول (6-9) القيم الحسابية الناتجة عن المحاكاة الرياضية في برنامج EES لدارة التبريد التبخيري التجفيفي الهجينة	176

الرموز والمصطلحات: Nomenclature

الرمز	الوصف
$A\ [m^2]$	مساحة سطح التبادل الحراري في المسترجع الحراري الدوار
$A_r\ [m^2]$	مساحة الصالة
$\beta\ \left[\frac{m^2}{m^3}\right]$	معامل السطح
$c\ \left[\frac{kJ}{s.K}\right]$	تدفق السعة الحرارية
$c_c\ \left[\frac{kJ}{s.K}\right]$	تدفق السعة الحراري للهواء البارد
$c_h\ \left[\frac{kJ}{s.K}\right]$	تدفق السعة الحراري الأعظمي
$c_r\ \left[\frac{kJ}{s.K}\right]$	تدفق السعة الحراري لجدار المصفوفة
$C^*\ \left[\frac{kJ}{s.K}\right]$	عدد لابعدي لتدفق السعة الحرارية للهواء
$c_r^*\left[\frac{kJ}{s.K}\right]$	عدد لابعدي لتدفق السعة الحرارية لجدار المصفوفة
$c_{max}\ \left[\frac{kJ}{s.K}\right]$	تدفق السعة الحراري الأعظمي
$c_{min}\ \left[\frac{kJ}{s.K}\right]$	تدفق السعة الحراري الأصغري
$CE\ \left[\frac{kJ}{kg}\right]$	الأثر التبريدي
COP	معامل أداء الدارة
$D\ [m]$	قطر المسترجع الحراري الدوار
$d_{sheft}\,[m]$	قطر المحور القائد
$h_r\ \left[\frac{kJ}{kg}\right]$	انتالبي الهواء داخل المكان المكيف
$h_{out}\left[\frac{kJ}{kg}\right]$	انتالبي هواء التغذية عند خروجه من المجفف.
$h_s\left[\frac{kJ}{kg}\right]$	انتالبي هواء التغذية.
$h_{reg}\ \left[\frac{kJ}{kg}\right]$	انتالبي هواء التنشيط.
$h_{in}\left[\frac{kJ}{kg}\right]$	انتالبي هواء التغذية قبل دخوله إلى المجفف.
$\dot{m}_s\ \left[\frac{kg}{s}\right]$	كمية تدفق هواء التغذية
ε	الفعالية الحرارية للمسترجع الحراري الدوار
ε_{cf}	الفعالية الحرارية لمسترجع حراري مسطح
$f_{r,seal}$	نسبة التغطية للمصد
$L\ [m]$	طول المسترجع الحراري الدوار

الرمز	الوصف
$\dot{m}_{reg}\left[\frac{kg}{s}\right]$	كمية تدفق هواء إعادة التنشيط
$N\ [rpm]$	عدد دورات المسترجع الحراري
RH_{out}	الرطوبة النسبية لهواء التغذية عند خروجه من المجفف.
$RH_{reg,in}$	الرطوبة النسبية لهواء إعادة التنشيط.
RH_{in}	الرطوبة النسبية لهواء التغذية قبل دخوله إلى المجفف
$t_{co}\ ℃$	درجة حرارة خروج الهواء البارد من المسترجع الحراري الدوار
$t_{hi}\ ℃$	درجة حرارة خروج الهواء الساخن من المسترجع الحراري الدوار
$t_{reg,out}\ ℃$	درجة حرارة هواء إعادة التنشيط الخارج من المجفف
$t_{reg}\ ℃$	درجة حرارة هواء إعادة التنشيط الداخل إلى المجفف
$w\ \left[\frac{kg}{kg}\right]$	نسبة الرطوبة الهواء
$w_{reg\ out}\ \left[\frac{kg}{kg}\right]$	نسبة الرطوبة لهواء إعادة التنشيط الخارج من المجفف
ε_{hum}	مردود المرطبة

الدلائل: Indicators

الدليل العلوي

الطرف البارد (نسبة إلى دخوله إلى المسترجع الدوار)	c
الطرف الحار (نسبة إلى دخوله إلى المسترجع الدوار)	h

الدليل السفلي

طرف التجفيف من المجفف الدوار	deh
الطرف البارد	c
الطرف الحار	h
نسبة إلى المسترجع الثانوي	sec
الدخل	in
الخرج	out
الغرفة	room
المسترجع الحراري الدوار	rot,hx
نقطة التغذية	s
النقطة بعد المرطبة على طرف الهواء الراجع	m
طرف إعادة التنشيط من المجفف الدوار	reg
قيمة البارمتر للهواء المشبع ϕ %	phi 100%

تطوير أنظمة تكييف الهواء في الصناعات النسيجية وتأثيرها على منتجات النسيج في المصانع السورية

Development of Air Conditioning Systems in Textile Industrial and Their Effective on Textile Products in Syrian Factories

تطوير أنظمة تكييف الهواء في الصناعات النسيجية وتأثيرها على منتجات النسيج في المصانع السورية

Development of Air Conditioning Systems in Textile Industrial and Their Effective on Textile Products in Syrian Factories

أهمية البحث: Research Importance

تأتي أهمية البحث كونه يتناول موضوع تطوير أنظمة التكييف في المنشآت النسيجية وتأثيرها على عمليات إنتاج المنسوجات من حيث توفير الظروف التشغيلية المناسبة بالعلاقة مع نوع المادة الأولية، وذلك باعتماد مبدأ توفير وترشيد استهلاك الطاقة الحرارية والكهربائية. مما يسهم في تحقيق جودة المنتج، والوفر الاقتصادي، وانعكاسه على القيمة المضافة لتصنيع الغزول والأقمشة.

مشكلة البحث ومبرراته: Research Problem and Their Excuses

لوُحظ أثناء عدد من الزيارات لمعامل القطاع العام في المؤسسة العامة لصناعات النسيجية تفاوت الشروط المناخية الداخلية في معظم صالات النسيج التي تؤثر سلباً على صحة العاملين وجودة الإنتاج، فجرى البحث هذه المشكلة لتحديد الشروط المناخية الداخلية الملائمة لهواء صالات النسيج القطنية وفق طرق التكييف الحديثة المتبعة في البلدان المتقدمة المعتمدة على مبدأ توفير وترشيد استهلاك الطاقة.

وتكمن مبررات الدراسة والنتائج المتوقعة من هذا البحث في طرح مجموعة من الأسئلة:

- ما هو تأثير الرطوبة النسبية ودرجة الحرارة على خواص الخيوط في الصناعات النسيجية؟
- ماهي الرطوبة النسبية ودرجة الحرارة الملائمة لكل مرحلة من مراحل لتصنيع الأقمشة والخيوط؟
- من أين يأتي مصدر الطاقة الحرارية لتأمين الظروف المناخية الداخلية لعمليات الإنتاج؟
- ما هي تكلفة الطاقة الحرارية ومصدرها اللازمة لتكييف الهواء في صناعة النسيج؟
- ما هو النموذج الأفضل لنظام التكييف في المنشآت النسيجية السورية؟

المبرر الجوهري لهذه الأطروحة: Essential Excuse for This Thesis

التوصل إلى النموذج الأفضل لنظام التكييف في المنشآت النسيجية وفق الظروف المناجية السورية بالعلاقة مع نوع المادة الأولية من حيث توفير وترشيد استهلاك الطاقة.

غاية البحث: Purpose Research

تكمن غاية وجوهر البحث في النقاط التالية:

- تطوير أنظمة التكييف ضرورة ملحة تمليها المصلحة العامة لأهمية التكييف البالغة في الصناعات النسيجية.
- توفير وترشيد استهلاك الطاقة من خلال وضع النموذج الأفضل لأنظمة التكييف في الصناعات النسيجية.
- حماية الطاقة البشرية من الأثار السلبية نتيجة الظروف التشغيلية والبحث عن سبل المعالجة.
- تحقيق جودة المنسوجات لتلبي حاجات المستهلك والمنافسة في الأسواق المحلية والدولية بأسعار معقولة.
- دعم سياسة الدولة لتحقيق القيمة المضافة المثلى من خلال تطوير بنية المنشآت النسيجية.

الدراسات المرجعية: Background Studies

أثناء البحث عن المراجع العربية حول موضوع الرسالة فلم أجد أي مرجع يدرس العلاقة بين تكييف الهواء في المنشآت النسيجية وتأثيرها على الإنتاج. فتعد هذه الدراسة الأولى التي تدرس هذه الفكرة المقدمة في هذه الأطروحة.

أُجريت الكثير من الدراسات حول موضوع تأثير الرطوبة ودرجة الحرارة في الصناعات النسيجية وربطها مع أنظمة تكييف الصالات النسيجية لتحديد الشروط التصميمية الداخلية للصالات بدقة من حيث الرطوبة النسبية ودرجة الحرارة الأفضل مما انعكس إيجابياً على عمليات الإنتاج.

- بيّن Hearle and Morton (1993) مدى تأثر الخصائص الفيزيائية للألياف بالرطوبة النسبية ودرجة الحرارة، ووجد أن قوة الشد والاستطالة تزداد من الحالة الجافة إلى الحالة الرطبة للقطن والكتان والجوت والقنب عند امتصاص بخار الماء من الوسط المحيط، وتتناقص قوة الشد وتزداد الاستطالة للصوف والفيسكوز [1].

- لاحظ كلاً من Urquhart and Eckersall (1993) أن الرطوبة النسبية الأعلى من 85% RH تعطي القطن رطوبة منخفضة بارتفاع درجة الحرارة من 50°C إلى 110°C. وإن مضمون الرطوبة يزداد من 0.9% عند رطوبة نسبية 20% RH إلى 1.8% عند رطوبة نسبية 70% RH وعند الجو القياسي 65% RH ودرجة حرارة 20°C فإن مضمون الرطوبة %(8–7) والامتزاز يزيد من مضمون الرطوبة 0.9% [2].
- درس Meredith (1969) تأثير امتصاص الرطوبة على تغيرات الأبعاد الهندسية للخيوط، ووجد إن الطول يزداد بمقدار 1.2% للقطن بالتحول من الحالة الجافة إلى الحالة الرطبة والقطر يمكن أن يصل إلى 14% [3].
- بحث كلاً من Ibbett and Hsieh (2001) وأعدا تقريراً حول انتفاخ الشعيرات ووجدا إن انتفاخ الشعيرات العرضي %(15–10) والطولي %(0.5–0). تعطى القيمة العظمى لانتفاخ الشعيرات 63% وهذا يتوافق مع مضمون رطوبة 40% [8].
- قام Hearle (1954) بدراسة وقياس المقاومة الكهربائية وتأثرها بالرطوبة النسبية ومضمون الرطوبة ووجد إن المقاومة الكهربائية تتناقص بازدياد مضمون الرطوبة، والتغيّر في المقاومة يتناقص عشرة أضعاف لكل 13% زيادة في الرطوبة النسبية [5].
- طور وقدم الأمريكي Willies Carrier (1906) في شركة Buffalo أول نوع من المرطبات وغسالات الهواء air washers عن طريق تبخير الماء عبر تيار الهواء ليصبح بارداً ويعرف حالياً بالتبريد التبخيري evaporative cooling ولاتزال تستخدم في الصناعات النسيجية إلى وقتنا الحالي بكفاءة جيدة [9].
- قدم Ali Hasanbeigi (2010) العديد من الأبحاث حول استهلاك الطاقة الكهربائية في الصناعات النسيجية، فتبين أن استهلاك الطاقة الكهربائية في تكييف الهواء تقريباً يساوي 55% من أجمالي استهلاك الطاقة في مصنع النسيج [30].
- بحث Beccali M (2003) في العديد من المقالات العلمية المنشورة عن دارات التبريد التبخيري التجفيفي واقترح عديد من الدارات التبريد التبخيري التجفيفي من أشهرها دارة التهوية [29].
- درس Ahmad. M (2007) تكييف هواء صالات الغزل بطريقة التبريد التبخيري وأوجد العلاقات الحسابية اللازمة للتبريد التبخيري في صالات النسيج مع العلاقة من الأحمال الحرارية لمكان والآلات [26].

الفصل الأول

تأثير الرطوبة ودرجة الحرارة في الصناعات النسيجية

Influence of An Humidity and Temperature in The Textile Industries

الفصل الأول

تأثير الرطوبة ودرجة الحرارة في الصناعات النسيجية

Influence of An Humidity and Temperature in The Textile Industries

1-1 المقدمة: Introduction

تتأثر خصائص المنتجات النسيجية بشكل ملحوظ بمضمون رطوبة moisture content الألياف المكونة لها وكذلك الرطوبة النسبية، والعديد من الألياف خصوصاً الطبيعية ذات التيلة قابلة لامتصاص بخار الماء من الهواء المحيط الرطب وإعطاء بخار الماء للهواء المحيط الجاف.

يؤثر ذلك على الخصائص الطبيعية وخصوصاً الاستطالة elongation والمرونة واستعادة المرونة والاحتكاك والمتانة والصلابة وقوة الشد strength الأكثر أهمية، ونتيجة لذلك فإن مضمون الرطوبة والرطوبة النسبية للوسط المحيط لهما أهمية بالغة في عملية الغزل والنسيج لكافة أنواع الألياف، فقد وجد إن قوة الشد قد تزداد لتصل إلى 40% لبعض الألياف في الحالة الرطبة بالمقارنة مع حالتها الجافة [1].

وبالرغم من أن الرطوبة غير مرئية بالعين إلا أن تأثيرها يلاحظ بسهولة، ونحصل على الراحة الملائمة والكفاءة بيئة العمل للعمال وأداء الآلات والتجهيزات والمواد الأولية بالترطيب الصحيح، ويزداد تأثير الرطوبة بتطبيق مبدأ التحكم بالرطوبة على الواقع العملي من خلال المحافظة على جودة الهواء الداخلي IAQ مما يؤدي إلى تخفيض تكاليف الطاقة وزيادة الإنتاجية وتوفير الجهد البشري وتخفيض تكاليف الصيانة وضمان الجودة الأفضل للمنتج.

1-2 الرطوبة في المصانع النسيجية: The Humidity in Textile Factories

يمنع الهواء المناسب انخفاض جودة المواد الأولية بدءاً من صالة التخزين وحتى عملية نسج القماش على النول ليحافظ المنتج النهائي على شكله وحجمه ومتانته.

تؤدي زيادة الرطوبة النسبية فوق الحد المطلوب إلى التصاق الألياف ببعضها البعض مما يؤدي إلى التفاف الألياف على السلندرات وبالتالي يعيق الإنتاج، وإزالة الألياف ليس فقط يستهلك وقت

بل يؤدي إلى ضرراً في الآلة وخصوصاً السلندرات المطاطية، وكذلك يؤدي إلى تقصف الشعيرات وتخزين الشحنة الكهربائية المتولدة بسبب الاحتكاك بين الألياف أثناء عملية الإزالة.
وعموماً خيوط السداء في النسيج مغطاة بطبقة من النشاء والوسط المحيط يجب أن يكون مناسباً، ويصبح الخيط هش وقابل للتقصف عند انخفاض الرطوبة، وكذلك الرطوبة المرتفعة تجعل الخيوط على مطواية السداء طرية.
صممت أجهزة الغزل الحديثة للتشغيل بسرعات عالية، وعلى أية حال فإن زيادة درجة حرارة الوسط المحيط تؤدي إلى انخفاض السرعة إلى الحد الأدنى. وبالإضافة لذلك يتطلب التحكم الإلكتروني المتطور في آلات الغزل والنسيج الحديثة التحكم بدرجة حرارة الوسط المحيط والتي يجب أن لا تتجاوز 33°C، ومن الضروري أيضاً تحديد مدى درجة الحرارة لآلات الغزل والنسيج المحددة من خلال الأجزاء الفولاذية والألمنيوم للآلة التي ستخضع للإجهادات الميكانيكية. لذلك فإن شروط الرطوبة النسبية الموصى بها يجب ان تبقى ثابتة لكل أقسام الغزل والنسيج [1].
وأسباب التحكم بدرجة الحرارة والرطوبة في معامل الصناعات النسيجية هي:

- يسبب الهواء الجاف انخفاض مضمون الرطوبة وهذا يساهم إلى خفض الجودة والإنتاجية.
- تكون الخيوط ذات مضمون رطوبة منخفض ضعيفة وأقل استطالة وعرضة للكهرباء الساكنة بسبب الاحتكاك.
- تكون المواد الأولية ذات مضمون الرطوبة الأمثل أقل تعرضاً للتقطعات.
- تنخفض الكهرباء الساكنة للمواد الأولية عند الرطوبة النسبية المرتفعة وبالتالي تزيد في سرعة الآلات.
- تسبب الرطوبة المنخفضة انكماش الأقمشة.
- يخفض الترطيب الزغبر المتطاير والغبار ويؤمن بيئة عمل مريحة وصحية أكثر.

3-1 مفهوم رطوبة الهواء المحيط: Meaning of Environment Humidity

يكون مضمون الرطوبة في المواد الأولية النسيجية في حالة توازن مع الهواء المحيط حيث يعتمد على كمية الماء الموجودة بالوسط المحيط. لذلك فإن مضمون رطوبة المواد الأولية التي تمتص الماء يمكن أن يتفاوت من يوم إلى يوم ومن صالة إلى صالة.

1-3-1 الرطوبة النسبية: Relative Humidity

هي عبارة عن نسبة الوزن الحقيقي لبخار الماء الموجود في حجم من الهواء عند ضغط ودرجة حرارة محددة إلى وزن البخار اللازم لإشباع نفس الحجم من الهواء عند نفس الضغط ودرجة الحرارة. وزيادة كمية الرطوبة للهواء المحيط تؤدي لزيادة درجة الحرارة ويصبح الهواء أدفأ ويحتوى على بخار الماء اكثر من الهواء البارد [1].

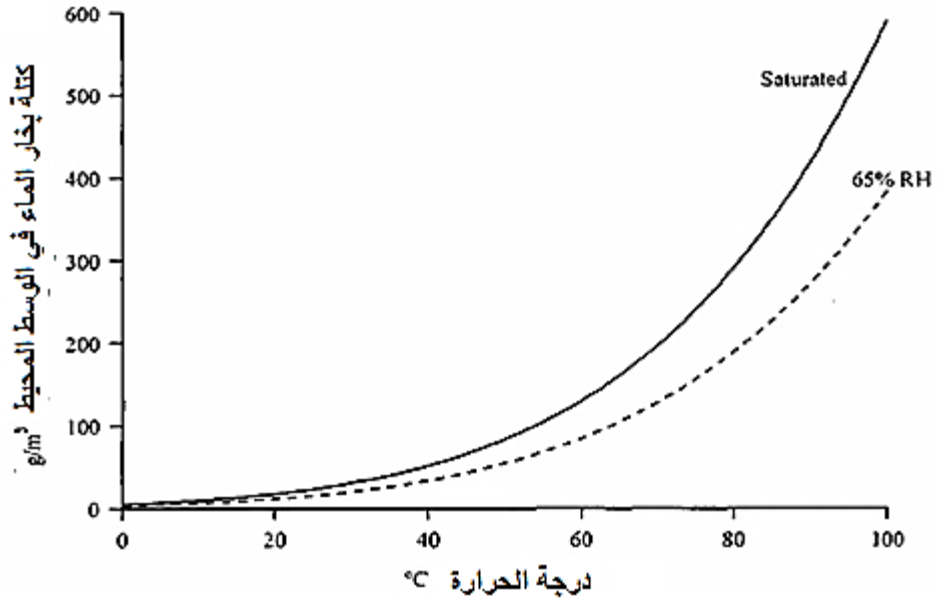
وتعطى الرطوبة النسبية بالعلاقة [1]:

$$\%\mathbf{RH} = \frac{\mathbf{m_{act} - m_{dry}}}{\mathbf{m_{act}}} \times \mathbf{100}\ [\%] \quad (\mathbf{1-1})$$

m_{act}: وزن بخار الماء في واحدة حجم الهواء. [g]

m_{dry}: وزن الهواء الجاف الموجود في هذا الحجم. [g]

يلاحظ تغيّر الرطوبة النسبية لهواء الوسط المحيط بتغيّر درجة الحرارة حتى عند ثبات كمية بخار الماء الذي يحتويه الهواء. ويبين الشكل (1-1) الزيادة في كتلة بخار الماء في واحدة الحجم من الوسط المحيط بزيادة درجة الحرارة من أجل رطوبة نسبية ثابتة.



الشكل (1-1) العلاقة بين درجة الحرارة وكتلة بخار الماء في الوسط المحيط [1]

1-3-2 مضمون الرطوبة: Regain or Moisture Content

يُعرف مضمون الرطوبة بأنه كمية الرطوبة في عينة ليف، وكمية الرطوبة هي النسبة المئوية لوزن الماء في المادة إلى الوزن الجاف لنفس المادة [2]:

$$\mathbf{Regain} = \frac{\mathbf{W}}{\mathbf{D}} \times \mathbf{100}\ [\%] \qquad (\mathbf{1-2})$$

W: وزن الماء الممتص. [g]

D: الوزن الجاف للمادة النسيجية. [g]

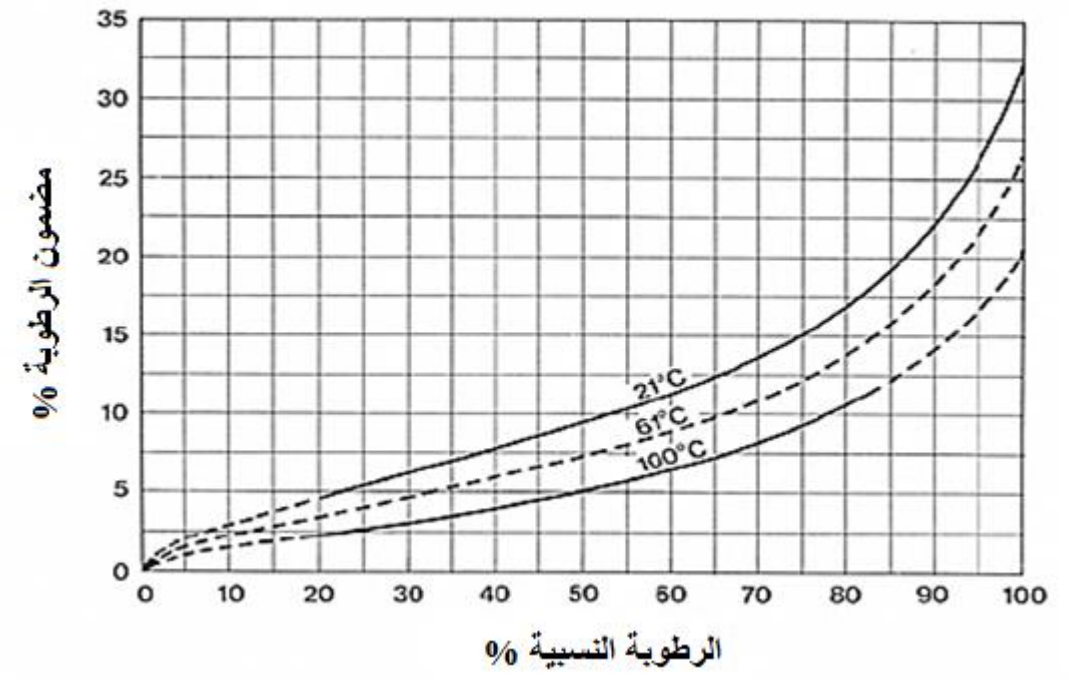
مضمون الرطوبة Regain: هي المصطلح المستخدم عادةً في الصناعات النسيجية.

1-4 علاقة مضمون الرطوبة والترطيب في الصناعات النسيجية:

Regain - Humidification Relations in The Textile Industries

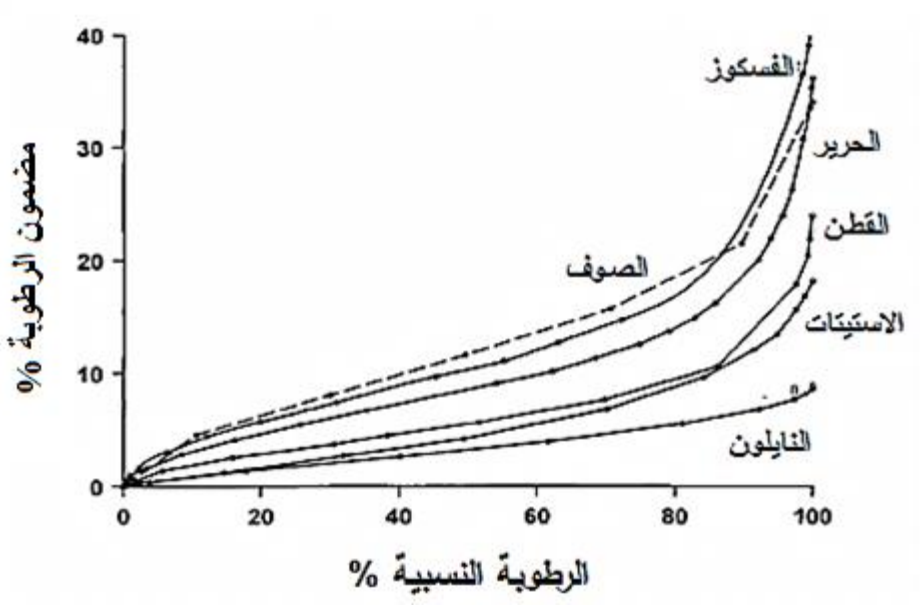
إذا كان لدينا عينتان متماثلتان من الألياف الأولى رطبة والأخرى جافة موضوعتان في وسط رطوبته النسبية 65%RH فإنه من المتوقع أن يصل مضمون الرطوبة لكلا العينتين إلى نفس القيمة، لكن تبين أنه سيصبح مضمون الرطوبة أعلى في الحالة الجافة من الحالة الرطبة، وهذا الاختلاف بين العينتين سببه بطء اكتساب الرطوبة وفقدها. ووجد أن العلاقة تأخذ شكلاً منحنياً وليس علاقة خطية [2].

يمثل المنحني البياني في الشكل (1-2) حالة التوازن لمضمون الرطوبة مع الرطوبة النسبية عند درجة حرارة ثابتة، وهو عبارة عن منحني جيبي. ويعتمد على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للألياف بالإضافة إلى الرطوبة النسبية في الوسط المحيط.



الشكل (1-2) الرطوبة النسبية ومضمون الرطوبة بالعلاقة مع درجة الحرارة للقطن [3]

توضح المنحنيات المبينة في الشكل (1-3) العلاقة بين الرطوبة النسبية ومضمون الرطوبة لمجموعة من أنواع مختلفة للألياف النسيجية.



الشكل (1–3) علاقة مضمون الرطوبة بالرطوبة النسبية لأنواع مختلفة من الألياف النسيجية [3]

نلاحظ ازدياد مضمون الرطوبة بزيادة درجة الحرارة عند رطوبة نسبية محددة وبالعكس فإن انخفاض مضمون الرطوبة يؤدي إلى خفض درجة الحرارة عند رطوبة نسبية محددة. ويفسر ذلك حسب مبدأ الترموديناميك الذي يوضح العلاقة بين "مضمون الرطوبة في الليف وضغط بخار الماء في الوسط المحيط" تنخفض الطاقة الحرارية لبخار الماء غير المشبع عند زيادة درجة الحرارة حتى الوصول إلى الطاقة الحرارية لبخار الماء المشبع [3].

1–5 العوامل المؤثرة على مضمون الرطوبة:Effect Factors on An Regain

يعتمد امتصاص الرطوبة للألياف النسيجية على قدرة الألياف لامتصاص الرطوبة كما هو مبين في الشكل (1–3) وهذا يتعلق بعدة عوامل وهي:

- **الرطوبة النسبية:**

كلما ازدادت الرطوبة النسبية للوسط المحيط كلما ازداد مضمون الرطوبة للألياف النسيجية.

- **درجة الحرارة:**

لا تلعب درجة الحرارة دوراً كبيراً للأغراض العلمية البحثية على مضمون الرطوبة في العينات المختبرة.

- **الفترة الزمنية:**

إذا كانت المادة في حالة توازن عند نسبة رطوبة معينة ثم نقلت إلى الهواء المحيط فإنه عادةً يختلف مضمون الرطوبة وتأخذ العينة فترة زمنية حتى تتوازن من جديد، والزمن الذي

يأخذه الليف لكي يتوازن يتعلق بنوع الليف والخصائص الطبيعية وسهولة فقد واكتساب الرطوبة [3].

يعتمد المعيار البريطاني ساعة واحدة فقط في حالة الخيوط المكونة من شعيرات دقيقة لقياس مضمون الرطوبة على افتراض أن الشعيرات قد وصلت إلى حالة التوازن، بينما الخيوط المزوية تحتاج إلى ثلاث ساعات لكي تصل إلى حالة التوازن، فالنسبة المعيارية وفق المعيار البريطاني لمضمون رطوبة الصوف النظيف 16% أما الصوف الممشط الحاوي على زيت 19%. وفي الولايات المتحدة يوجد قيمة وحيدة للصوف بكل أشكاله هي 13.6% ولخيوط القطن 7% والخيوط القطنية المصبوغة 8% والخيوط القطنية المقصورة 8.5% وعادةً يتم الاتفاق عليها تجارياً بين الأطراف المتعاقدة [3].

1-6 تأثير الرطوبة على الخصائص الفيزيائية للألياف:

Humidity Influence on Physical Properties of Fibers

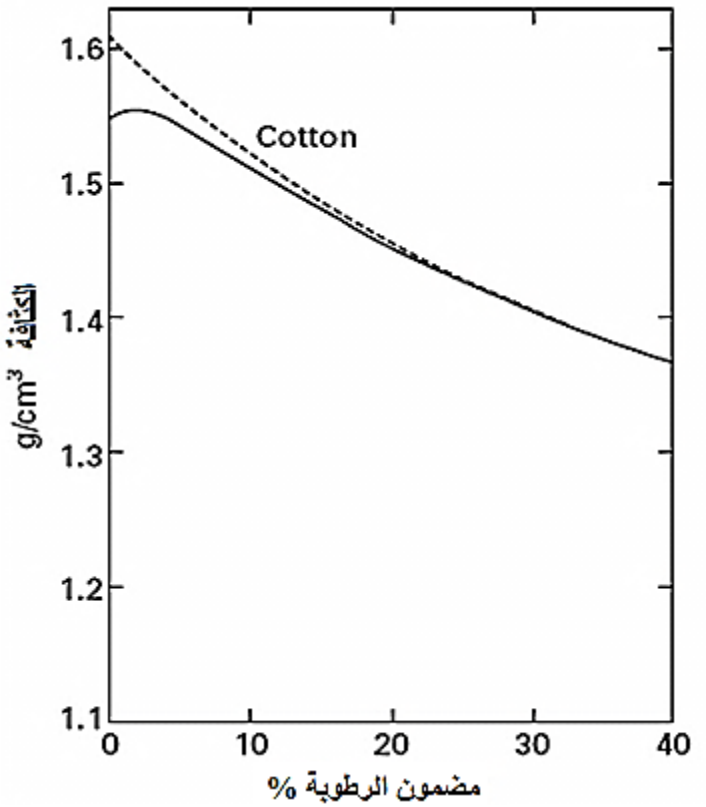
تتأثر الخصائص الفيزيائية بمضمون الرطوبة الألياف وتتغير الخصائص الفيزيائية وفقاً لثلاثة تغيرات أساسية وهي:

1-6-1 التغيرات الهندسية (الانتفاخ): Dimensional Changing (Swelling)

إن كتلة الألياف ببساطة هي عبارة عن كتلة الألياف الجافة مضافاً إليها كتلة الماء الموجودة في الألياف، ويسبب امتصاص الألياف للرطوبة انتفاخها نتيجة تغلغل الماء في الفراغات بين بوليميرات الليف المترابطة بأحكام، إذ أن بوليمرات الليف تحتوي على فراغات بين هذه البوليمرات المكونة لليف (على طوله وعرضه)، ويحدث الانتفاخ بشكل أساسي في مقطع العرضي باستثناء ألياف الرايون فيسكوز [8].

هناك زيادة في الكثافة في الحالة الجافة نتيجة تغلغل جزيئات الماء في الأماكن الفارغة ضمن الليف، والكثافة العظمى عند مضمون رطوبة 2% وبعد ذلك تنخفض كثافة الماء ضمن الليف، ويزداد الحجم مساوياً الحجم المكافئ للماء السائل فوق 20% مضمون الرطوبة كما هو مبين في الشكل (1-4). يحدث انتفاخ شعيرات القطن بالدرجة الأولى في المقطع العرضي بالتحول من الحالة الجافة إلى الحالة الرطبة، والزيادة في الطول 1.2% ومن الممكن الزيادة في القطر إلى 14%. وهذه القيم صعبة القياس بسبب المقطع العرضي المتقطع والمتغير في زاوية الالتفاف وزاوية البرم نتيجة انتفاخ الشعيرات. وانتفاخ الألياف عملية مستمرة مع زيادة مضمون الرطوبة،

وتتأثر الأقمشة المنتجة من الألياف الطبيعية بالانتفاخ، وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة قطر الخيوط اعتماداً على التباعد بين الخيوط. يؤدي ذلك إلى تغير أبعاد القماش المنسوج وليس بالضرورة يرجع القماش إلى حالته الأولية عند التجفيف، وهذا السلوك له أثار سلبية على أبعاد القطعة النسيجية واستقرارها في بعض الأقمشة [3].



الشكل (1–4) تغير أبعاد الشعيرات بالعلاقة مع مضمون الرطوبة [3]

يلخص الجدول (1–1) القياسات المختبرة التي أجريت بوساطة مخبريين مختلفين لذلك يوجد اختلاف بين النتائج ولأن المقطع العرضي ليس دائرياً تماماً لعدد من الألياف وبشكل خاص القطن. تعمل الرطوبة على التقليل من نسبة تشعر الخيوط عن طريق ضم الشعيرات والتفافها على بعضها باتجاه محور الخيط مما يحسن مظهرية الخيط. والنسبة المئوية لتغير مساحة المقطع العرضي أفضل من التغير في القطر والتغير في الحجم يرتبط أيضاً بالتغير الطولي [8].

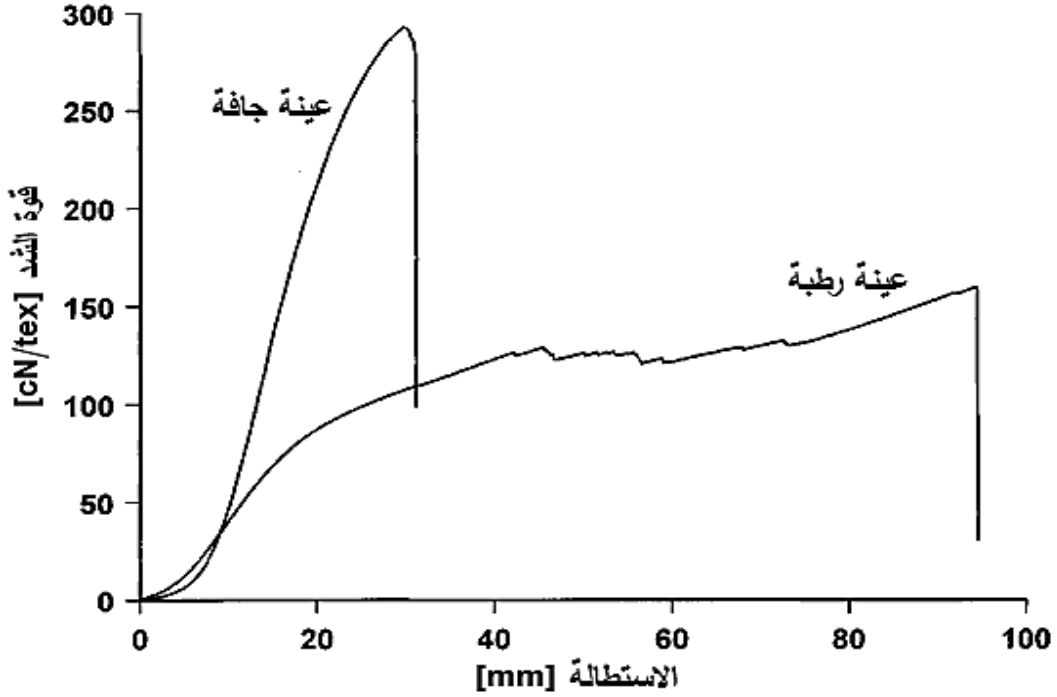
الجدول(1–1) زيادة الأبعاد الهندسية وانتفاخها للقطن من الألياف [8]:

نوع الألياف	الانتفاخ الحجمي %	الانتفاخ الطولي %	الانتفاخ العرضي	
			المساحة %	البعد %
Cotton	42 – 44	0.1 – 0.3	40 – 42	20 – 23

1-6-2 التغيرات الميكانيكية: Mechanical Changing

1-6-2-1 علاقات قوة الشد – الإجهاد: Tensile Stress-Strain Relations

يتناقص الطول في بعض الألياف مثل الصوف والفيسكوز عند امتصاص الماء ويزداد الطول في بعض الألياف مثل القطن والجوت والقنب والكتان عند امتصاص الماء، وبناءً عليه الزيادة في الطول لعينة من الصوف المختبرة في الحالتين الجافة والرطبة المبينة في الشكل (1-5) توضح الفقد في قوة الشد والزيادة في الاستطالة وهذه التغيرات في قوة الشد والتمدد متماثلة مع ألياف أخرى [1].



الشكل (1-5) العلاقة بين قوة الشد والاستطالة لكلا الحالتين الرطبة والجافة لعينة الصوف [1]

توجد علاقة تجريبية لتحديد قوة شد الخيط القطني بالعلاقة مع مضمون الرطوبة الفعلية المكتسبة:

$$\mathbf{P_A = \frac{P_s(15 + w_A)}{22.6}} \quad [\mathbf{cN/tex}] \qquad (\mathbf{1-3})$$

P_A – قوة شد الخيط الفعلية عند مضمون رطوبة w_A. [cN/tex]

P_s – قوة شد خيط القطن بالشروط النظامية (22°C و 65%RH) [cN/tex].

أُجريت التجارب في **مركز الاختبارات والأبحاث الصناعية** في مدينة دمشق على ثلاثة أنواع من الخيوط القطنية السورية (غزول معمل إدلب) من شعيرات قطنية من صنف حلب 33 متوسط التيلة. وتتراوح أطوال شعيرات صنف حلب 33 بين (27- 40) مم.

تمت التجارب والاختبارات على جهاز USTER TENSORAPID 3 V7.0 SA لقياس قوة الشد والاستطالة المبين في الشكل (1–6). وتم معايرة الجهاز وفق المعطيات التالية: (سرعة جهاز الشد: $\nu = 500 \left[\frac{mm}{min}\right]$ وقوة الشد الجهاز $F_v = 100$ [gf] والمسافة بين الفكيين $L = 500$ [mm]).



الشكل (1–6) جهاز قياس قوة الشد والاستطالة USTER TENSORAPID 3 V7.0 SA

العينة الأولى: خيط نمرته N_m 18.2 وعدد برماته 370 برمة/المتر.

العينة الثانية: خيط نمرته N_m 28.7 وعدد برماته 650 برمة/المتر.

العينة الثالثة: خيط نمرته N_m 42.8 وعدد برماته 940 برمة/المتر.

جرت الاختبارات على العينات الثلاث بعد وضعها في الجهاز وفق الشروط التصميمية الداخلية لهواء صالة النسيج وفق التجارب التالية:

التجربة الأولى: تم وضع العينات في وسط محيط درجة حرارته $t = 22°C$ ورطوبته النسبية 65% RH وتم قياس قوة الشد والاستطالة للعينات الثلاثة المختبرة.

التجربة الثانية: تم وضع العينات في وسط محيط درجة حرارته $t = 22°C$ ورطوبته النسبية 70% RH وتم قياس قوة الشد والاستطالة للعينات الثلاثة المختبرة.

التجربة الثالثة: تم وضع العينات في وسط محيط درجة حرارته t = 22°C ورطوبته النسبية 75% RH وتم قياس قوة الشد والاستطالة للعينات الثلاثة المختبرة.

التجربة الرابعة: تم وضع العينات في وسط محيط درجة حرارته t = 22°C ورطوبته النسبية 80% RH وتم قياس قوة الشد والاستطالة للعينات الثلاثة المختبرة.

تبين الشكل (1-7) والشكل (1-9) والشكل (1-11) العلاقة بين قوة الشد والرطوبة النسبية، وكذلك الشكل (1-8) والشكل (1-10) والشكل (1-12) العلاقة بين الاستطالة والرطوبة النسبية للعينات القطنية المختبرة الثلاث.

تبين أحدى النتائج التجارب المنجزة على جهاز USTER TENSORAPID 3 V7.0 SA في مركز الاختبارات والأبحاث الصناعية في مدينة دمشق.

USTER TENSORAPID 3 V7 WE 8-04-13 10:19 Operator: mohmmad Page 1
Industrial Testing & Research Center Auftrag 13301084 1000N
Article number: J Test number: Mean count: 18.2 Nm
Tests: 1/10 v=500 mm/min FV= 100.0 gf LH= 500 mm p_{c1}=380 N/cm² (30%)

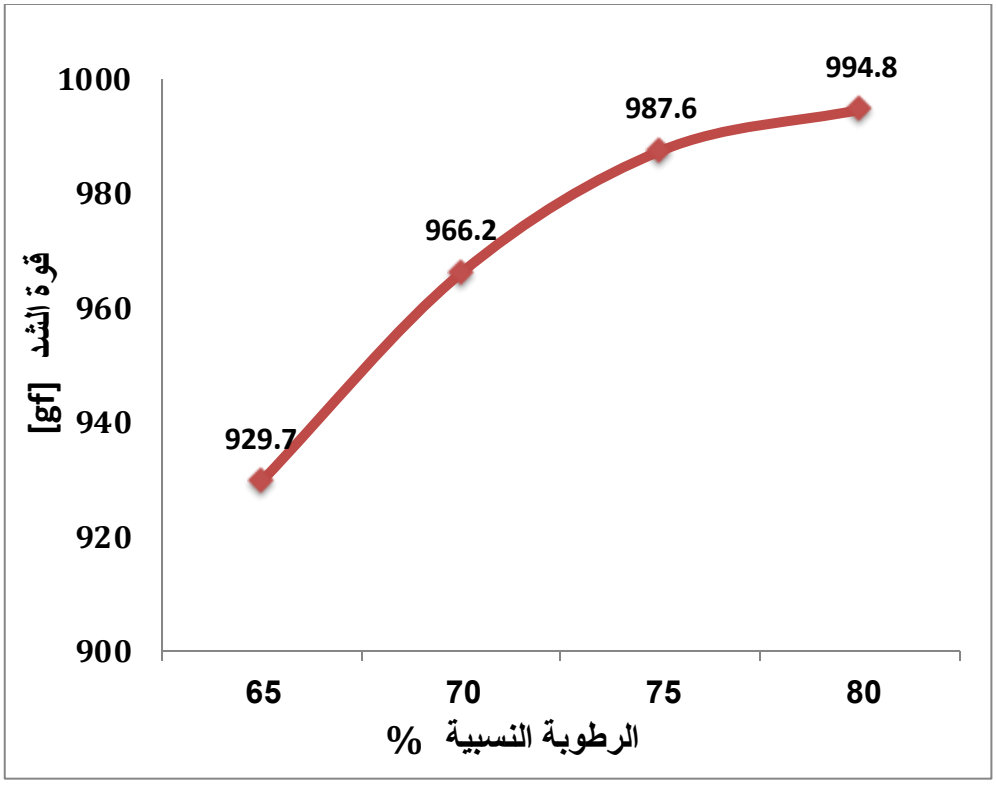
SINGLE VALUES

Test No.	Time to Br (s)	B-Force (gf)	Elongation (%)	Tenacity (cN/tex)	B-Work (gf.cm)
1/10	3.9	898.4	6.42	15.86	1531.7
2/10	4.2	932.4	6.97	16.46	1696.1
3/10	4.5	946.4	7.36	16.71	1812.9
4/10	4.3	963.7	7.07	17.01	1791.3
5/10	3.8	849.5	6.32	15.00	1427.1
6/10	4.0	882.2	6.49	15.57	1476.9
7/10	4.2	899.3	6.82	15.88	1611.9
8/10	4.1	887.8	6.73	15.67	1590.6
9/10	4.3	924.0	6.98	16.31	1681.5
10/10	4.6	992.2	7.62	17.52	1908.5

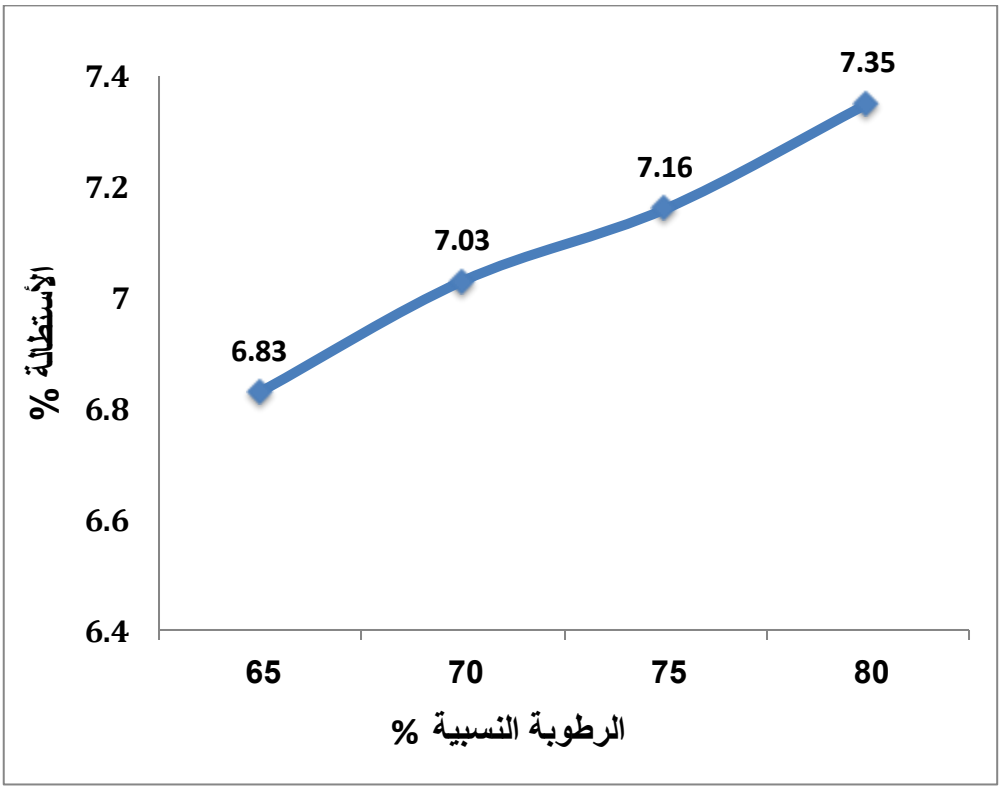
USTER TENSORAPID 3 V7 WE 8-04-13 10:19 Operator: mohmmad Page 2
Industrial Testing & Research Center Auftrag 13301084 1000N
Article number: J Test number: Mean count: 18.2 Nm
Tests: 1/10 v=500 mm/min FV= 100.0 gf LH= 500 mm p_{c1}=380 N/cm² (30%)

OVERALL REPORT

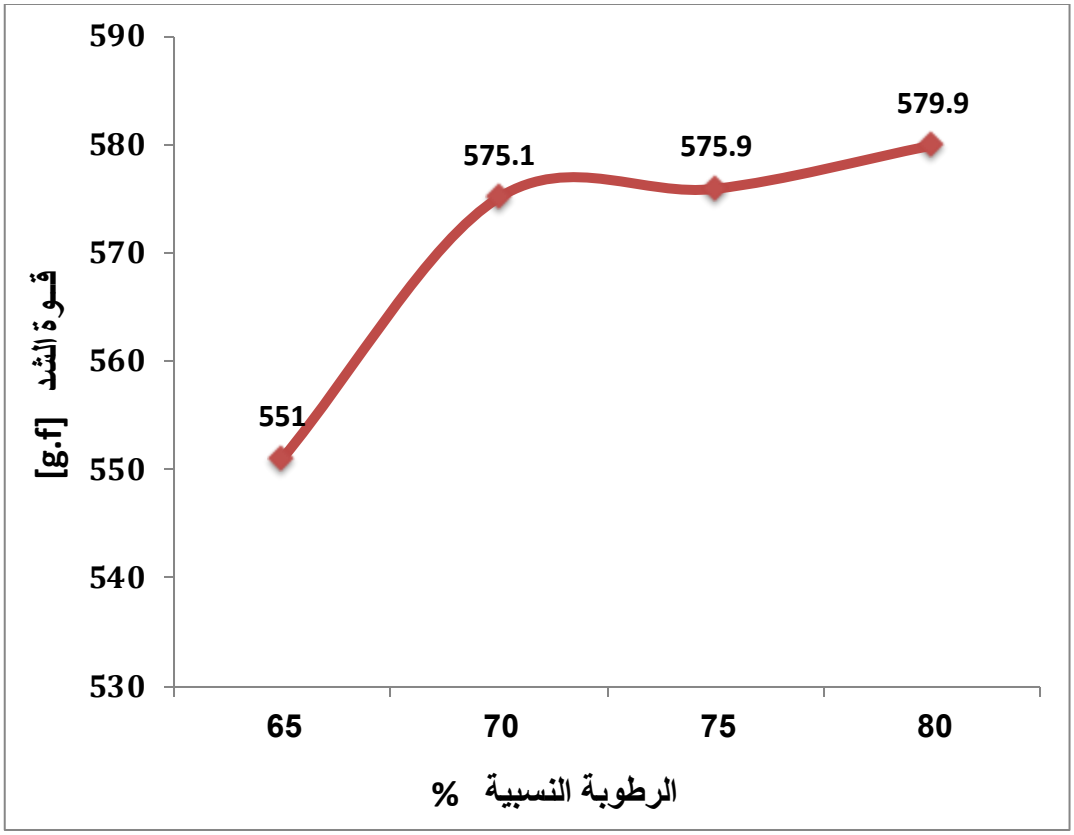
	Time to Br (s)	B-Force (gf)	Elongation (%)	Tenacity (cN/tex)	B-Work (gf.cm)
Test 1:	10 Single test(s)				
Mean value	4.19	917.59	6.87	16.19	1652.85
CV%		4.25	4.13	7.50	15.45



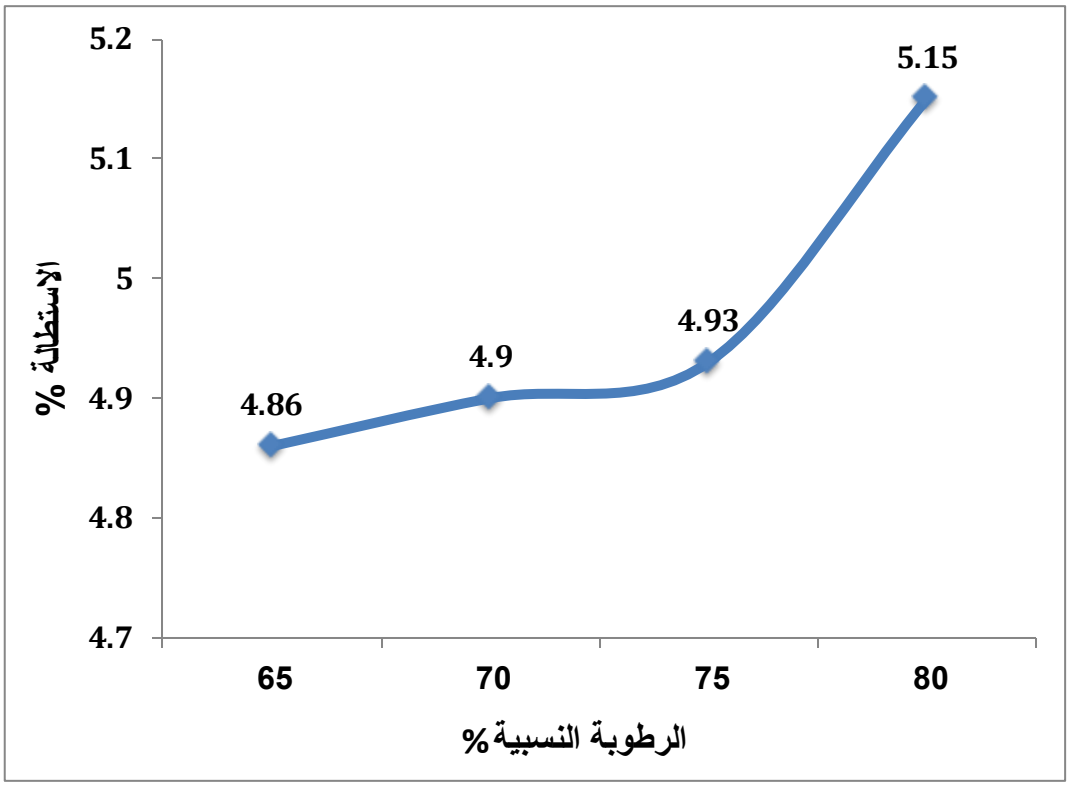
الشكل (1–7) العلاقة بين الرطوبة النسبية وقوة الشد لعينة الخيط القطني نمرته المترية $18.2N_m$



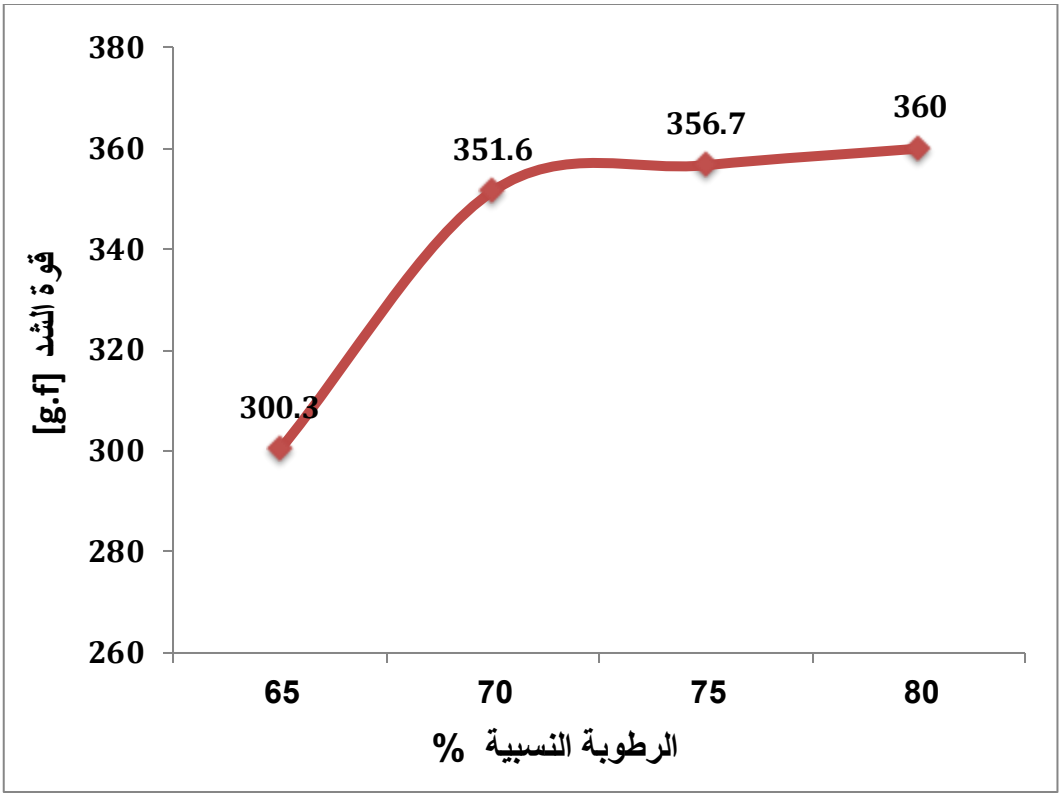
الشكل (1–8) العلاقة بين الرطوبة النسبية والاستطالة لعينة الخيط القطني نمرته المترية $18.2N_m$



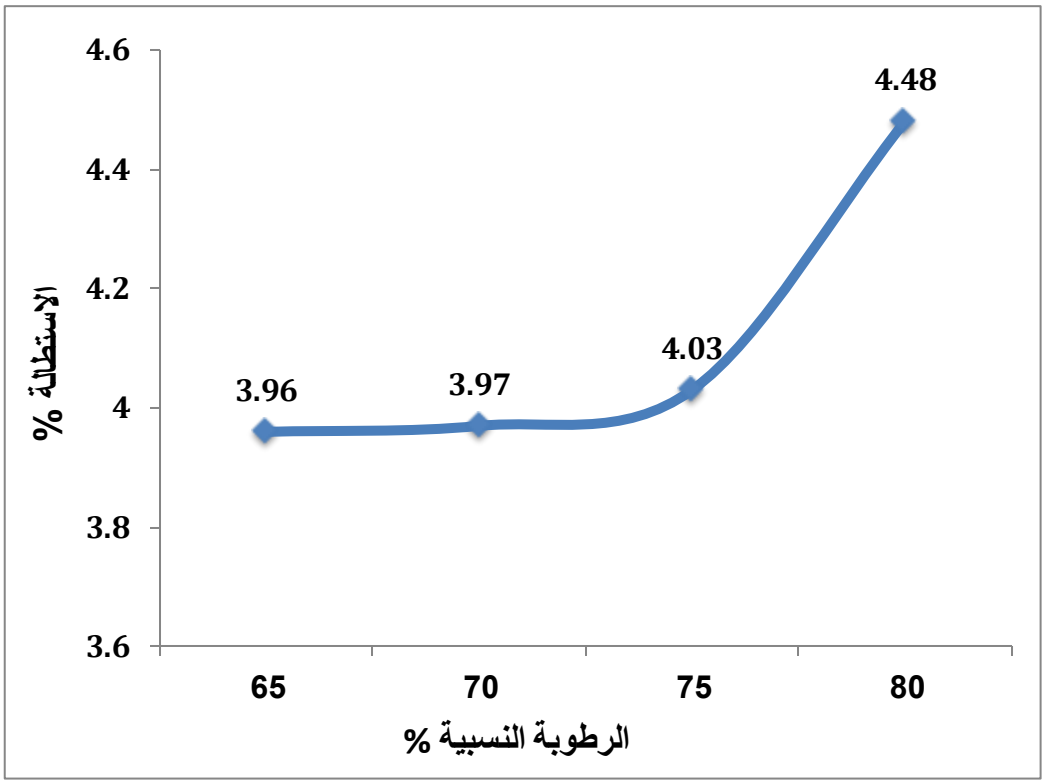
الشكل (1–9) العلاقة بين الرطوبة النسبية وقوة الشد لعينة الخيط القطني نمرته المترية $28.7\ N_m$



الشكل (1–10) العلاقة بين الرطوبة النسبية والاستطالة لعينة الخيط القطني نمرته المترية $28.7\ N_m$



الشكل (1-11) العلاقة بين الرطوبة النسبية وقوة الشد لعينة الخيط القطني نمرته المترية $42.8\ N_m$



الشكل (1-12) العلاقة بين الرطوبة النسبية والاستطالة لعينة الخيط القطني نمرته المترية $42.8\ N_m$

1-6-2-2 الصلابة: Hardness

تعرّف الصلابة على أنها مقاومة الشعيرات للانحناء أو الالتواء، وتتأثر الصلابة تأثيراً واضحاً بالرطوبة، حيث أنه تقل 10% من قيمة الصلابة عند درجة الإشباع. ويحدث هذا التغيّر في وقت قصير، حيث تتخذ الجزيئات أوضاعاً تسهل انحناء الشعيرة بسبب قوى اللي الواقعة بشكل عامودي على محور الشعيرات [1].

1-6-2-3 استعادة المرونة: Elastic Recovery

أُختبرت ألياف القطن عند شروط اختبار ثابتة ومحددة، فوجد أنه ليست هناك قيمة وحيدة للعلاقة بين الإجهاد– الشد، ففي الاختبارات يكون الإجهاد أعلى ومنحني المرونة أقل من منحني الاستطالة واستطالة القطع عند الصفر وتزداد قوة الشد بزيادة الإجهاد [12].

تؤثر قوة شد الليف على بعض الخصائص مثل قوة التمزق للأقمشة لكن بعض الخصائص مثل مقاومة الثني أو مقاومة الاحتكاك لا تتأثر بقوة شد الألياف ويكون أقل تأثيراً في الحالة الرطبة، ويرجع تأثير الرطوبة إلى مرونة واستطالة الألياف وحيدة التيلة وإلى خاصية الانتفاخ الذي يحدثه الماء أثناء تغلغله في الشعيرة مما يعمل على تقليل الترابط بين الجزيئات ويجعلها أكثر حرية للحركة وتزيد بذلك نسبة الاستطالة في الشعيرات [1].

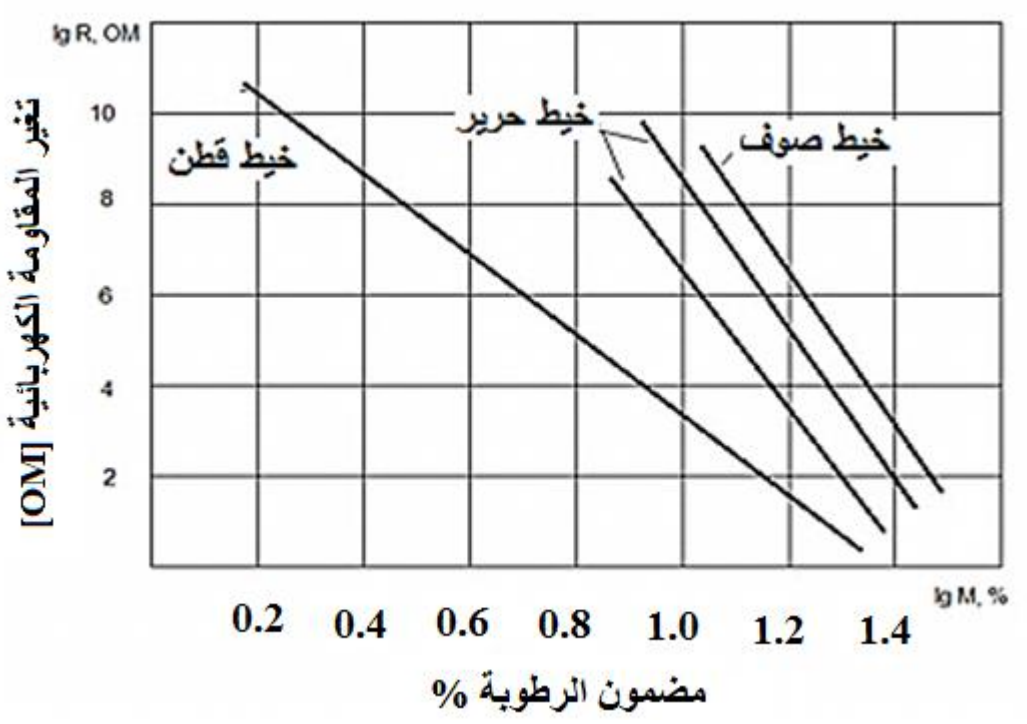
1-6-3 التغيرات الكهربائية: Electrical Changes

يتعلق نشوء الشحنات الكهربائية على سطح الألياف بالتركيب الكيميائي للمادة وخواصها الفيزيائية، ويحدث انفصال الشحنات تحت تأثير القوى الميكانيكية بين الألياف (كالاحتكاك) مما تؤدي إلى تشكل الكهرباء الساكنة وبالتالي إلى تنافر الألياف المثيلة فيما بينها[5].

الناقلية الكهربائية للألياف الصنعية غير كافية لتبديد الشحنات المشكلة على السطح عند الشروط النظامية للوسط المحيط، أما الأنواع الأخرى من الألياف الطبيعية فلديها ناقلية كهربائية كافية تساعد في تبديد الشحنات حتى في حالة القيم المنخفضة للرطوبة المكتسبة في الألياف كما هو مبين في الشكل (1-13). أي أن تبديد الشحنات من الألياف يكون ضعيفاً عندما تكون الناقلية الكهربائية قليلة، وبالتالي إزالة الكهرباء الساكنة من الألياف بطريقة رفع الرطوبة النسبية للهواء هو إجراء ثانوي غير كافي. والتبديد الفعّال للشحنات يحدث بالدرجة الأولى بتغيير قيمة شدة الحقل الكهربائي في الهواء[5].

تزداد المقاومة الكهربائية بتنقية القطن من الدهون والأوساخ بمقدار خمس مرات، وتنخفض المقاومة الكهربائية بإضافة الأملاح فمثلاً (عند إضافة ملح كلوريد البوتاسيوم بنسبة 10% تنخفض المقاومة 180 مرة). وتتعلق الكهرباء الساكنة للألياف بالخاصية الكهربائية لليف، فالتوصيل الكهربائي للقطن مرتفع بما فيه الكفاية عند الترطيب المنخفض. والكهرباء الساكنة ليست مُشكلة من الرطوبة فالتوصيل الكهربائي يتعلق بحركة الأيونات المشحونة في الألياف وتزداد درجة العزل بزيادة ثابت العزل وهكذا يزداد عدد الأيونات المتوفرة لنقل الشحنات الكهربائية[5].

يبين الجدول (1–2) المقاومة الكهربائية ومضمون الرطوبة لبعض الألياف النسيجية في الشروط المناخية النظامية للهواء [5].



الشكل (1–13) علاقة مضمون الرطوبة w% بتغير المقاومة النوعية R_s للقطن [3]

الجدول (1–2) المقاومة الكهربائية ومضمون الرطوبة لبعض الألياف النسيجية في الشروط المناخية النظامية للهواء [5]:

نوع الألياف	المقاومة الكهربائية $\left[\Omega.\frac{g}{cm^2}\right]$	مضمون الرطوبة RH% (65% and 20° C)
Viscous	10^7	12
Cotton	10^7	8
Acrylic	10^{12}	1
Polyester	10^{14}	0.4

1-7 تأثير الرطوبة ودرجة الحرارة على إمكانية النسيج:

Humidity Influence and Temperature on Weavability

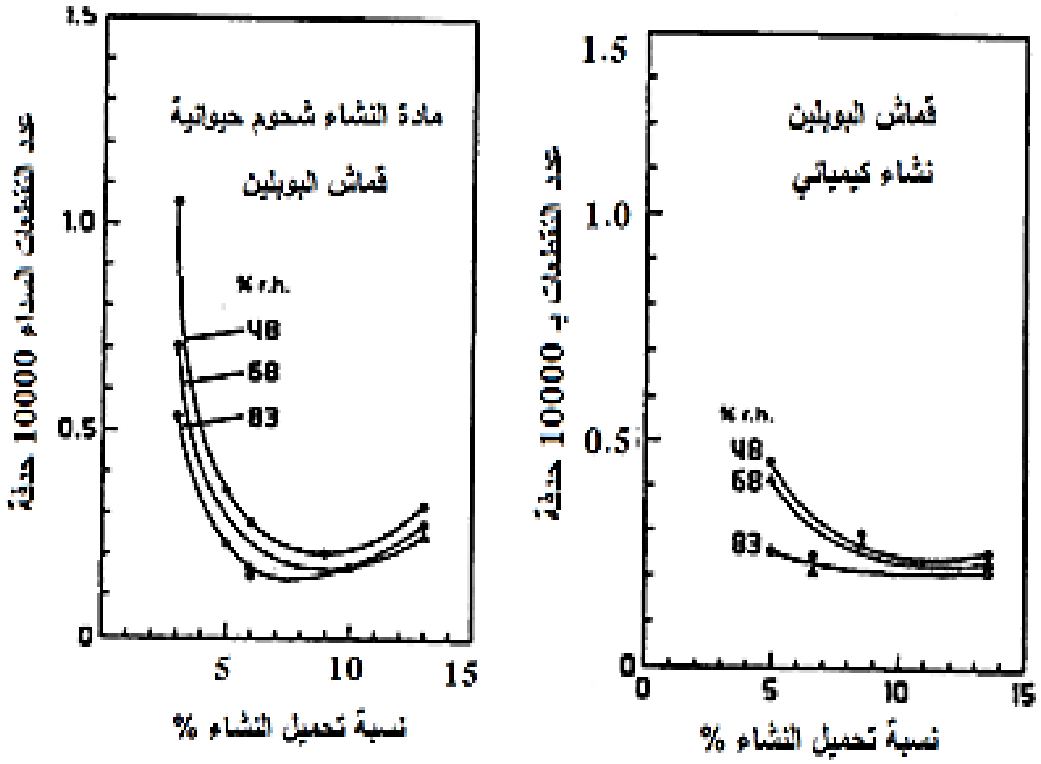
بُحثت كثير من الدراسات في مراكز البحوث النسيجية تأثير تكييف هواء صالات النسيج على نسبة تقطعات خيوط السداء للخيوط القطنية وغيرها، وأُجريت الحالة المثالية في معهد شارلي Shirly Institute على مجال واسع من تراكيب الأنسجة ووجدوا أن نسبة تقطعات خيوط السداء تتناقص بزيادة الرطوبة النسبية حتى الوصول إلى 70 %RH وأكبر من هذه القيمة تنخفض التقطعات ولكن ليست مهمة من الناحية الاقتصادية [6].

تتعلق هذه النتائج بشكل أساسي بالخصائص الفيزيائية لخيوط السداء ونمرتها حيث أن خيوط السداء القطنية ذات النمر الرفيعة تنسج بكفاءة أفضل بالرطوبة النسبية أخفض من 70 %RH وخصوصاً إذا كانت الألياف من الخيوط القوية مثل Polyester أو Nylon [6].

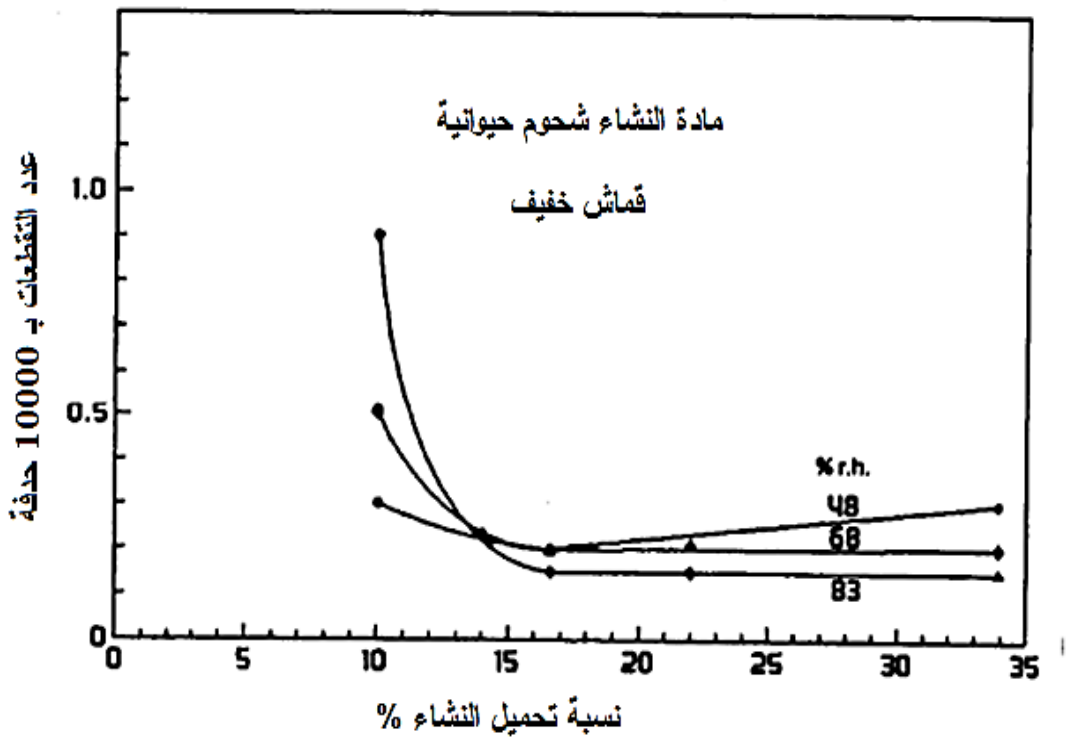
منحني المميز المألوف بالنسبة المئوية للتنشية ومنحني إمكانية النسيج محفوظة عند مستويات رطوبة، لكن الرطوبة الأخفض من 80% RH. فالمنحنيات تنتقل مع محور نسبة التقطعات ببطء في البداية لكن تزداد بشكل أكبر تحت رطوبة نسبية 70 %RH [6].

يبين الشكل (1-14) والشكل (1-15) منحنيات إمكانية النسيج لثلاث مستويات مختلفة للرطوبة النسبية لثلاثة أنواع مختلفة من الأقمشة مع مادة تنشية نباتية وإضافة مواد مطرية مختلفة شحوم نباتية tallow ومواد كيميائية لزجة spermaceti في كل حالة. باستثناء قماش الشاش cambric مادة التنشية والمادة المطرية كيميائية. فهناك اختلاف قليل بين إمكانية النسيج عند رطوبة نسبية 68% RH و80% RH أظهرت عدد التقطعات أخفض في هذه الحالة [6].

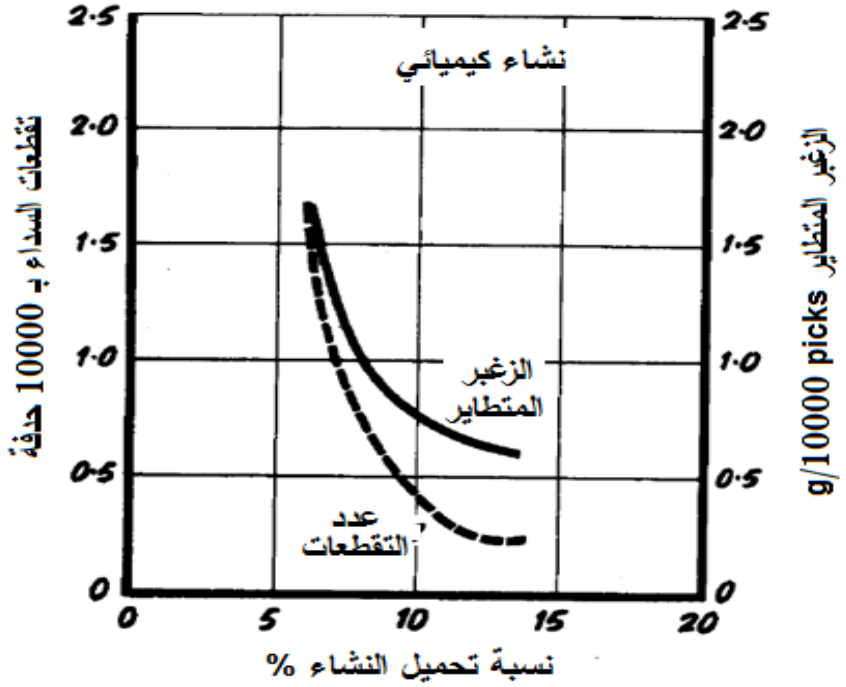
عموماً يبين الشكل (1-16) تطاير الزغبر على نفس منحني إمكانية النسيج لتطبيقات التنشية ذات أصل نباتي ومواد صمغية مثل سيللوز ميثيل كربوكسي الصوديوم Sodium- SCMC Carboxy-methyl-Cellulose. ولا يعتمد الزغبر والشوائب التي تفقد من الخيوط بشكل أساسي على الرطوبة فقط بل تعتمد أيضاً على مرونة الخيوط وقوة الاحتكاك على آلة النسيج [6].



الشكل (1–14) منحنيات إمكانية النسيج لثلاث مستويات مختلفة للرطوبة النسبية لإنتاج قماش البوبلين [6]



الشكل (1–15) منحنيات إمكانية النسيج لثلاث مستويات مختلفة للرطوبة النسبية لإنتاج الأقمشة الخفيفة [6]



الشكل (1-16) تطاير الزغبر على نفس منحني إمكانية النسيج [6]

1-8 تأثير الرطوبة على تلوث الهواء في الصناعات النسيجية:

Humidity Influence on Air Pollution in The Textile Industries

إن تعبير مصنع الغزل والنسيج هذا يعني وجود زغبر القطن محمل بالهواء المحيط، ويتفاوت مدى تلوث الهواء بالزغبر من قسم إلى قسم والأسوأ في معمل الغزل في قسم الفتح والتنظيف والتسريح والحد الأدنى في قسم تدوير الكون.

إن غبار القطن الموجود بالهواء المحيط في الصالات النسيجية عبارة عن مزيج عديد من (الألياف المتطايرة– البكتيريا– الفطريات– الأتربة والبقايا النباتية– المبيدات الحشرية– مواد غير قطنية وملوثات أخرى ربما جمعت مع القطن أثناء النمو وحصاد وعملية المعالجة أو أثناء التخزين). ويستنشق العمال الموجودين في هذا الوسط جزيئات ليفية وغبار طوال اليوم في أقسام المعالجة ونسج الأقمشة القطنية أو الحياكة القطنية.

عموماً وجود نظام معالجة الهواء في كل الأقسام للمحافظة على الرطوبة وإزالة الملوثات الهواء، لذلك أنظمة التهوية والترطيب ضرورية جداً في صالات الغزل والنسيج، حيث إن معظم معامل الغزل والنسيج مجهزة بأجهزة فلترة آلية لإزالة الملوثات وتصفية الغبار والزغبر المحمول بالهواء المتشكل نتيجة العمليات الإنتاجية من خلال تبديل الهواء وإدخال هواء جديد نظيف وصحي لمنع أي خطر على صحة العمال [7].

حددت منظمة السلامة والصحة الأمريكية (OSHA) تركيز الغبار في هواء الصالات النسيجية للتقليل من المخاطر للأمراض الصناعية (أمراض الرئة) بين العمال كالتالي [7]:

- عمليات الفتح والتنظيف وصناعة الأقمشة غير المنسوجة: $0.5\left[\frac{mg}{m^3}\right]$
- عمليات الغزل الحلقي والتدوير والبرم والتسدية: $0.2\left[\frac{mg}{m^3}\right]$
- عمليات التنشية والنسيج: $0.75\left[\frac{mg}{m^3}\right]$

ازداد تلوث الهواء بشكل كبير مع التطور الصناعي، حيث أن الهواء المحيط يحتوي على مقدار من الضباب والأبخرة مما أضطر لتكييف الهواء وإزالة ملوثات الهواء وتجهيز هواء التغذية النقي لدفعه إلى الصالات، والالتزام بإبقاء الهواء الداخلي وفق الشروط المحددة الذي يؤدي إلى الفائدة الاقتصادية للصالات النسيجية من خلال توفير بيئة صحية مناسبة للعمال وجودة الإنتاج وكفاءة العملية وتخفيض نسبة التقطعات في مصانع الغزل والنسيج مما ينعكس إيجابياً على تحسين جودة الخيط.

1-9 تأثير الرطوبة على صحة العاملين في الصناعات النسيجية:

Humidity Influence on Worker's Health in Textile Industries

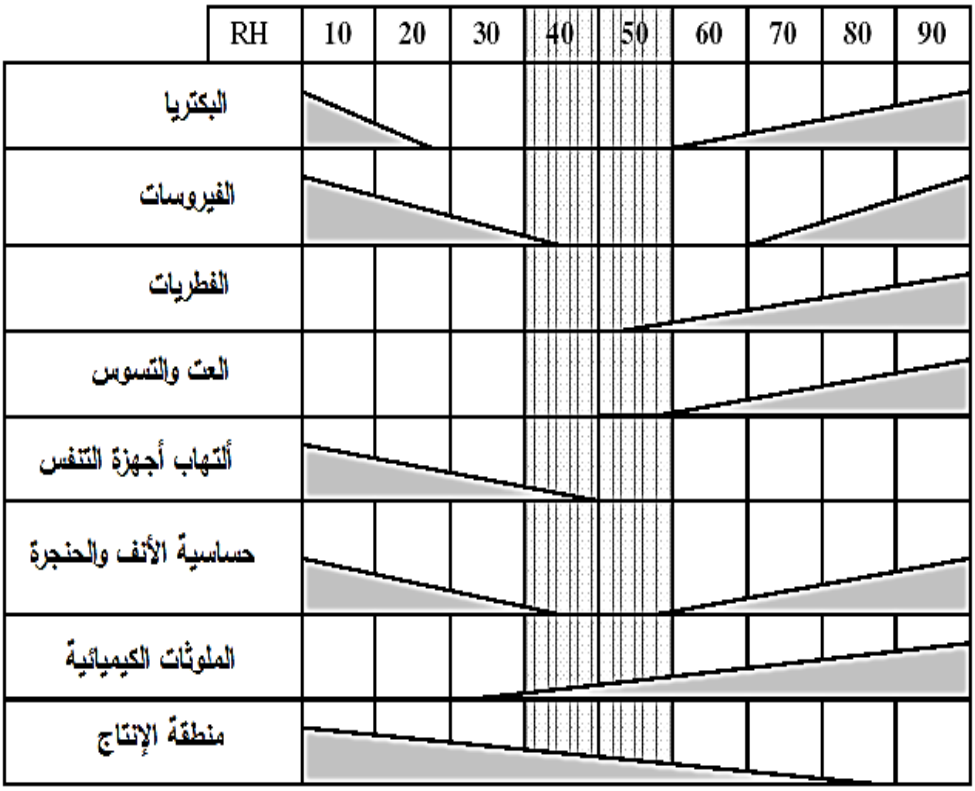
تعالج مشكلة تلوث الهواء في الصناعات النسيجية وخصوصاً عند صدور الروائح والدخان في مرحلة التجهيز النهائي حيث تتبخر المركبات العضوية (الهيدروكربونات) عادة أقل من 200 جزئي كربون وأكبر من 15 جزئي كربون أي من $(C_{14} - C_1)$ وهذه الجزيئات العضوية ترتبط مع جزيئات الدخان وتحمل إلى مسافات بعيدة عن مصدر انبعاثها [7].

مشكلة انتشار الروائح بأنها ليست قابلة للقياس عملياً، ونشأ هذا الإحساس بالتفاعل بين جزيئات الهيدروكربون وعشرات الملايين من الألياف عصبية في الأغشية الشمية للإنسان. ويمكن أن يكون تغذية الهواء الداخلي النقي بدرجة حرارته ومستوى الرطوبة منخفضاً غير صحي وغير مريح كالرطوبة الزائدة، وتسبب فقد الرطوبة في الهواء المحيط جفاف بشرة العاملين وجفاف الأغشية المخاطية لأجهزة التنفس مثل الأنف والحنجرة [7].

قد أُجريت عدد من الدراسات في ASHREE واختصاصي جودة الهواء الداخلي IAQ أيضاً واقترحوا مدى الرطوبة النسبية الصحية للإنسان 40-60% كما هو مبين في الشكل (1-17).

تساهم مستويات الرطوبة المنخفضة في الإصابات التنفسية أيضاً وأعراض الحساسية وإصابة بالربو. وزيادة الغبار المسبب الحساسية بالهواء. وإذا كانت الرطوبة أقل أيضاً فأن الإصابة

بـالربو والحساسـية سـتزيد بالإضـافة إلـى انتشـار البكتيريـا والفيروسـات. وإذا زادت الرطوبـة فـأن الفطريات ستنتشر مما يزيد في الحساسية والربو [7].



الشكل (1-17) نمو الكائنات الحية الدقيقة بالعلاقة مع الرطوبة النسبية [7]

يشـير القسـم المظلـل فـي الشـكل (1-17) إلـى المشـاكل الصـحية، فعلـى سـبيل المثـال مشـكلة البكتيريا ستكون الرطوبـة النسـبية أقل من 26% وأكثر من 60% ومشاكل الفيروسات ستكون الرطوبة النسبية أقل من 43% وأكثر من 70%.

1-10 تأثير الرطوبة على التجهيزات الإلكترونية في الصناعات النسيجية:

Humidity Influence on Electronics Equipment's in The Textile Industries

قد لُوحظ تغير رئيسي في التكنولوجيا المستخدمة في الصناعات النسيجية في العقدين الأخيرين، فاستبدلت العمليات اليدوية بآليات أوتوماتيكية يتحكم بها بوساطة برامج أنظمة الإلكترونية، وهي ليست فقط في مخابر الاختبارات بل لمراقبة السرعات، الضبط والمعايرة، درجة الحرارة، الرطوبة وعوامل أخرى مختلفة كلها يتحكم بها من أجهزة تحكم إلكترونية مركزية لكل الدارات الإلكترونية تدعى اليوم بالدارات التكاملية IC (Integrated Circuit) وهي عبارة عن رقائق صغيرة جداً من مواد نصف ناقلة [7].

يمكن أن تتعرض الأجهزة الإلكترونية والرقائق بشكل خاص للحالة العابرة (السيالة العابرة) مما يؤدي إلى تلف المواد أنصاف النواقل، وبالتالي إلى توقف العمل وفقدان الذاكرة أو التوقف المستمر. والسبب الرئيسي للسيالة العابرة الكهربائية عدم استقرار الكهرباء.

وبالرغم من أن المدة قصيرة جداً يمكن أن تؤدي إلى تلف الرقائق في أنصاف النواقل وبالإضافة إلى المخاطر للأجهزة الإلكترونية شحنات من الكهرباء الساكنة مما لها من أخطار كبيرة جداً وخصوصاً بحضور الزغبر والغازات سريعة الاشتعال ولكن لا يمكن الاستغناء عن الترطيب والرطوبة التي تتحكم بالكهرباء الساكنة ويجب أن تكون الرطوبة النسبية مأخوذة لضمان عمل الأجهزة الإلكترونية الذي يفضل أن تكون بين 40–70% [7].

الفصل الثاني

الشروط التصميمية لتكييف الهواء في المصانع النسيجية السورية

An Design Conditions for Air Conditioning in The Syrian Textile Factories

الفصل الثاني

الشروط التصميمية لتكييف الهواء في المصانع النسيجية السورية

An Design Conditions for Air Conditioning in The Syrian Textile Factories

لبيان قابلية أنظمة التكييف المختلفة لتحقيق الشروط التصميمية الداخلية المطلوبة ضمن الأمكنة المطلوب تكييفها سيتم العمل وفق أسلوبين مختلفين:

الأسلوب الأول: حساب الشروط المناخية التصميمية الخارجية وبيان قابلية النظام للعمل وفق هذه الشروط لتحقيق المطلوب.

الأسلوب الثاني: دراسة النظام دراسة إحصائية وبيان النسبة المئوية من ساعات العمل السنوية التي يكون فيها نظام التكييف محققاً.

يعطي الأسلوب الأول إجابة سريعة عن عمل النظام وقابليته لتحقيق الشروط الداخلية المطلوبة، ولكن لا يعتبر هذا الأسلوب كافياً لاختبار أداء النظام وتقييمه وفقاً لمجال واسع من الشروط المناخية الخارجية ولابد من أجل ذلك اتباع الأسلوب الثاني ودراسة النظام دراسة إحصائية موسعة.

2-1 الشروط التصميمية الخارجية: Outdoor Design Conditions

استخدم ASHRAE Handbook-Fundamentals 1997 طريقة البيانات المناخية السنوية وبتواتر 0.4%، 1% و 2% من عدد ساعات فصل الصيف [9]. وميزة طريقة البيانات المناخية السنوية بأنها تعطي انسجام ودقة أكبر بسبب توحيد بيانات المناخ خلال نفس السنة المدروسة.

2-1-1 حساب الشروط المناخية التصميمية الخارجية:

Calculation of Outdoor Climatic Design Conditions

جرى الاعتماد على ASHRAE Handbook-Fundamentals 2009 [11] وعلى بعض التوضيحات في ASHRAE Handbook-Fundamentals 1997 من أجل حساب الشروط التصميمية الخارجية للمدن السورية المدروسة باستخدام البيانات المناخية السنوية حيث تم حساب الشروط التصميمية وفقاً لتواتر 0.4% ، 1% و 2%.

قسمت الشروط التصميمية التي تم حسابها إلى ثلاث مجموعات:

1. **المجموعة الأولى:** درجات الحرارة الجافة التصميمية ودرجات الحرارة الرطبة الوسطية المترافقة معها.
2. **المجموعة الثانية:** درجات الحرارة الرطبة التصميمية ودرجات الحرارة الجافة الوسطية المترافقة معها.
3. **المجموعة الثالثة:** درجات حرارة نقطة الندى التصميمية ودرجات الحرارة الجافة الوسطية المترافقة معها.

يتم ترتيب درجات الحرارة الجافة وفق ترتيب تنازلي لكل سنة من السنوات التي تتم دراستها وذلك من أجل حساب درجة الحرارة الجافة التصميمية، ثم يتم حذف أكبر 35 درجة بالنسبة لـ 0.4%، 88 ساعة بالنسبة لـ 1% و175 ساعة بالنسبة لـ 2% ثم أخذ أعلى درجة حرارة جافة بالنسبة للبيانات المتبقية وبأخذ الوسطي الحسابي بالنسبة لسنوات الدراسة يتم الحصول على درجة الحرارة الجافة التصميمية، أما درجة الحرارة الرطبة المتوافقة معها فيتم حسابها من خلال تحديد الساعات التي تتجاوز فيها درجة الحرارة الجافة التصميمية (35 ساعة، 88 ساعة و 175 ساعة) ثم يتم حساب القيمة الوسطى لدرجة الحرارة الرطبة خلال هذه الساعات المحددة. نفس الأمر ينطبق على حساب درجات الحرارة الرطبة التصميمية ودرجات الحرارة الجافة الوسطية المتوافقة معها وحساب درجات حرارة نقطة الندى التصميمية ودرجات الحرارة الجافة الوسطية المترافقة معها.

تم إعداد مجموعة من البرامج الحاسوبية لحساب هذه الشروط بالنسبة للمدن السورية المدروسة وفق الآلية المذكورة أعلاه وحصلنا على النتائج المبينة بالجدول (2-1).

2-1-2 مجال استخدام الشروط المناخية التصميمية الخارجية:

Using Range of Outdoor Climatic Design Conditions

- المجموعة الأولى من الشروط – درجات الحرارة الجافة التصميمية ودرجات الحرارة الرطبة الوسطية المتوافقة معها – غالباً تكون عند الأيام المشمسة الحارة وهذا غالباً يستخدم لتحديد أجهزة التبريد كالشيلرات Chillers ووحدات معالجة الهواء AHU.
- المجموعة الثانية من الشروط – درجات الحرارة الرطبة التصميمية ودرجات الحرارة الجافة الوسطية المتوافقة معها – تعطي أكبر حرارة محسوسة وكامنة للهواء الخارجي (انتالبي الهواء الخارجي). تستخدم هذه المجموعة من الشروط عند حساب التبريد

التبخيري Evaporative cooling، أبراج التبريد Cooling towers، أنظمة التهوية بالهواء الجديد Ventilation systems.

- المجموعة الثالثة من شروط – درجات حرارة نقطة الندى التصميمية ودرجات الحرارة الجافة الوسطية المترافقة معها – تتعلق بشكل مباشر بنسبة الرطوبة للهواء الخارجي وهي تعطي ذروة حمل الرطوبة للهواء الخارجي. إن شروط نقطة الندى التصميمية (درجة حرارة نقطة الندى) تظهر في الأيام معتدلة درجة الحرارة الجافة (في الأجواء والماطرة وفي ساعات الصباح الباكر) وبالتالي فهي تتزامن مع الأجواء ذات الرطوبة النسبية الكبيرة. هذه الشروط مفيدة خاصة لتطبيقات التحكم بالرطوبة مثل التبريد التجفيفي Desiccant cooling والتجفيف Dehumidification وأنظمة التهوية بالهواء الجديد، وتستخدم أيضاً هذه الشروط عند تحليل أداء أنظمة التبريد عند الحمل الجزئي (عندما تكون الرطوبة النسبية في أعلى مستوياتها وهذا غالباً لا يكون عند درجة الحرارة الجافة العظمى) وخاصة عندما تكون تلك الأنظمة مستخدمة للتحكم بالرطوبة.

فعلى المهندس المصمم أن يقرر أي الشروط المناسبة لوضع التصميم بالاعتماد على المقارنة الاقتصادية ووضع الراحة الذي نحصل عليه.

ونظراً لكون الصناعات النسيجية التحكم بالرطوبة ضمن المكان المكيف هو الاهتمام الأول ضمن المشروع فأن الشروط التصميمية الخارجية تحتاج إلى أن تناقش بعمق أكبر للوصول إلى قناعة أي شروط يجب استعمالها لحساب الحمل.

وفقاً لما ذكر أعلاه سيتم اعتماد المجموعة الأولى من الشروط التصميمية الخارجية (درجات الحرارة الجافة التصميمية ودرجات الحرارة الرطبة الوسطية المترافقة معها) عند استعمال الدارة التبريدية التقليدية، واستعمال المجموعة الثالثة من الشروط التصميمية الخارجية (درجات حرارة نقطة الندى التصميمية ودرجات الحرارة الجافة الوسطية المترافقة معها) عند استعمال دارة التجفيف، إلا إذا ذكر خلاف ذلك.

الجدول (2-1) الشروط التصميمية الخارجية لبعض المدن السورية [13]

Dehumidification DP/MCDB						Evaporative WB/MCDB						Cooling DB/MCWB						المدينة
2%		1%		0.4%		2%		1%		0.4%		2%		1%		0.4%		
DP/MCDB		DP/MCDB		DP/MCDB		WB/MCDB		WB/MCDB		WB/MCDB		DB/MCWB		DB/MCWB		DB/MCWB		
23.4	17.7	23.7	18.5	24.1	19.3	31.8	20.4	32.1	20.9	33.7	21.6	18.9	37.1	19.2	38.5	19.5	39.7	دمشق
23.4	17.7	23.7	18.5	24.1	19.3	30.8	20.4	32.1	20.9	34.8	23.2	20.4	36.4	20.6	37.7	20.6	39.3	حلب
32.7	17.8	33.3	18.7	33.1	19.9	38	22.9	38.4	23.7	38.6	24.5	21.7	40.5	22.1	41.7	22.3	43	دير الزور

الرموز المستخدمة:

DB: درجة الحرارة الجافة °C **WB**: درجة الحرارة الرطبة °C **DP** : درجة حرارة نقطة الندى °C

MCDB: درجة الحرارة الجافة المتوافقة معها °C

MCWB: درجة الحرارة الرطبة المتوافقة معها °C

2-2 الشروط التصميمية الداخلية: Indoor Design Conditions

تلزم عملية تكييف الهواء وترطيبه في صناعة الغزل والنسيج من أجل تحقيق جودة الإنتاج، حيث إن خيوط النسيج ماصة للرطوبة ويجب تأمين الرطوبة المناسبة من أجل عدم انقطاع الخيوط أثناء عملية التصنيع، تتطلب مراحل عمليات تصنيع الغزل والنسيج والصباغة رطوبة معينة في كل مرحلة حسب الحاجة وفقاً للجداول المبينة (2-2) و(2-3) و(2-4).

الجدول(2-2) الشروط المناخية التصميمية الداخلية لدرجة الحرارة والرطوبة النسبية للألياف القطنية والصنعية في مصنع الغزل وفقاً للمعيار ASHRAE 2007 HVAC [11]:

القسم	الألياف القطنية		الألياف الصنعية	
	t_i ℃	% RH	t_i ℃	% RH
الفتح والتنظيف	22-25	55-60	21-23	50-55
الكرد والتسريح	22-25	55-60	21-23	50-60
التمشيط ومراحله	22-25	55-60	21-23	55-65
السحب	22-25	50-60	21-23	50-60
البرم	22-25	50-60	21-23	50-60
الغزل	22-25	55-65	21-23	60-65
التدوير	22-25	55-65	21-23	60-65
الزوي والتطبيق	22-25	60-65	21-23	50-65

الجدول(2-3) توصيات الشروط المناخية التصميمية الداخلية لدرجة الحرارة والرطوبة النسبية للألياف القطنية والصنعية في مصنع النسيج وفقاً للمعيار ASHRAE 2007 HVAC App [11]:

العملية	الألياف القطنية		الألياف الصنعية	
	t_i ℃	% RH	t_i ℃	% RH
التسدية والتنشية	22-25	55-70	21-23	50-60
النسيج	22-27	70-87	21-23	60-70
الحياكة (التريكو)	22-25	60-65	21-23	55-65
التجهيز النهائي	22-25	60-65	21-23	50-60

الجدول(2–4) توصيات الشروط المناخية التصميمية الداخلية لدرجة الحرارة والرطوبة النسبية للألياف الصوفية والكتان وفقاً للمعيار الألماني DNI [13]:

نوع الألياف	القسم	t_i °C	% RH
الصوف	التدليك	27 – 29	60
	الكرد والبرم	27 – 29	65 – 70
	الغزل النهائي	27 – 29	50 – 60
	النسيج	27 – 29	60 – 70
	التجهيز النهائي	24	50 – 60
الكتان	عمليات التحضير	18 – 20	80
	الكرد والتمشيط والسحب	20 – 25	50 – 65
	البرم والغزل النهائي	24 – 27	65 – 75
	النسيج	27	65 – 70

2–3 تبديل الهواء: Air Changes

إن عدد مرات تبديل الهواء في الصناعات النسيجية عامل مهم لضمان جودة الهواء الداخلي بالإضافة إلى اعتبارات أخرى حسب متطلبات تبديل الهواء في كل مرحلة وحسب المكان والمناخ في المساحة ومتطلبات الأشخاص الذين يعملون في القسم، توليد الحرارة، توليد الغبار. ويعتمد عدد مرات تبديل الهواء المطلوبة على نوع النشاط في المكان. وعدد مرات تبديل الهواء بالساعة المفضل للمحافظة على نظافة الهواء ومنع أي خطر على صحة العمال معطى بالجدول (2–5) في صالات النسيج ويعطي الجدول (2–6) عدد مرات تبديل الهواء في صالات الغزل المحددة لمستويات مختلفة في التحكم بالهواء.

تجهز معظم معامل الغزل والنسيج مجهزة بإزالة الملوثات ألياً وفلاتر تصفية الغبار. ويمتص الغبار والزغبر المتشكل بوساطة الآليات من قبل شافط الغبار، ويصفى الهواء المحمل بالغبار ويرطب ويعاد تدويره مرةً أخرى.

يعتمد عدد مرات تبديل الهواء حسب كفاءة الفلاتر ونسبة الملوثات الموجودة في الهواء الداخلي، ونسبة نقاوة الهواء الداخل إلى القسم ويتراوح من 5 إلى 35 مرة في الساعة. والعامل الرئيسي في عدد مرات تبديل الهواء درجة نظافة الهواء المعاد من الصالة.

الجدول (2–5) عدد مرات تبديل الهواء والحمل الحراري في صالات النسيج وفقاً للمعيار الألماني DNI [13]:

بارامترات التشغيل	نوع آلــة النسيج		
	المقذوف المعدني	الهوائي	الرابير
الحمل الحراري $\frac{W}{m^2}$	75–150	75–150	125–175
الرطوبة النسبية $\%RH$	75 - 80	75 - 80	75 - 80
تدفق الهواء $\frac{m^3}{h.m^2}$	51 - 130	51 - 130	85 - 152
ارتفاع الصالة $[m]$	4 – 4.5	4 – 4.5	4 – 4.5
عدد مرات تبديل الهواء بالساعة	10 - 35	10 - 35	20 – 40
استطاعة الآلة $[kW]$	4	2.8	6

الجدول (2–6) عدد مرات تبديل الهواء في صالات الغزل وفقاً للمعيار الألماني DNI [13]:

مراحل الغزل	الحمل الحراري $\frac{W}{m^2}$	الرطوبة النسبية $\%RH$	تدفق الهواء $\frac{m^3}{h.m^2}$	ارتفاع الصالة $[m]$	عدد مرات تبديل الهواء بالساعة
المخازن	150 - 200	48 - 52	34 - 51	4.0 - 4.5	10 – 15
فتح وتنظيف	100 - 150	55 - 60	24 - 51	5.0 - 6.0	5 – 10
الكرد(التسريح)	200 - 250	55 - 60	48 - 71	4.0 - 4.5	10 – 20
السحب	150 - 250	50 - 60	36 - 71	4.0 - 4.5	10 – 20
البرم	180 - 220	50 - 60	44 - 62	4.0 - 4.5	10 – 15
غزل حلقي	350 - 450	50 - 65	66 - 95	4.0 - 4.5	15 – 25
غزل توربيني	200 - 250	55 - 60	57 - 86	4.0 - 4.5	15 – 20
تدويرات	200 - 250	55 - 65	85- 134	4.0 - 4.5	20 – 35
الزوي	180 - 220	55 - 60	44 - 62	4.0 - 4.5	10 – 15

الفصل الثالث

أنظمة تكييف الهواء في الصناعات النسيجية

Air Conditioning Systems in The Textile Industries

الفصل الثالث

أنظمة تكييف الهواء في الصناعات النسيجية

Air Conditioning Systems in The Textile Industries

3-1 مقدمة: Introduction

إن انتقال الحرارة عن طريق آليات لتوفير تكييف الهواء هو اختراع حديث نسبياً، فعُرفت فكرة تكييف الهواء قديماً عند الرومان القدماء من خلال قناة لجر الماء وتدويرها عبر الجدران لتبريد الأبنية السكنية. وبعد ذلك استعمل الفرس في القرون الوسطى أبراج التبريد لتبريد الأبنية خلال فصل الصيف عن طريق وضع خزان فوق البناء يتم تعبئته من أمطار الشتاء أو عن طريق خزان موجود تحت البناء.

تم التعرف على مفهوم تكييف الهواء حديثاً من قبل الأمريكي Stuart W. Cramer في بداية القرن العشرين. وعرّف **تكييف الهواء** بأنه معالجة الهواء عن طريق التحكم بدرجة الحرارة والرطوبة ونقاوة الهواء وتوزيعه في المكان المطلوب. وهو أول من أضاف الرطوبة للهواء في المصانع النسيجية، حيث مزج الرطوبة مع هواء التكييف وعمل على تبديل الهواء في المصانع النسيجية والتحكم برطوبته.

بعدها طوّر هذا النظام الأمريكي Willies Carrier (1906) في شركة Buffalo وصمم أول نوع من المرطبات أو غسالات الهواء air washers عن طريق تبخير الماء عبر تيار الهواء ليصبح بارداً ويعرف حالياً بالتبريد التبخيري evaporative cooling.

كان السقف باتجاه الشمال مضيءً في المصانع النسيجية القديمة للحصول على ضوء الشمس، وتستعمل النوافذ وعدد من الفتحات لكي يتحرك الهواء بسهولة، وهذه الأبنية غير قادرة على المحافظة على درجة الحرارة والرطوبة الداخلية في منطقة العمل وأي تغيير في درجة الحرارة والرطوبة الخارجية تؤثر على طبيعة العمل في المصنع، وعادةً كانت هناك مشاكل في الفترة المسائية عندها تتغير درجة الحرارة وبعد الظهر أيضاً عند ارتفاع درجة الحرارة الخارجية. فكانت المهمة الرئيسية للمراقبين على العمل بخ الماء على أرضية المصنع في أوقات الظهيرة وإغلاق النوافذ والفتحات في الليل وإغلاق أنابيب البخار الموجودة في الأقسام لرفع درجة الحرارة عندما

تنخفض درجة الحرارة. وبعد ذلك جاءت فكرة استعمال الأسقف المستعارة للحد من تأثير درجة الحرارة والرطوبة الخارجية، وتم أغلاق النوافذ بشكل دائم للتحكم بكمية الهواء ودرجة حرارته ورطوبته. ومع ازدياد سرعة الآلات فأن التحكم وضبط درجة الحرارة الرطوبة أصبح ضرورة أساسية.

تم التحكم بغسالات الهواء المركزية إلكترونياً وأصبحت جزء أساسي في المصانع النسيجية. وقبل بضع سنوات كان ترطيب الهواء في الصالات النسيجية مصمماً بسرعة هواء منخفضة، وكذلك حجم غرف ترطيب الهواء كانت كبيرة، واعتبارها جزء مكمل لعملية الغزل والنسيج، وعملية تعريض الألياف قبل التشغيل للهواء الرطب غير موجودة.

يشكل الترطيب بالماء الدافئ بيئة لتشكل البكتريا وتطاير الألياف والأوساخ التي تسد بخاخات البخار مما يخفض كفاءة الترطيب.

3-2 غسالات الهواء في الصناعات النسيجية:

Air Washers in The Textile Industries

صمم Willies Carrier غسالة الهواء من أجل تكييف الهواء في المصانع النسيجية التي أصبحت الأساس في وحدات معالجة الهواء الحديثة المستخدمة في الصناعات النسيجية. واستخدم Carrier غسالة الهواء على نطاق واسع للتبريد والتجفيف في العديد من التطبيقات الصناعية. وأصبحت طريقة تكييف الهواء هذه من الطرق القليلة الاستخدام في المكاتب والأماكن التجارية، لكن بقيت الأكثر استخداماً في الصناعات النسيجية بالإضافة إلى ذلك غسالة الهواء قادرة على تنظيف هواء التغذية، وحفض ضغط الهواء، ومن جانبٍ آخر الصيانة أقل [7].

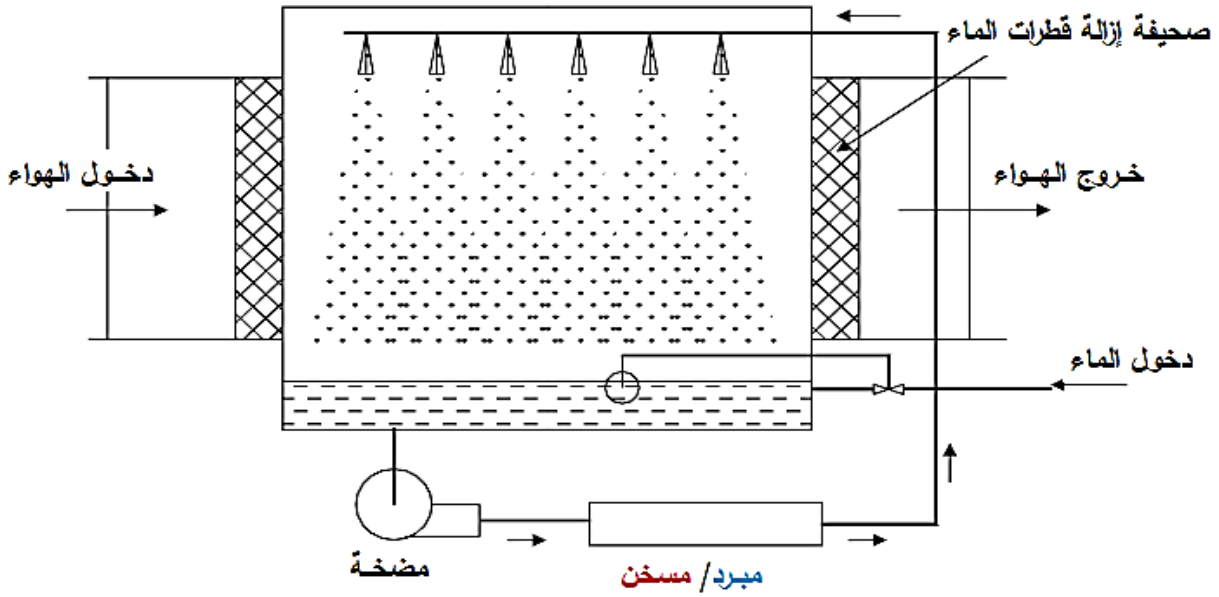
حجرة غسالة الهواء هي عبارة عن وحدة كبيرة متمركزة تستخدم رذاذ الماء وبثقه بقوه من بخاخات الماء بعكس اتجاه تيار الهواء. ورذاذ الماء ليس فقط لإضافة الرطوبة لكن أيضاً لتنظيف الهواء من الغبار الذي يجعله رطب وثقيل والذي يجعله يتساقط إلى الأسفل. وبعد ذلك طبقة نفوذة منع خروج قطرات الماء وجزئيات الغبار مع الهواء الرطب إلى مكان التكييف وبذلك نحصل على هواء نظيف مرطب.

المكون الرئيسي لغسالة الهواء هو وشيعة التبريد ذات الصفوف الحلزونية المتعددة، حيث أن تيار هواء التغذية يبرد ويجفف لاحقاً. وتعتمد العمليات المستخدمة في تكييف الهواء على عدة عوامل مثل حجم المكان، جودة الهواء الداخلي، درجة الحرارة، الرطوبة النسبية، الشروط التصميمية

الخارجية. وتتضمن المكونات الإضافية لغسالة الهواء مراوح الطرد المركزية، بوابات التحكم بتدفق الهواء، الفلاتر، غشاء نفوذ لمنع خروج قطرات الماء مع تيار هواء التغذية، مصرف ماء، بخاخات الرذاذ، مكثفات، مبردات، مبادلات حرارية، مسخنات بخارية، مجاري هواء، موزعات هواء التغذية، مضخة تدوير الماء وفتحات الهواء الراجع.

لدى غسالة الهواء القدرة على فلترة الهواء بكفاءة تصل إلى 95% للجزئيات ذات الوزن الجزيئي أكبر من 5 ميكرون. والكائنات الفطرية ذات الوزن الجزيئي 1 ميكرون [7].

يبين الشكل (3–1) غسالة الهواء ذات بخاخات الرذاذ المصنوعة من البلاستيك أو النحاس بقطر فوهه [mm] 4.5 – 1.6 والفوهات الصغيرة للترطيب بينما الفوهات الكبيرة للتبريد والتجفيف. والبعد بين صف الفوهات يتراوح بين [cm] 137 – 90 والطول الكلي للغسالة الهواء من [cm] 214 – 120 وسرعة الهواء داخل غسالة الهواء عادة من $\left[\frac{m}{s}\right]$ 4 – 2.5 وضغط الماء في بخاخات الرذاذ [bar] 2 – 1 [15] .



الشكل (3–1) مخطط توضيحي لغسالة الهواء

تتحدد عملية التبريد والترطيب أو عملية التبريد والتجفيف بدرجة حرارة ماء الرذاذ. فعند استخدام الرذاذ من الماء البارد فأنه تصبح درجة حرارة هواء التغذية أخفض من درجة حرارة نقطة الندى لهواء الدخول وبالتالي الهواء يبرد ويجفف معاً وبالعكس. ويستخدم رذاذ الماء في التطبيقات العملية بغرض غسيل وتنظيف الهواء من الغازات السامة القابلة للذوبان بالماء.

تتمتع غسالة الهواء بالوظائف التالية:

- تبريد وترطيب الهواء.
- تبريد وتجفيف الهواء.
- تنظيف الهواء من الجزئيات والشوائب.

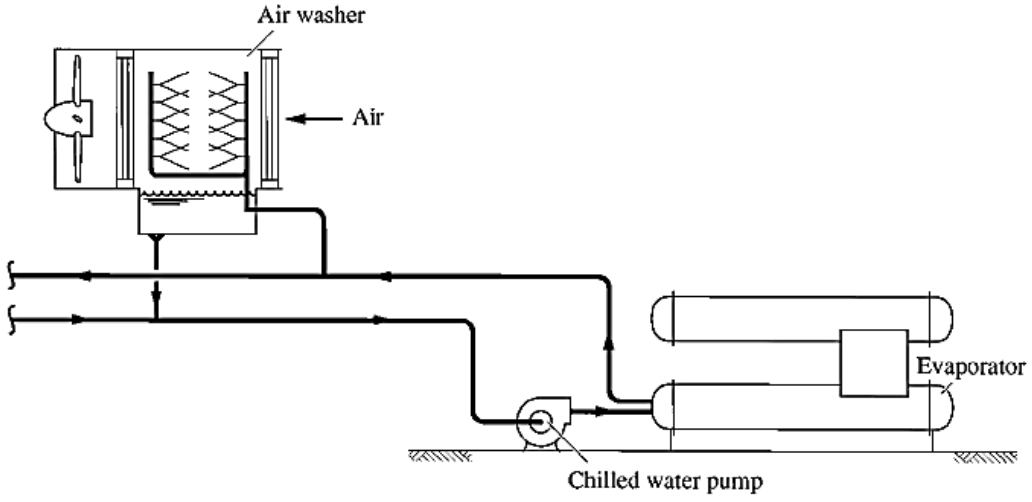
تستعمل أنظمة الترطيب بشكل واسع في المصانع النسيجية للأسباب التالية:

- توفير الطاقة الحرارية وتكاليف رأس المال المستخدم إذا ما قُورنت بالأنظمة الأخرى.
- تخفيض استهلاك الطاقة الكهربائية.
- الحصول على هواء التغذية ذو الجودة والنوعية الجيدة.

عند تشغيل التدفئة فإن غسالة الهواء اقتصادية، وتستخدم عند استطاعة ترطيب كبيرة في العديد من التطبيقات الصناعية.

3-2-1 طريقة عمل غسالة الهواء: Work Method of An Air Washer

توصل غسالة الهواء مع الشيلر Chiller لتبريد الماء عبر نظام التبريد الانضغاطي المكون من المبخر evaporative التوربيني أو الطرد المركزي والمكثف condenser وصمام الخنق expansion valve الذي يبرد الماء إلى درجة حرارة 10°C – 4، ثم يضخ عبر المضخة إلى وشائع التبريد الماء (في وحدات معالجة الهواء AHU) أو إلى غسالة الهواء على شكل رذاذ من الماء البارد للتبريد فتزداد درجة حرارة الماء حتى 18°C – 15 ثم يعاد إلى الشيلر من جديد. يبين الشكل (3-2) طريقة وصل المبرد الماء (الشيلر) مع غسالة الهواء المستخدمة في الصناعات النسيجية.

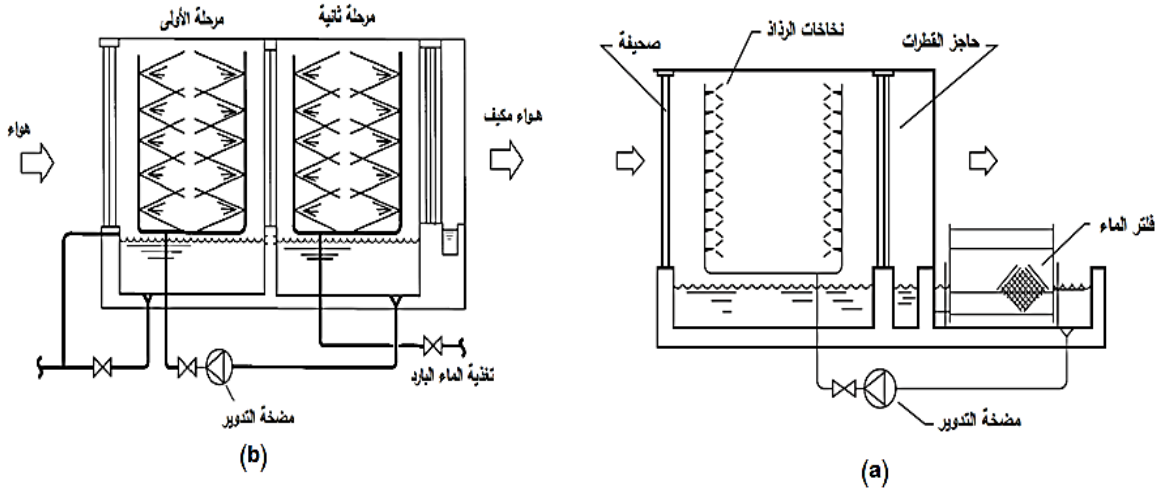


الشكل (3-2) وصل المبرد الماء (الشيلر) مع غسالة الهواء

3-2-2 غسالة الهواء بمرحلة أو متعددة المراحل:

Single Stage or Multistage Air Washer

تستخدم غسالة الهواء بمرحلة واحدة الماء البارد من أجل عمليات الترطيب أو عمليات التبريد والتجفيف وتكون اقتصادية. ويبين الشكل (3-3) غسالة الهواء بمرحلة واحدة وغسالة هواء بمرحلتين. وتستخدم للتبريد والتجفيف عندما تكون درجة حرارة الماء منخفضة والأفضل استخدام مرحلتين أو ثلاث مراحل من بخاخات الماء لتغطي الاستطاعة التبريدية كاملةً.



الشكل (3-3) غسالة الهواء (a) بمرحلة واحدة (b) متعددة المراحل [7]

3-2-3 أداء غسالة الهواء: Performance of An Air Washer

يُعرف أداء غسالة الهواء من أجل الترطيب الاديباتي على طول خط درجة الحرارة الرطبة بكفاءة الإشباع ε_{sat} ويحسب من العلاقة التالية [7]:

$$\boldsymbol{\varepsilon_{sat} = \frac{w_2 - w_1}{w_s^* - w_1} = \frac{t_2 - t_1}{t_s^* - t_1}} \quad (3-1)$$

t_2, t_1: درجة حرارة هواء الدخول والخروج من غسالة الهواء. °C

w_2, w_1: نسبة الرطوبة هواء الدخول والخروج من غسالة الهواء. $\left[\frac{kg}{kg}\right]$

w_s^*, t_s^*: نسبة الرطوبة ودرجة الحرارة المشبعة للهواء عند خط درجة الحرارة الرطبة الأديباتية.

يوصف أداء غسالة الهواء من اجل عملية التبريد والتجفيف بشكل أفضل بوساطة عامل يدعى **معامل الأداء** F_p كالتالي [7]:

$$\boldsymbol{F_p = \frac{h_{en} - h_{lv}}{h_{en} - h_s^*}} \qquad (3-2)$$

h_{en}, h_{lv}: انتالبي هواء الدخول والخروج من غسالة الهواء. $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

h_s^*: انتالبي إشباع الهواء عند درجة حرارة رذاذ الماء البارد. $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

يُعبر عن أداء غسالة الهواء من أجل عملية الترطيب بوساطة كفاءة الإشباع ε_{sat} ويُعبر عن أداء غسالة الهواء من أجل عملية التبريد والتجفيف عنه بوساطة F_p . ويعتمدان بشكل أساسي على زمن الاتصال بين الماء والهواء ومساحة سطح التلامس وبمعنى آخر نسبة الماء إلى الهواء $\frac{\dot{m}_w}{m_a}$ وطول غسالة الهواء واتجاه بخ الرذاذ [15].

3-3 وحدات معالجة الهواء المركزية: Central Air Handling Units

وحدة معالجة الهواء AHU هي الجهاز الأساسي في نظام تكييف الهواء المركزي فهي تعالج وتكيف الهواء وتوزعه لأماكن التكييف المختلفة. وغالباً تمزج الكميات المطلوبة من الهواء الخارجي وهواء إعادة التدوير في وحدة معالجة الهواء ويعاد تكييفه بدرجة حرارة محددة ويُحافظ عليها من قبل أجهزة التحكم. وبعد ذلك يزود هواء التغذية المكيف ويدفع بقوة محددة ويوزع لمنطقة التكييف من خلال مجاري الهواء وأجهزة توزيع الهواء Diffuser.

لدى وحدات معالجة الهواء النموذجية المرونة لإضافة مكونات إضافية كما هو مطلوب. وتشمل وحدات معالجة الهواء على صندوق مزج وبوابة التحكم بالهواء الجديد القادم من الوسط الخارجي وقسم المروحة الذي يحتوي على مروحة التغذية ومحرك المروحة، قسم الوشيعة الذي يحتوي على وشيعة تبريد الماء وقسم فلترة وقسم تحكم ومروحة تبديل أو الرجوع، وشيعة تسخين ووشيعة تبريد أولية ومرطبة وكمية تدفق هواء التغذية في وحدات معالجة الهواء من $\left[\frac{m^3}{s}\right]$ 0.943 حتى $\left[\frac{m^3}{s}\right]$ 30 [15].

يعتمد إضافة مروحة رجوع الهواء أو مروحة تبديل الهواء لنظام الهواء على خصائص التشغيل وتركيب نظام الهواء، وانخفاض الضغط الكلي لنظام الهواء الراجع. تستعمل وشيعة التسخين بشكل أساسي في وحدة معالجة الهواء للتدفئة الصباحية في فصل الصيف، وتستخدم وشيعة التبريد الأولية لسحب الماء البارد من برج التبريد وكمنظم الماء. وتستخدم المرطبات في عمليات تكييف الهواء للمحافظة على الرطوبة النسبية المريحة.

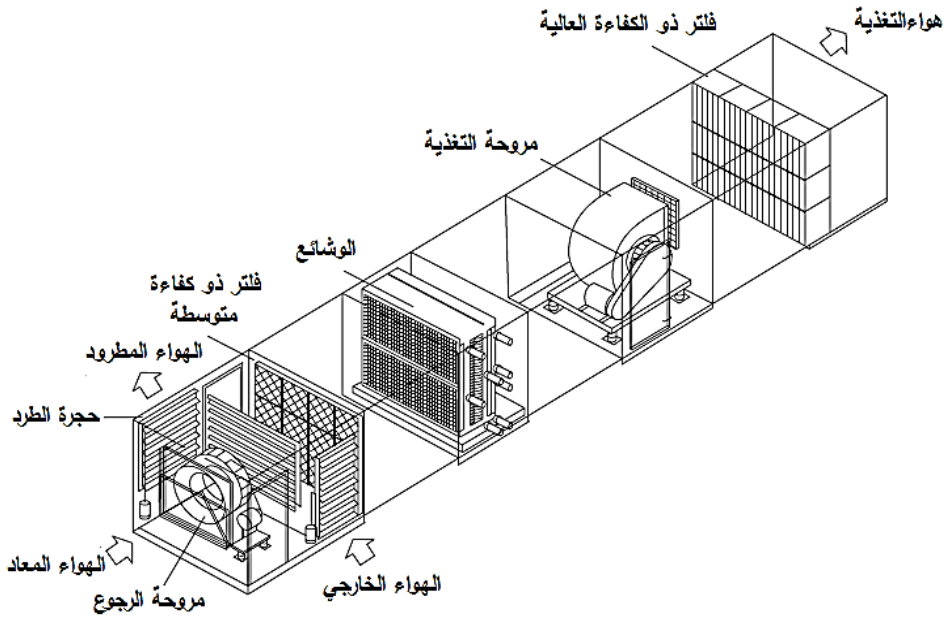
3-3-1 بنية وحدة معالجة الهواء: Structure of An Air Handling Unit

وحدة معالجة الهواء الأفقية المستخدمة في تكييف الأماكن الكبيرة والصناعية تكون مروحة التغذية والوشائع والفلاتر عند نفس المستوى. ويبين الشكل (3-4) الوحدة الأفقية التي تتطلب

مكان أكبر وهي أصغر أي ارتفاعها هو ارتفاع المقطع الوشائع مضاف إليه مقطع المروحة.

وتتكون وحدة معالجة الهواء الأفقية والسحب من خلالها وفق الترتيب المتسلسل التالي:

- مروحة التبديل أو الرجوع، ممر الهواء المطرود وحجرته.
- صندوق المزج مع منظم الهواء الخارجي وهواء التدوير.
- الفلاتر (الفلتر الأولي اختياري) متوسط أو فلاتر ذات الكفاءة العالية.
- وشيعة التسخين الأولية (اختياري).
- وشيعة التبريد.
- وشيعة التسخين.
- مروحة التغذية.
- المرطبة (اختياري).



الشكل (3-4) وحدة معالجة الهواء الأفقية النموذجية

إن موقع مروحة تبديل في حالة وجودها سيكون في جانب واحد من حجرة طرد الهواء أو ممر التبديل أو الطرد. وكذلك في حالة وجود مروحة رجوع للتطبيقات التجارية فأن موقعها سيكون قريب من مركز حجرة الطرد. وكمية التدفق وضغط الكلي للمروحة الرجوع سيحدد بدقة لذلك الضغط الداخلي لحجرة الطرد يجب أن يكون موجباً. والضغط الداخلي في صندوق المزج يجب أن يكون سالباً حتى يطرد الهواء الخارجي وماعدا ذلك الهواء الخارجي بحاجة إلى مروحة تركب في الممر الهواء الخارجي.

تكون عملية مزج الهواء الخارجي وهواء إعادة التدوير سهلة في أغلب الأحيان وأقل تكلفة، لذا فأن موقع صندوق المزج قبل الفلاتر والوشائع، وشيعة التسخين الأولية دائماً موقعها قبل وشيعة التسخين بالماء الساخن وموقع وشيعة التبريد الأولية دائماً قبل وشيعة التبريد وموقع المرطبات البخارية دائماً بعد وشيعة التسخين لأن الترطيب يكون له تأثير أكبر عند درجة حرارة الهواء المرتفعة.

موقع فلاتر ذات كفاءة عالية بالقرب من غرفة التنظيف أو مكان التنظيف لمنع الملوثات من دخول مجاري الهواء العاملة. والفلاتر ذات الكفاءة المتوسطة يجب أن تركب قبل الوشائع، واختيار وحدات معالجة الهواء وفق الشركات المصنعة يجب الأخذ بعين الاعتبار النقاط التالية:

- السحب من خلال وحدة معالجة الهواء الشاقولية الأكثر استعمالاً في أنظمة التكييف المركزية الكبيرة.
- اختيار حجم AHU لتكون سرعة دخول الهواء من جهة الوشيعة υ_{coil} مثالية والسرعة العظمى لا تتجاوز $\left[\frac{m}{s}\right]$ 2.75 .
- نختار مراوح طرد مركزية بشفرات مقوسة ملساء أو مائلة للخلف من أجل AHUs الكبيرة وهي مراوح ذات كفاءة عالية. واختيار عدد دورات مروحة التغذية أو مراوح التغذية أو الرجوع حسب متطلبات النظام لانخفاض الضغط الكلي. وبمعنى آخر الضغط الكلي الظاهري يزيد عن انخفاض الضغط الكلي في وحدة معالجة الهواء.
- استخدام منظم تدفق الهواء أو الماء لتوفير الطاقة واستعمال المبردات التبخيرية المباشرة والغير مباشرة لاستبدال الجزء التبريدي التقليدي وهو من اهم التطبيقات الاقتصادية في الوقت الحالي.
- اختيار وحدة معالجة الهواء بعناية خاصةً التحكم والأمان وأجهزة تحكم ثانوية.

3-3-2 وشائع وحدات معالجة الهواء: Coils of Air Handling Unit

وشائع وحدات معالجة الهواء عبارة عن مبادلات حرارية ذات اتصال غير مباشر لنقل الحرارة بين الهواء وأي وسيط (الماء ـ سائل التبريد ـ البخار) لغرض التدفئة أو التبريد أو تجفيف الرطوبة. وتتكون الوشائع من الأنابيب رُتبت الزعانف عليها بشكل صفوف على طول تدفق الهواء لزيادة سطح التبادل، وتستخدم وحدات معالجة الهواء نوعين من الوشائع:

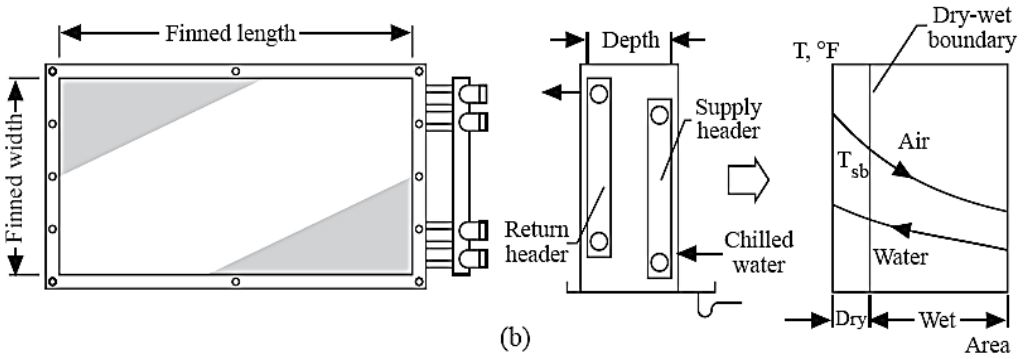
3-3-2-1 الوشائع الرطبة: Wet Coils

تشمل الوشائع الرطبة على:

1. وشائع التبريد المائية: Water Cooling Coil

تستخدم الماء البارد سائل التبريد من خلال تدفقه عبر الأنابيب فيبرد ويجفف الهواء الرطب الذي يتدفق على سطح الخارجي للأنابيب والزعانف، ويبين الشكل (3-5) وشيعة التبريد المائية، وعادةً يكون التدفق معاكس وبمعنى آخر الهواء الأبرد يقابل الماء الأبرد والهواء الدافئ يقابل الماء الدافئ [15].

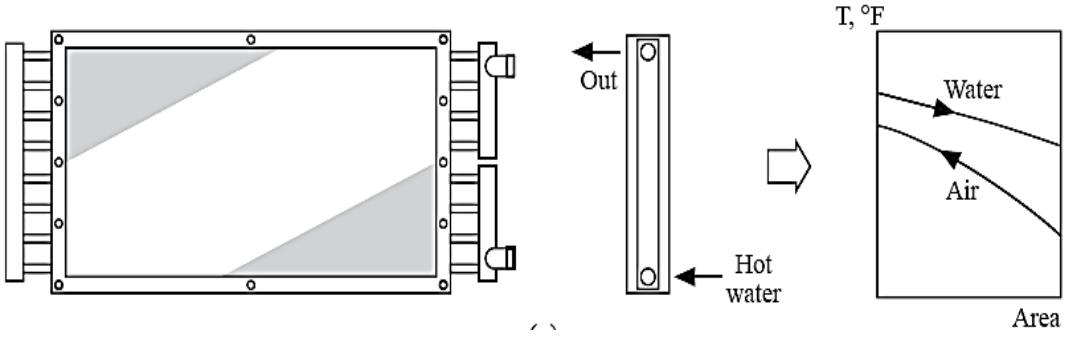
تتكون من أنابيب نحاسية قطرها يتراوح [mm] 16 – 13 سماكته [mm]0.5 – 0.25 وتحدد المسافة بين مركز الأنبوبين طولياً [mm]30 – 19 وعرضياً [mm]38 – 25 قد تكون الأنابيب مرتبة على طول تيار الهواء 2-3-4-6-8 صفوف [15].



الشكل (3-5) وشيعة التبريد المائية

2. وشائع التسخين البخارية: Steam Heating Coil

يستخدم وشائع التسخين البخارية لإزالة الحرارة الكامنة. ويبين الشكل (3-6) وشيعة التسخين البخارية المصنوعة من أنابيب نحاسية أو فولاذية أو ستانلس ستيل وتعمل عند ضغط [kPa] 1380 – 690 ودرجة حرارة حتى 205°C [15].

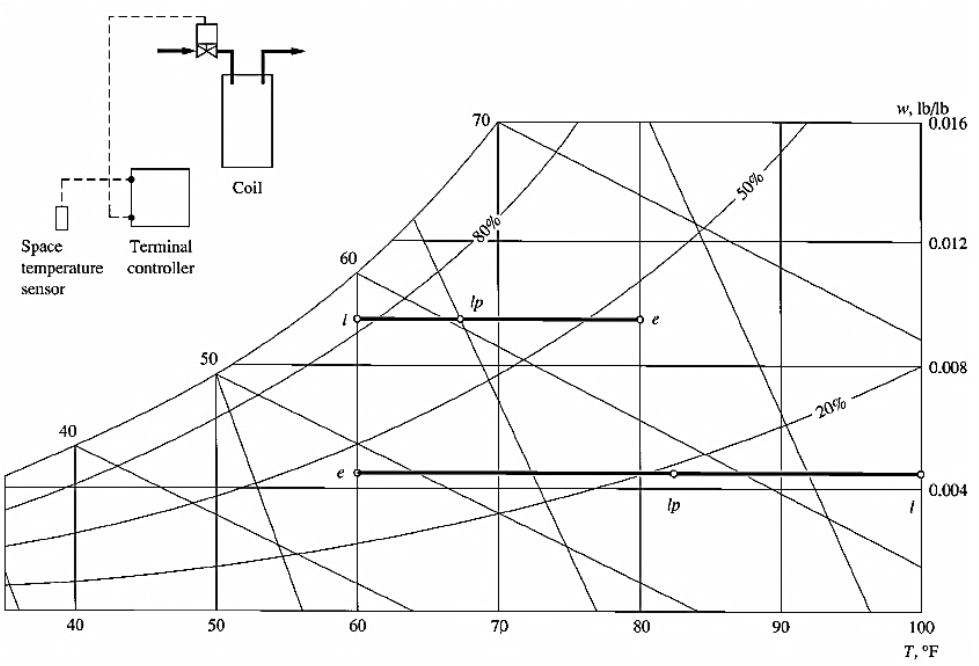


الشكل (3-6) وشيعة التدفئة البخارية

3-2-3-2 الوشائع الجافة (وشيعة التبريد المحسوسة ووشيعة التدفئة المحسوسة):

Dry Coils (Sensible Cooling and Sensible Heating Coil)

تحصل عملية التبريد المحسوس فقط عندما تكون درجة حرارة السطح الخارجي للوشيعة T_s مساوية أو أعلى من درجة حرارة نقطة الندى للهواء الداخلي $T_s \geq T_{ae}$ ، وتبقى نسبة الرطوبة ثابتة في عملية التبريد المحسوس. وتمثل عملية التبريد المحسوس بخط أفقي على المخطط البسايكرومتري كما هو مبين في الشكل (3-7).



الشكل (3-7) عملية التبريد المحسوس في الوشائع الجافة على المخطط البسايكرومتري

كمية الحرارة المحسوسة المنتقلة من وشيعة التبريد Q_{cs} تساوي كمية الحرارة الممتصة من الماء البارد في الأنابيب [15]:

$$\mathbf{Q_{cs} = \dot{V}_a \rho_a C_a (t_{ae} - t_{al})} \quad (3-3)$$

$$\mathbf{or \;\; Q_{cs} = \dot{m}_w . C_w (t_{wl} - t_{we})} \quad (3-4)$$

$\dot{V}_a$ حجم تدفق الهواء المكيف. $\left[\frac{m^3}{min}\right]$

ρ_a: كثافة الهواء. $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

t_{ae}, t_{al}: درجة حرارة هواء التكييف دخول وخروج وشيعة التبريد المحسوس. °C

c_a, c_w: السعة الحرارية للهواء والماء. $\left[\frac{J}{kg.°C.}\right]$

$\dot{m}_w$: تدفق الماء المبرد. $\left[\frac{kg}{sec}\right]$

t_{wl}, t_{we}: درجة حرارة دخول وخروج الماء من الوشيعة. °C

3-3-3 المرطبات والترطيب في وحدات معالجة الهواء:

Humidifiers and Humidification in Air Handling Unit

تضيف المرطبة الرطوبة إلى الهواء وتزيد محتوى رطوبة الهواء وتبرده، ويكون الترطيب بإحدى الطرق التالية:

1. بثق بخار الماء مباشرةً عبر تيار هواء المكان المكيف.
2. بخ الماء السائل عبر تيار الهواء.
3. دفع الهواء من خلال عنصر رطب.

تزيد هذه الطرق محتوى رطوبة هواء المكان، وبالتالي تزداد الرطوبة النسبية والعلاقة الهامة للمرطبة هي استطاعة الترطيب $\dot{m}_{hu}\ \left[\frac{kg}{h}\right]$ أو نسبة بخار الماء المضاف إلى الهواء.

3-3-3-1 حمل الترطيب: Humidifying Load

حمل الترطيب $\dot{m}_{hu}\ \left[\frac{kg}{h}\right]$ هو كمية بخار الماء المطلوب إضافتها إلى الهواء بوساطة المرطبة لكي تحافظ الرطوبة النسبية في المكان المكيف على قيمتها، ويحسب حمل الترطيب لنظام الهواء من خلال الشكل (3-8) المبين بالعلاقة التالية:

$$\dot{m}_{hu} = \dot{V}_s\ \rho_a\ (w_{lv} - w_{en}) = \dot{V}_s\ \rho_a (w_s - w_m) \quad (3-5)$$

$\dot{V}_s$: تدفق هواء التغذية في AHU. $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

ρ_a: كثافة هواء التغذية. $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

w_{lv} , w_{en}: نسبة الرطوبة للهواء الداخل والخارج من المرطبة. $\left[\frac{kg}{kg}\right]$

w_s: نسبة الرطوبة لهواء التغذية. $\left[\frac{kg}{kg}\right]$

w_m: نسبة الرطوبة لمزيج الهواء الخارجي وهواء إعادة التدوير. $\left[\frac{kg}{kg}\right]$

يحسب حمل الترطيب أيضاً من العلاقة التالية:

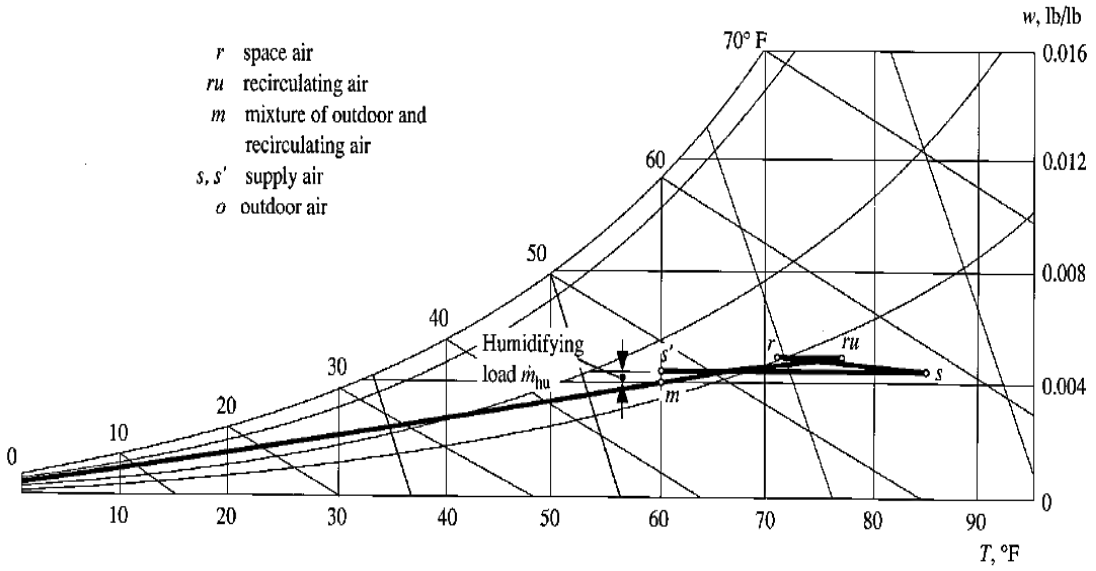
$$\dot{m}_{hu} = (\dot{V}_o + \dot{V}_{inf})\rho_o\ (w_r - w_o) - \dot{m}_{wr} \quad (3-6)$$

$\dot{V}_o$: تدفق هواء التغذية من الهواء الخارجي. $\left[\frac{m^3}{min}\right]$

$\dot{V}_{inf}$: تدفق هواء التسرب. $\left[\frac{m^3}{min}\right]$

w_r, w_o: نسبة الرطوبة لهواء المكان والهواء الخارجي. $\left[\frac{kg}{kg}\right]$

$\dot{m}_{wr}$: ربح الرطوبة من المكان ويتضمن الحمل الكامن من الأشخاص والأجهزة والمنتجات.



الشكل (3–8) عملية ترطيب الهواء على المخطط البسايكرومتري

حيث s حالة هواء التغذية في المكان في حالة التدفئة، s′ حالة هواء التغذية في المكان في حالة التبريد.

3–3–3–2 أنواع المرطبات: Types Humidifiers

1. مرطبات البخار مع عنصر التسخين.
2. مرطبات الماء (غسالة الهواء).
3. مرطبات الترطيب المركز.
4. مرطبات الترطيب المجمع.

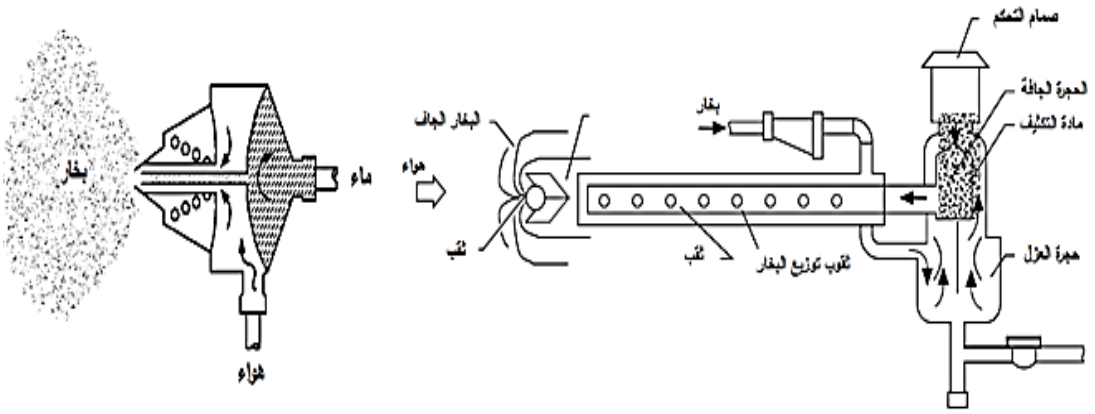
1. مرطبات البخار والتدفئة: Steam and Heating Humidifiers

تستخدم مرطبات البخار مع فاصل قطرات بشكل واسع في أنظمة تكييف الهواء المريحة المبينة في الشكل (3–9). حيث يُدفع البخار إلى موزعات أنبوبية متعددة ويدخل إلى الحجرة الجافة، ويتدفق البخار من خلال صمام خنق لتحكم بالضغط ويضغط إلى مستوى فوق الضغط الجوي. وكلاً منهما درجة حرارته عالية، أي البخار الجاف يدفع إلى تيار الهواء المحيط من خلال ثقوب في الأنبوب الداخلي لتوزيع البخار داخلياً.

2. مرطبات الترطيب المركز: Humidifiers Localized Humidification

تتم عملية تغذية الهواء التكييف في طريقة التبريد المركز بوساطة المرطبات أو وحدات تكييف الهواء من خلال دفع الهواء من موزعات الهواء مباشرةً إلى مساحة العمل، وسحب هواء الراجع عبر الخنادق الأرضية، وعملية التبريد المركز هذه ذات كفاءة عالية لتبريد الأشخاص والعمليات

والتجهيزات. مفهوم التبريد المركز ليس فكرة جديدة واستعملت مبردات المركزة على بقعة معينة لإنجاز تبريد مركز في الوسط المحيط للعمل، ويتم ذلك في الصناعات النسيجية عن طريق مجموعة من التجهيزات للتدفئة والتبريد المركز وأهمها طريقة الترطيب بالأنظمة المركزة لمنطقة العمل في الآلة.



الشكل (3–9) مرطبة البخار والتدفئة

3. نظام الترطيب المجمع: Subsystem Humidification

يستخدم نظام الترطيب المجمع عوضاً عن نظام الكتلة، حيث يساعد في تحسين مردود النول والشروط الصحية في صالات النسيج وتخفيض احتياج الطاقة اللازمة لتكييف الهواء في صالة النسيج [7].

يحافظ هذا النظام على التحكم بمحتوى رطوبة الخيط من بداية التغذية إلى النول عن طريق إزالة الحرارة المتولدة خلال عملية النسيج وتحسين معالجة الهواء في صالة النسيج. ومن المعلوم لدينا أن خيوط السداء بعد التنشية تجفف عادة بوساطة أسطوانات التجفيف، ومحتوى الرطوبة المتبقي حوالي (5–6)%. ولكن أثناء التوقفات جزء من الخيوط محتوى الرطوبة فيها قد يصل إلى (1 – 2)% وتتركز كثير من تقطعات في هذه الأجزاء من خيوط السداء. ويجب أن تكون رطوبة خيوط الحدف بين (3–7)% التي تعتمد بشكل رئيسي على تقنية الغزل المستخدم. ويطلب أحياناً تكييف الغزول قبل عملية النسيج [7].

تكون عملية النسيج بشكل أفضل بمستوي عالي من الرطوبة 95%RH – 85 لكن تكون راحة العاملين الصحية عادةً ما بين 65%RH – 60 ودرجة حرارة الصالة عادةً تكون ما بين 26°C – 24 لذلك فكرة الترطيب المركز مفيدة [7].

قدمت شركة LUWA مؤخراً أنظمة التبريد المركز بتغذية الهواء بشكل مركز من [mm] 1500 فوق منطقة الدرأت فكان أداء النول أفضل، وطورت وحدة الترطيب المركز الخاصة في الأنوال الهوائية ووضعها بأقرب ما يمكن فوق خيوط السداء والهواء بسرعة منخفضة. وتعمل هذه الأنظمة بسحب الهواء الحار من تحت آلة النسيج مباشرةً مع الغبار والزغب الألياف المتطاير وثم طرده. في هذا النظام الهواء المكيّف يتم دفعه مباشرةً إلى منطقة العمل و بالتالي ينخفض حجم الهواء المكيّف في الصالة ويعطي درجة عالية من الكفاءة والراحة والاستثمار المنخفض والتكاليف الصيانة منخفضة لاحقاً.

تطور أداء نظام الترطيب المركز من قبل الأمريكيين Shofner and Chern لتعطي الرطوبة المناسبة من خلال التوجيه المباشر على خيوط السداء. وبالتالي يتحسن أداء الأنوال من خلال انخفاض عدد التقطعات، وكذلك تخفيض رطوبة الهواء في صالة النسيج مما يؤمن الراحة للعاملين وتخفيض نسبة ملوثات الهواء ومتطلبات فلترة الهواء، وتنخفض الحرارة المتولدة أثناء عملية النسيج وبالتالي ينخفض الحمل الحراري في صالة النسيج. وتزداد مرونة الإنتاج وكفاءة الأنوال وتنخفض عدد التقطعات إلى اقل من النصف [7].

يتميز هذا النظام بفائدتين ضروريتين:

- ليس هناك غرفة هواء.
- سرعة الهواء بطيئة مما يضمن تأمين رطوبة كافية في خيوط السداء.

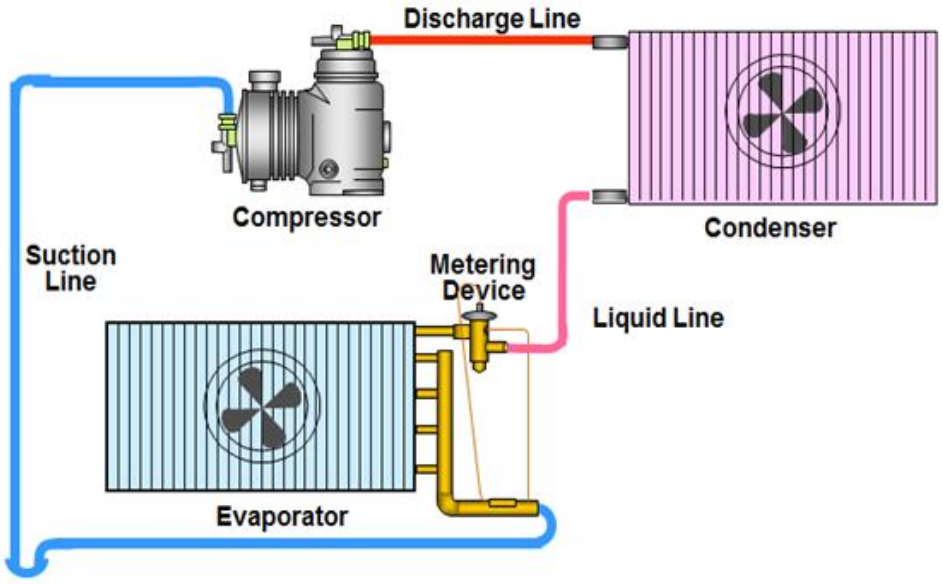
3-4 آلات التبريد الانضغاطية البخارية (المضخات الحرارية):

Vapor Compression Cooling Machines (Heat Pumps)

آلة التبريد عبارة عن مجموعة مغلقة مملوءة بالجسم العامل (المادة العاملة) والذي يدور في آلة التبريد ممتصاً الحرارة من الوسط المبرد ومن ثم يكمل دورة مغلقة ليعود إلى الحالة الابتدائية.

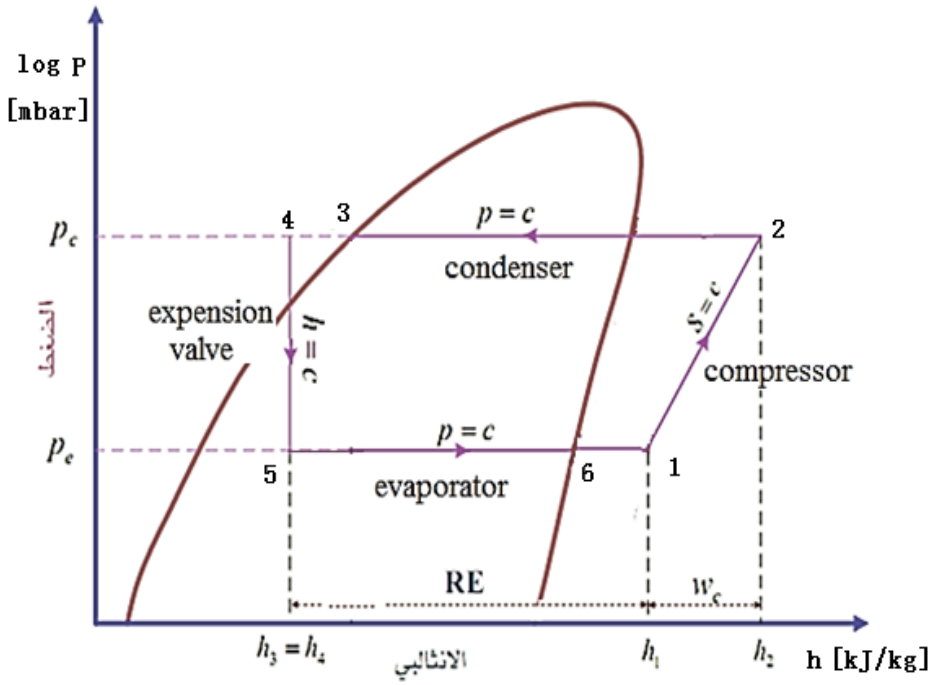
إن عملية التبريد المستمرة تتم باستعمال كمية محدودة من الجسم العامل، ولتحقيق ذلك فإنه لابد من إعطاء الحرارة التي امتصها من الوسط المبرد إلى جسم آخر كالوسط الخارجي هواء أو ماء. وتسمى آلات التبريد التي تستفيد من غليان السائل عند درجات حرارة منخفضة للحصول على الفعالية التبريدية آلات التبريد الانضغاطية البخارية.

يبين الشكل (3–10) أجزاء آلة التبريد الانضغاطية البخارية المكونة من المبادلات الحرارية (المكثف condenser والمبخر evaporator) والضاغط compressor وصمام خنق extension valve.



الشكل (3–10) مخطط رمزي لآلة التبريد الانضغاطية البخارية التقليدية

تسمى العملية الدائرية التي يتم بنتيجتها نقل الحرارة من الجسم البارد إلى الجسم ذي درجة الحرارة الأعلى الدورة العكسية المغلقة (دورة كارنو العكسية). ويوضح الشكل (3–11) التمثيل الترموديناميكي لدورة كارنو العكسية.



الشكل (3–11) التمثيل الترموديناميكي لدورة كارنو العكسية [14]

3-4-1 العمليات الترموديناميكية لدورة كارنو العكسية:

Thermodynamic process's for reversed Carnot cycle

تُعّد دورة كارنو العكسية المبينة في الشكل (3-11) من وجهة نظر الفعالية التبريدية الأقل استهلاكاً للقدرة بالمقارنة مع الفعالية التبريدية نفسها للدورات الأخرى، تتألف دورة كارنو التبريدية من إجراءين بثبوت درجة الحرارة Isothermal ، وإجراءين بثبوت أديباتيين Adiabatic.

يتم رفع درجة حرارة الجسم العامل (وسيط التبريد cooling moderator) من الدرجة T_1 إلى درجة حرارة الوسط المحيط T_2 بضغطه أديباتياً بثبوت الانتروبي خلال الإجراء 1-2 وبالتالي صرف عمل (الضاغط) قدرة W_c [14].

$$\mathbf{W_c = \dot{m}_m.(h_2 - h_1)} \quad \mathbf{(3-7)}$$

$\dot{m}_m$: كمية تدفق وسيط التبريد في الدارة. $\frac{\mathbf{kg}}{\mathbf{sec}}$

يتم بعد عملية الانضغاط نزع جزء من حرارة وسيط التبريد وطرحها إلى الوسط الخارجي عند درجة حرارة ثابتة لوسيط التبريد مساوية لدرجة حرارة الوسط المحيط من خلال الإجراء 2-3. تحسب استطاعة المكثف بالعلاقة التالية [14]:

$$\mathbf{Q_c = \dot{m}_m.(h_2 - h_3)} \quad \mathbf{(3-8)}$$

يتمدد الجسم العامل أديباتياً فينخفض ضغطه ودرجة حرارته حتى الدرجة T_e وينجز عملاً خارجياً W_e. وفي الإجراء 4-5 [14].

$$\mathbf{h_4 = h_5} \quad \mathbf{(3-9)}$$

يمتص الجسم العامل أثناء الإجراء الايزوترمي 5-6 حرارة مقدارها Q_e من الوسط المبَّرد وعند درجة حرارة ثابتة للجسم العامل T_e والتي تساوي درجة حرارة الوسط المبَّرد [14].

$$\mathbf{Q_e = \dot{m}_m.(h_6 - h_5)} \quad \mathbf{(3-10)}$$

نرى أن العمل W يكافئ المساحة (1-2-3-4-5-6) المبين في الشكل (3-11)، وتسمى كمية الحرارة التي يمتصها kg 1 من وسيط التبريد الإنتاجية التبريدية النوعية أو التأثير التبريدي النوعي.

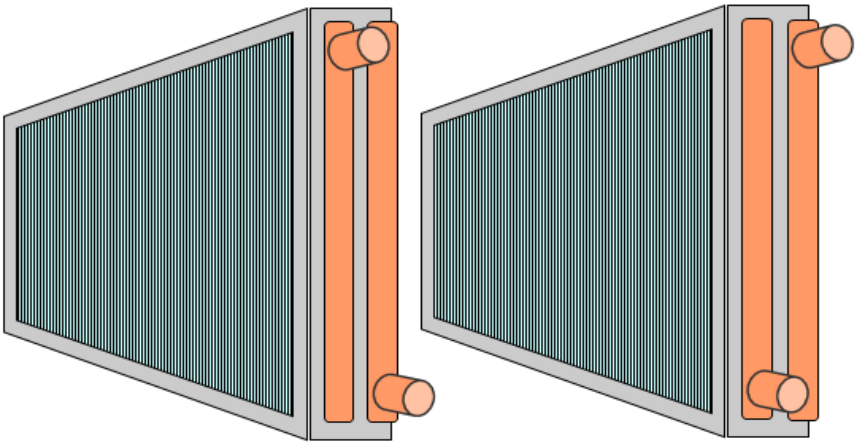
يعبر عن فعالية أو مردود دورة التبريد Refrigeration Efficiency بمعامل التبريد ε أو معامل أداء الدارة والذي يساوي نسبة الإنتاجية التبريدية Q_e إلى العمل المصروف في الدورة W أي [14]:

$$\mathbf{COP = \frac{Q_e}{W} = \frac{\dot{m}_m.(h_6 - h_5)}{\dot{m}_m.(h_2 - h_1)}} \quad \mathbf{(3-11)}$$

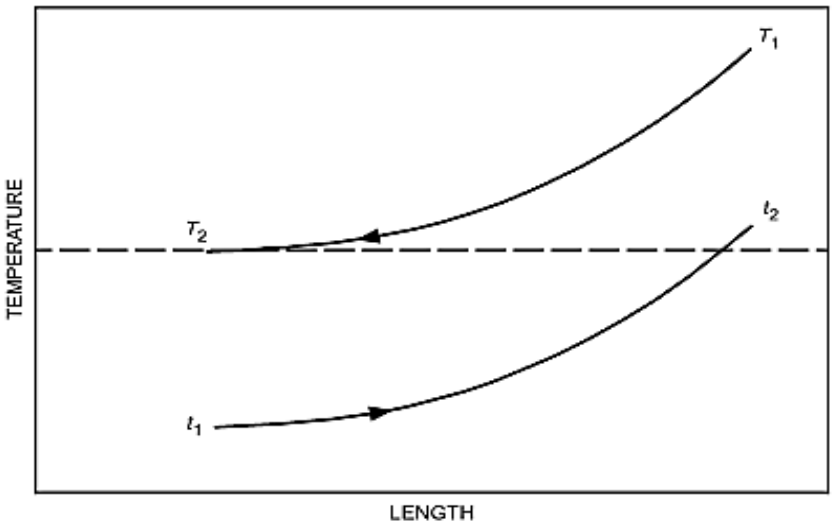
زيادة تسخين بخار وسيط التبريد ليدخل إلى الضاغط بحالة بخار محمص superheat vapor من خلال الإجراء 6-1. وقد يتم التسخين في المبخر أو الأنابيب بين المبخر والضاغط، وكذلك زيادة تبريد تكاثف وسيط التبريد لكي يتكاثف وسيط التبريد بأكمله مما يرفع معامل أداء الدارة والتي تتم في المكثف أو ضمن الأنابيب بين المكثف وصمام التمدد [14].

3-4-2 المبادلات الحرارية: Heat Exchanger

تعتمد عمليات التدفئة والتبريد والتكييف على المبادلات الحرارية في عمليات انتقال الحرارة، ويتم اكتساب كمية من الحرارة أو فقدانها من وسط إلى آخر. وهذا ما يسمى التبادل الحراري ولابد من توافر حيز ووسط مناسب تنتقل عبره الحرارة من وسط لآخر ويطلق عليه المبادل الحراري. ويمثل الشكل (3-12) مبادل حراري ذو الجريان متعاكس، ويوضح الشكل (3-13) العمليات الترموديناميكية لمبادل حراري ذو الجريان متعاكس.



الشكل (3-12) مبادل حراري ذو جريان معاكس



الشكل (3-13) العمليات الترموديناميكية لمبادل حراري ذو الجريان متعاكس [14]

تصنف المبادلات الحرارية وفقاً لجريان وسيط التبريد– ووسيط التسخين.

1– مبادل حراري وجريان متوازي لكلا الوسيطين سيتفقان باتجاه واحد.

2– مبادل حراري ذو جريان معاكس حيث يتدفق وسيط التبريد باتجاه يعاكس حيز الوسيط التسخين.

يحسب فرق درجات الحرارة اللوغاريتمية بين مائع التبريد والوسط المبرد (المنبع الحراري في المضخة الحرارية) بالعلاقة التالية [14]:

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}} \quad (3-12)$$

ΔT_m: فرق درجات الحرارة اللوغاريتمية بين مائع التبريد والوسط المبرد (المنبع الحراري في المضخة الحرارية). [K]

ΔT_{max}: فرق درجات الحرارة الأكبر ما بين الوسطين.

ΔT_{min}: فرق درجات الحرارة الأصغر ما بين الوسطين.

تحسب مساحة سطح المبادل الحراري للمبادل الحراري وفقاً للاستطاعة:

$$Q = k.A.\Delta T_m = \dot{m}_h C_{ph}.\Delta T_h = \dot{m}_c.C_{pc}.\Delta T_c \quad (3-13)$$

k: معامل انتقال الحراري الكلي. $\left[\frac{w}{m^2.K}\right]$

A: مساحة سطح التبادل الحراري للمبادل الحراري. $[m^2]$

C_{ph}: السعة الحرارية لوسيط التسخين. $\left[\frac{kJ}{kg.K}\right]$

C_{pc}: السعة الحرارية لوسيط التبريد. $\left[\frac{kJ}{kg.K}\right]$

ΔT_h.: فرق درجات حرارة وسيط التسخين.

ΔT_c: فرق درجات حرارة وسيط التبريد.

3-4-1-1 المبخرات: Evaporator's

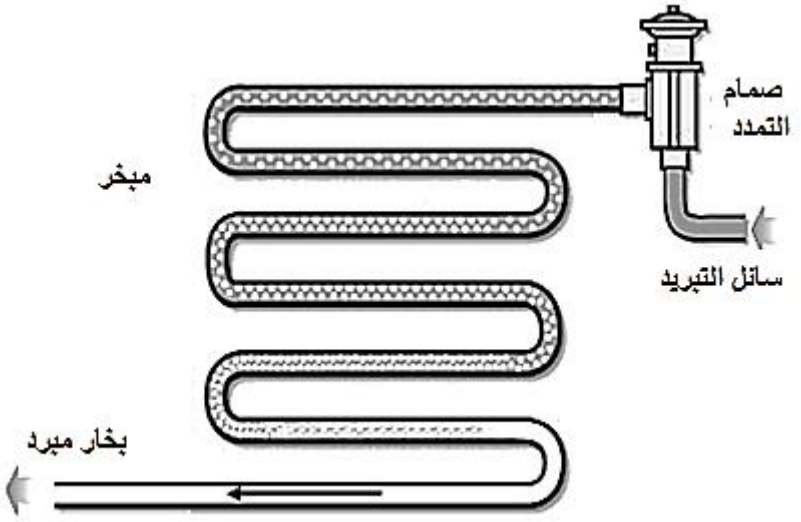
هي عبارة عن مبادلات حرارية وتميزها باستطاعتها التبريدية والتي تعبر عن معدل انتقال الحرارة من الوسط المراد تبريده إلى مائع التبريد. ويبين الشكل (3–14) مخطط رمزي للمبخر.

تحسب الاستطاعة التبريدية للمبخر بالعلاقة [14]:

$$Q_o = k.A_o.\Delta T_m \quad (3-14)$$

Q_o: الاستطاعة التبريدية للمبخر. [W]

A_o: مساحة السطح الخارجي للمبخر. $[m^2]$



الشكل (3−14) مخطط رمزي للمبخر في آلات التبريد الانضغاطية التقليدية

يبين الجدول (3−1) القيم التصميمية الحرارية لمبخر جاف (ذو أنابيب مريشة ذات زعانف).المستخدم للمقارنة في هذا البحث مع دارات التبريد التبخيري التجفيفي.

الجدول (3−1) القيم التصميمية الحرارية للمبخر الجاف [14]:

وسيط التبريد	الوسيط المبرد المنبع الحراري	سرعة الوسيط المبرد $\nu = m/s$	فرق درجات الحرارة اللوغاريتمي	درجة حرارة التبخر t_o°C	معامل الانتقال الحراري الكلي $\left[\frac{w}{m^2.K}\right]$
فريون	هواء	جريان حر 0.5 - 4	8-20 5-14	-10 -10	12 -20 20-45
	ماء	ماء ساكن 0.3 -0.5	7- 10 5-8	0 0	75 -95 150 -190
	محلول	ساكن 0.3 -0.5	7-10 5-8	-20 -20	60 -70 115 - 140

3−4−1−2 المكثفات: Condenser's

المكثف هو عبارة عن مبادل حراري تنتقل فيه الحرارة من وسيط التبريد الأعلى في درجة حرارته إلى المائع المحيط بوحدة التبريد المتوفر بكثرة كالهواء أو الماء. يتم بمساعدتها طرح الحرارة إلى الوسط الخارجي.

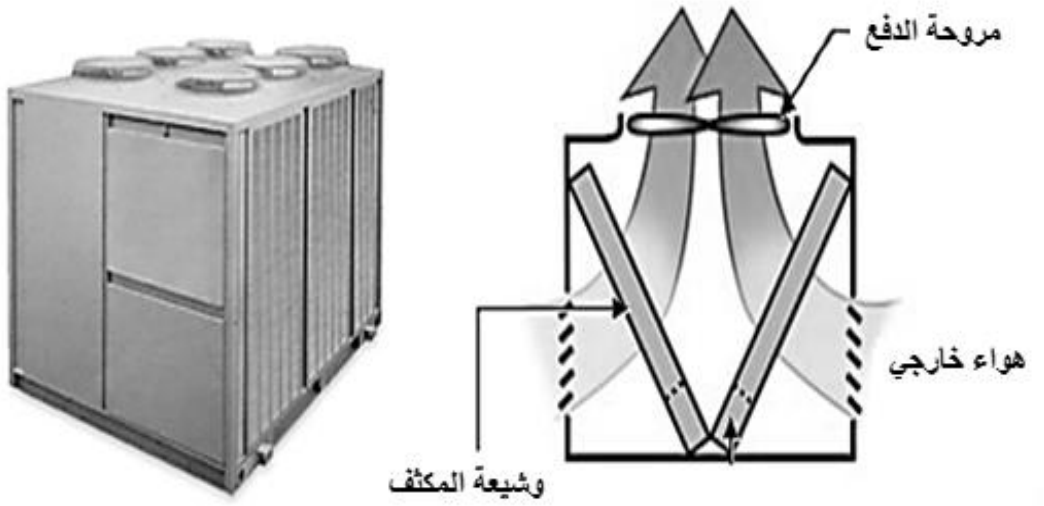
تتألف المكثفات الهوائية من أنابيب مريشة يتم تهويتها (تبريدها) قسرياً بوساطة مروحة. يبين الشكل (3−15) مكثف هوائي لآلة تبريد، حيث يدخل بخار وسيط التبريد عبر أنابيب المجمع ويخرج وسيط التبريد المتكاثف من المجمع. تتم تهوية السطح الخارجي للأنابيب بوساطة مروحة.

استطاعة المكثف: هي الحرارة المطروحة من خلال سطح المكثف وهي عبارة عن حمل التدفئة وتعطى استطاعة المكثف بالعلاقة التالية [14]:

$$\mathbf{Q_c = \dot{m}.\, c.\, \Delta t_m = k.\, A_i.\, \Delta t_m} \quad \mathbf{(3-15)}$$

$\dot{m}$: تدفق وسيط التبريد.

c: الحرارة النوعية لوسيط التبريد.



الشكل (3-15) مكثف هوائي لآلة تبريد الانضغاطية التقليدية

3-4-3 الضواغط: Compressor's

الضاغط هو قلب دارة التبريد الانضغاطية واهم أجزائها، ووظيفته الأساسية تحويل وسيط التبريد من غاز ذو ضغط منخفض إلى غاز ذو ضغط ودرجة حرارة عاليين. يوضح الشكل(3-16) مخطط رمزي لضاغط دارت التبريد الانضغاطية البخارية.

هناك عدة عوامل تؤثر على عمل الضاغط أهمها نسبة الانضغاط التي تحسب على إنها نسبة قيمة ضغط التكاثف إلى قيمة ضغط التبخر.

وتحسب نسبة الانضغاط بالعلاقة [14]:

$$\boldsymbol{\theta = \frac{P_c}{P_e}} \quad \mathbf{(3-16)}$$

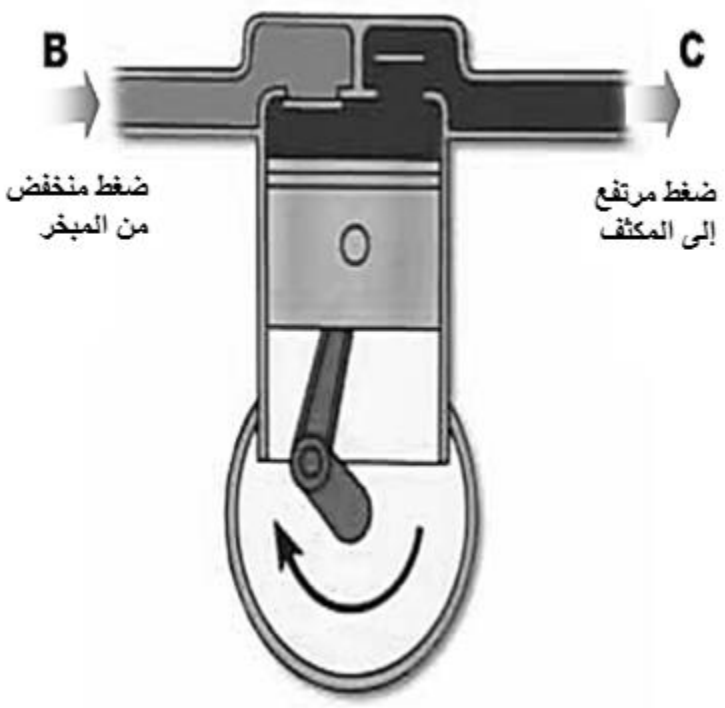
P_c: ضغط التكاثف. [kPa]

P_e: ضغط التبخر. [kPa]

كلما ازدادت نسبة الانضغاط انخفض معامل أداء الدارة.

تحسب استهلاك الطاقة الكهربائية للضاغط وفقاً للعلاقة التالية [14]:

$$P = h_2 - h_1 \quad (3-17)$$



الشكل(3-16) مخطط رمزي لضاغط دارة التبريد الانضغاطية البخارية

3-5 طرق توزيع الهواء في مصانع النسيج:

Air Diffusing Methods in The Textile Industries

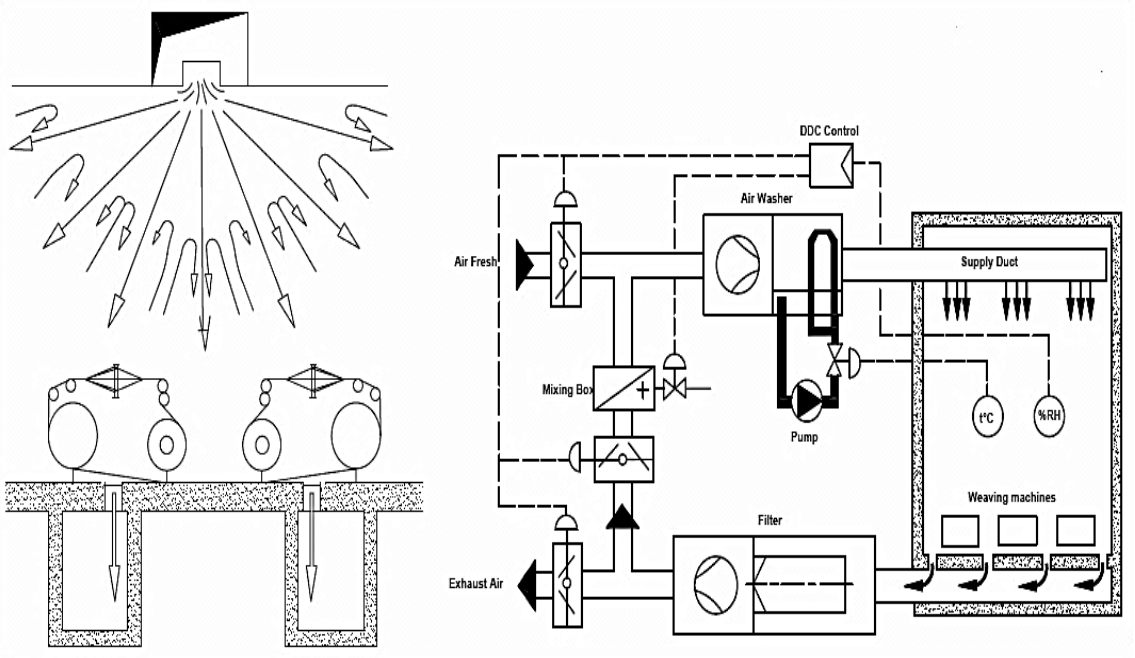
يجب المحافظة على الرطوبة النسبية في منطقة العمل بأفضل شكل، حيث إن ارتفاع الرطوبة النسبية يؤمن للخيوط المتانة والليونة الكافية للتصنيع مما يجنبها الانقطاع أثناء عملية النسيج. وأيضاً تخفيض كمية الغبار والزغبر الناتجة عن عملية التصنيع.

يجب المحافظة على درجة الحرارة الموصى بها، تجنب المحافظة على ثبات درجة حرارة المصنع تكاثف بخار الماء داخل صالة المصنع. وبالإضافة إلى ذلك يجب تنقية هواء التغذية في صالة المصنع من أجل المحافظة على أداء العاملين وكذلك أداء آلة النسيج.

3-5-1 الطريقة توزيع الهواء التقليدية: Classic Air Diffusing Method

يتألف النظام التكييف الهواء وفق طريقة توزيع الهواء التقليدية من غسالة هواء (مرطبة) – فلتر هواء السحب ومراوح السحب والدفع بالإضافة إلى بوابات التحكم بكمية الهواء ونظام التحكم بدرجة الحرارة والرطوبة النسبية.

تعمل هذه الطريقة بدفع هواء التغذية من السقف ويتم سحب الهواء الراجع من خلال مروحة السحب من الأسفل (أسفل الآلة – أرضية الصالة) إلى الفلتر وبعدها يطرد قسم من الهواء الراجع [13] كما هو مبين في الشكل (3–17). ويتم حساب الحمل الحراري في الصالة من خلال كامل حرارة محركات التشغيل – الإنارة – التسرب – الأشخاص وكمية الهواء اللازمة لكل آلة. وهذه الطريقة تحتاج إلى كمية كبيرة من الهواء.



الشكل (3–17) طريقة توزيع الهواء التقليدية في صالة النسيج

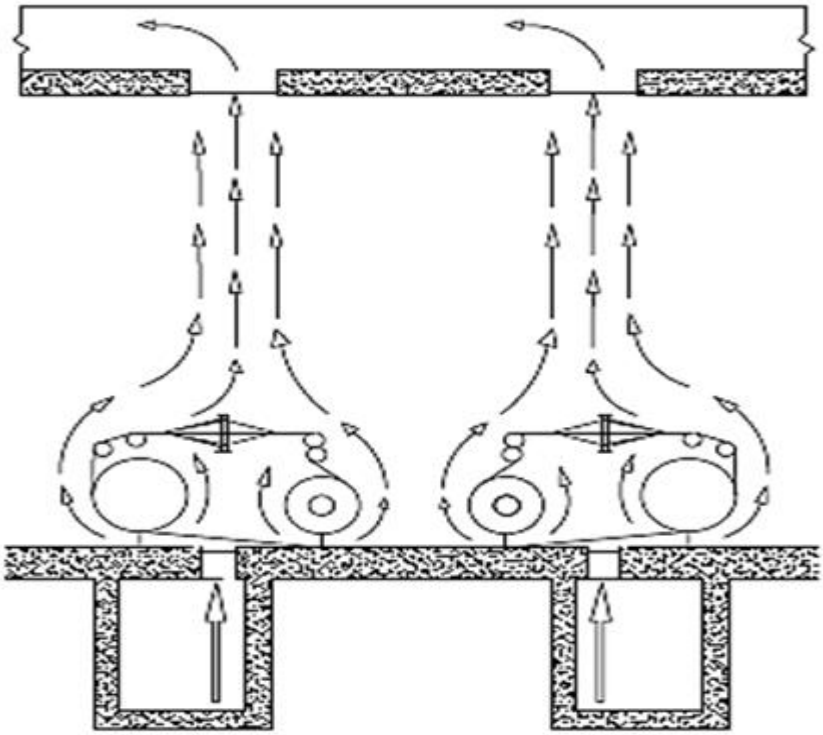
3–4–2 طريقة توزيع الهواء وفق مناطق العمل:

Air Diffusing Method According to The Working Space

تخفض هذه الطريقة تكاليف تشغيل أنظمة التكييف لآلات النسيج الحديثة، وتستخدم طريقة توزيع الهواء وفق مناطق العمل لتغذية الهواء لكل منطقة عمل آلة النسيج مباشرةً، ليتدفق الهواء من أسفل الآلة إلى الأعلى ماراً بآلة النسيج ويتم التحكم بتدفق الهواء حرارياً في الصالة.

تحسب الأحمال الحرارية كما هو معروف (حمل التسرب – التهوية – الإنارة .....إلخ) بالإضافة إلى حساب حمل التهوية (تبديل الهواء) من خلال رفع درجة حرارة حول الآلات. هذا يؤدي إلى درجة التحميل الحراري أقل من الواحد وبذلك من الممكن تخفيض كمية الهواء اللازمة بالمقارنة مع طريقة توزيع الهواء التقليدية حتى 50% – 30 [13].

يوضح الشكل (3–18) طريقة توزيع الهواء ذو المناطق الذي يوفر من التكاليف الاستثمارية والتشغيلية بشكل واضح وناجح.



الشكل (3–18) طريقة توزيع الهواء وفق مناطق العمل

إن تخفيض كمية هواء التغذية من فتحات أسفل الآلة يؤدي إلى طريق قصير للمنطقة العاملة. وتعمل مرطبة الهواء بشكل تلقائي اتوماتيكي عند ارتفاع طفيف بدرجة الحرارة حول محيط الآلة، ويمكن ثبات درجة الحرارة من خلال سحب الهواء من السقف وبشكل واضح بالمقارنة مع الطريقة التقليدية وذلك لأن كمية الهواء تمر عبر كامل الآلة طولاً وعرضاً، وكذلك تعمل مرطبة الهواء بفعاليتها على كامل مجال العمل وبشكل منتظم [13].

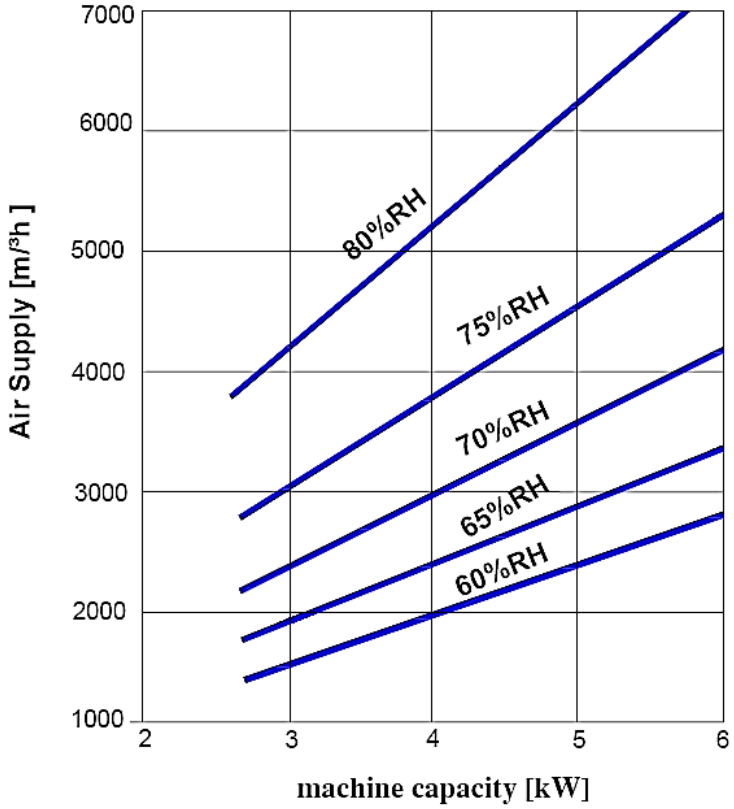
يتعلق التدفق الحجمي بالحمل التبريدي وغالباً يفوق الاستطاعة المطلوبة للآلة ولكن أيضاً يتعلق بحمل الإنارة والتسرب والهواء المحسوب ويعطي الشكل (3–19) كمية تدفق الهواء اللازمة والرطوبة النسبية للهواء وفقاً لاستطاعة الآلة.

محاسن هذه الطريقة:

- توفير في التكاليف الاستثمارية والطاقية والمكانية
- نوعية أفضل في الإنتاج (في عمليات إنهاء التشغيل).

مساوئها:

- تجمع الغبار والزغبر على الأرض وبالتالي يجب عملية التنظيف الدائم للصالة.
- غير صحية من اجل العاملين في الصالة.



الشكل (3-19) كمية الهواء اللازمة والرطوبة النسبية وفقاً لاستطاعة الآلة [13]

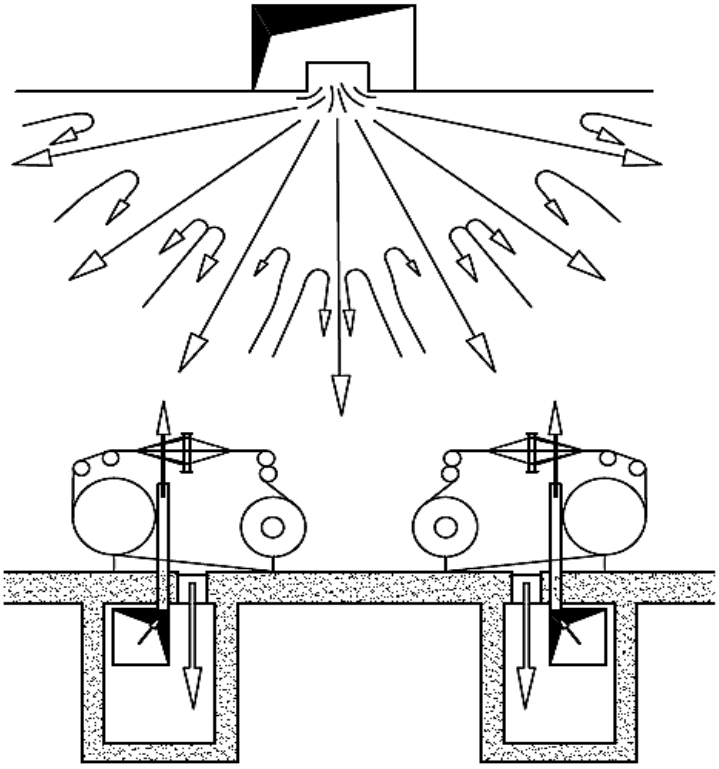
3-4-3 طريقة توزيع الهواء المشتركة: Combined Air Diffusing Method

هي عبارة عن دمج الطريقة توزيع الهواء التقليدية وطريقة توزيع الهواء وفق مناطق العمل كما مبين في الشكل (3-20). ونلاحظ بأن جزء من هواء التغذية يدخل مباشرةً إلى الصالة بينما الجزء المتبقي يدخل من خلال نظام توزيع الهواء من أسفل آلة النسيج (الأنوال مثلاً) مباشرةً إلى المنطقة العاملة (الصالة) وبذلك ينتج تخفيض كمية الهواء اللازمة حتى 65% بالمقارنة مع الطريقة التقليدية، حيث يوجد أيضاً محطتين منفصلتين لمعالجة هواء التغذية وبالطبع نظام الهواء الراجع [13].

يمكن الحصول على النتائج التالية وفق وطريقة توزيع الهواء المشتركة:

- الرطوبة النسبية RH 75% في الأماكن المخصصة للخيوط.
- الرطوبة النسبية فقط RH 55% في الصالة.
- تخفيض كمية الهواء المطرود من خلال فتحات أرضية داخل الآلة.
- تحسين إزالة الغبار والزغبر.

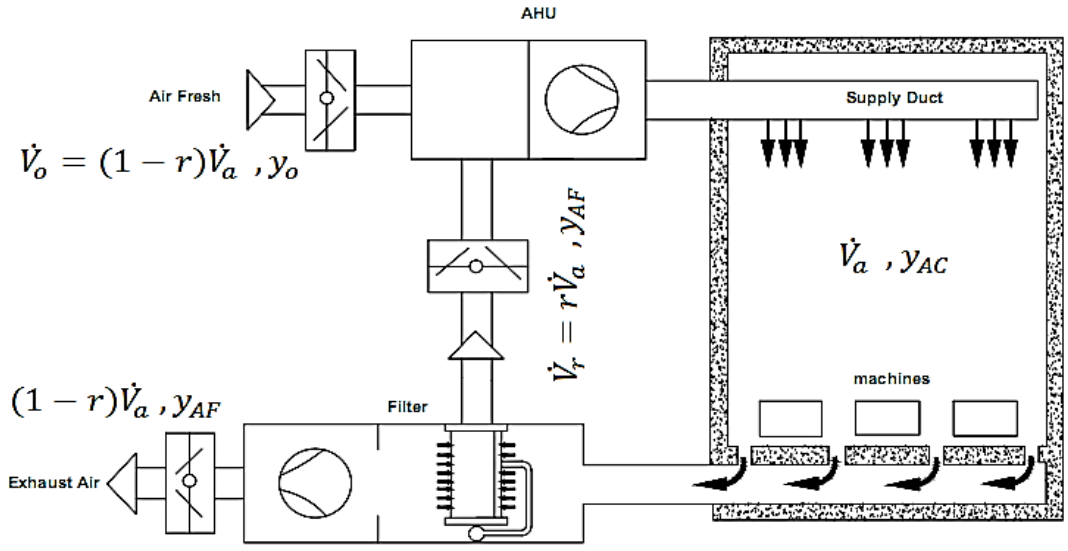
يناسب هذه الطريقة بشكل خاص تجديد وإعادة بناء المعامل المبنية [13].



الشكل (3–20) طريقة توزيع الهواء المشتركة [13]

3–6 التهوية في الصناعات النسيجية: Ventilation in Textile Industries

يتألف نظام التهوية في مصانع النسيج من شبكتين الأولى لدفع الهواء المعالج وتوزيعه داخل الصالة الإنتاجية، والثانية لسحب الهواء من الصالة حيث يقسم إلى قسمين هواء يتم طرده ويسمى هواء مطرود وقسم يعاد تدويره ويسمى هواء إعادة التدوير كما مبين في الشكل (3–21) المخطط الرمزي لنظام التهوية في صالة نسيج.



الشكل (3–21) المخطط الرمزي لدارة التهوية في صالة نسيج [28]

يمكن مزج هواء إعادة التدوير مع الهواء الجديد بعد تصفية كل منهما وبالنسبة اللازمة، ثم معالجة المزيج تسخيناً أو تبريداً ودفعه لتغذية الصالة بهواء ذو مواصفات مناسبة.

3-6-1 أنواع انبعاثات العمليات الإنتاجية:

Emissions Types of Productivity Process

تنبعث مجموعة من الغازات والأبخرة الضارة بصحة الإنسان في هواء العمليات الإنتاجية، وتترافق الانبعاث كميات كبيرة من الحرارة والرطوبة والغبار في بعض العمليات الإنتاجية وبالتالي ارتفاع الحرارة والرطوبة والتلوث في مكان العمل. ويتغير التركيب الكيميائي والحالة الفيزيائية للهواء ويتسبب بإفساد جو العمل ما ينعكس سلباً على إنتاجية العمال وجودة المنتج.

تتخذ التهوية مجموعة إجراءات للحفاظ على نظافة الهواء وتنظيم حركته داخل المنشأة. ويتم من خلال إدخال كمية من الهواء الجديد في عملية التهوية ليكفي حاجة الأشخاص وحاجة العملية الإنتاجية داخل الصالة الإنتاجية.

تؤمن أنظمة التهوية هواءً نظيفاً للعاملين، وإبقاء محتوى الغازات الضارة والغبار والأبخرة ضمن الحدود الدنيا المسموح بها أو دون التركيز الحدي المسموح به لهذه المركبة y_{AC} [28].

3-6-1-1 الغازات والسوائل السامة: Gas's and Toxic Liquids

إن أكثر الانبعاثات السامة في المنشآت الصناعات النسيجية تحصل في أقسام المعالجة الكيميائية والصباغ وإنتاج الألياف والخيوط الصناعية. وأهم الانبعاثات الغازية في هذه المنشآت مبينة الجدول (3-2) والتركيز الحدي المسموح بها.

الجدول (3-2) التركيز الحدي المسموح به لبعض الغازات والبخرة الضارة [28]:

اسم المادة	التركيز الحدي mg/m^3	اسم المادة	التركيز الحدي mg/m^3
أول أكسيد الكربون	20	ثاني أكسيد الكربون	20000
حمض الكبريت	2	الكلور	0.1
كبريت الكربون	1	غبار النسيج	2
الفينول	5	كبريت الهيدروجين	10
غبار غير سام	10	حمض كلور الماء	0.3

3-6-1-2 الانبعاثات الحرارية والرطوبة: Thermic Emissions and Moisture

تحصل الانبعاثات الحرارية في معظم العمليات الإنتاجية نتيجة لاحتكاك عناصر الآلات وتتحول

كامل الاستطاعة الكهربائية للآلات إلى طاقة حرارية مما يرفع درجة الحرارة بشكل كبير. وعندما يترافق ذلك بانبعاث كمية من الرطوبة تكون النتيجة أسوء. ويتطلب هذا مجموعة من الإجراءات تشمل تنقية الهواء وتأمين الهواء الجديد والحفاظ على درجة الحرارة ورطوبة مناسبتين وتامين حركة هواء مناسبة داخل المنشأة.

3-6-2 تحديد كمية الهواء في التهوية:

Definition An Air Quantity in The Ventilation

يتم حساب تدفق الهواء الجديد انطلاقاً من كمية الملوثات المنبعثة في مكان العمل. والتدفق اللازم للتغلب على تأثير إحدى الملوثات يحمل اسمها بالتحديد (مثلاً تدفق أكاسيد الآزوت أو أول أكسيد الكربون أو...). ولتحديد التدفق بملوثة معينة نستخدم العلاقة التالية [28]:

$$\dot{V}_a = \frac{\Psi \chi \dot{m}}{y_{AC} - y_o} \qquad (3-18)$$

Ψ: معامل طبيعة الملوثة وطبيعة انتشارها وتأخذ القيم: $0.8 \leq \Psi \leq 1$

χ: معامل عدم انتظام انبعاث الملوثة وطبيعة العملية الإنتاجية. $0.8 \leq \chi \leq 1$

$\dot{m}$: معدل انبعاث الملوثة في الصالة $\left[\frac{g}{h}\right]$

y_o: تركيز الملوثة في الهواء الجديد. $\left[\frac{g}{m^3}\right]$

y_{AC}: التركيز الحدي المسموح به للملوثة. $\left[\frac{g}{m^3}\right]$

عندما يكون هناك عدة انبعاثات معاً فإن تدفق الهواء اللازم يحسب على أساس الملوثة التي تحتاج أكبر تدفق. وعندما يكون تأثير الملوثات مشترك على جسم الإنسان فإن التدفق اللازم يحسب على أساس مجموع التدفقات اللازمة للتغلب على كل ملوثة على حدى.

كمية تدفق الهواء [28] :

$$\dot{V}_a = \frac{3.6\, Q_s + \dot{m}_{mR} h_{mR}}{\rho (h_r - h_s)} \qquad (3-19)$$

Q_s: الحمل التبريدي المحسوس في المكان.[W]

$\dot{m}_{mR}$: كتلة الرطوبة المنطلقة في واحدة الزمن.$\left[\frac{kg}{h}\right]$

h_{mR}: انتالبي البخار المنطلق.$\left[\frac{kJ}{h}\right]$

h_r: انتالبي الهواء الداخلي.$\left[\frac{kJ}{h}\right]$

h_s: انتالبي هواء التغذية.$\left[\frac{kJ}{h}\right]$

إذا كان الانبعاث على شكل رطوبة فقط أو حمل تبريدي كامن فقط يحسب التدفق من العلاقة :[28]

$$\dot{V}_a = \frac{\dot{m}_{mR}}{\rho(w_r - w_s)} \qquad (3-20)$$

w_r , w_s: نسبة الرطوبة للهواء الداخلي وهواء التغذية. $\left[\frac{kg}{kg}\right]$

3-6-3 تنقية الهواء من الملوثات: Air Cleaning from The Pollutions

3-6-3-1 الهواء الملوث: An Air Polluter

يمثل الهواء الملوث جلمة ثنائية الطور نسميها الجملة الانتثارية وتتألف من:

- **طور غازي:** عبارة عن هواء نقي بشكل رئيسي وكمية من الملوثات الغازية ويسمى هذا الطور الوسط الناثر.
- **طور صلب:** عبارة عن كمية من الجزيئات الصلبة أو السائلة العالقة في الهواء والعائمة بشكل حر ويسمى هذا الطور الوسط المنتثر.

3-6-3-2 غبار النسيج: The Textile Dust

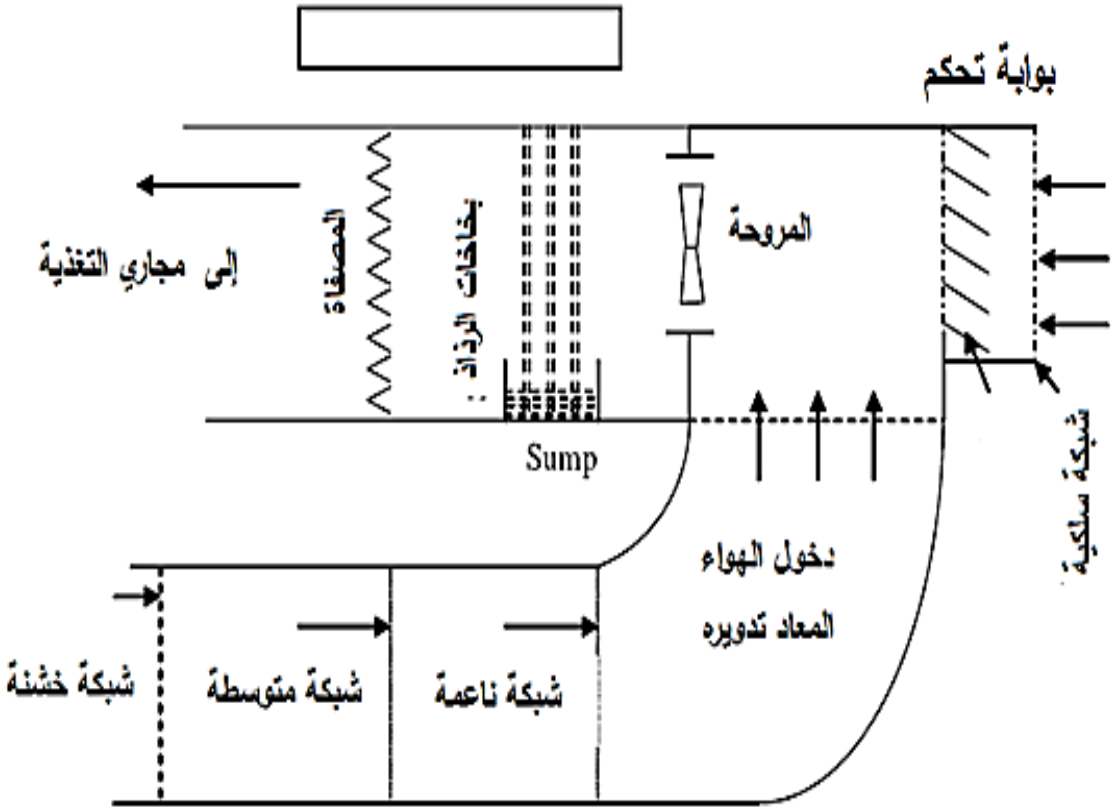
تتميز جزئيات غبار النسيج ببعدين هندسيين الطول والقطر ومن الثابت أن مجال تغير قطر هذه الجزيئات يعتبر صغيراً جداً $5\ \mu m \leq d \leq 15\ \mu m$ ويضيق هذا المجال كثيراً عند الحديث عن عملية تكنولوجية محددة مما يسهل اعتبار أن $d = const$، لذلك البعد المحدد لنوع الجزيئات هو الطول. ويتميز غبار النسيج بكثافته المنخفضة، فالجزئيات الصلبة المعدنية والملحية وغيرها ذات الأبعاد التي تتجاوز $100\ \mu m$ لا تعتبر عالقة وغالباً ترسو وتتراكم إلى الأسفل. أما الألياف النسيجية حتى طول عدة مليمترات تبقى عائمة في الهواء لفترات طويلة. وغبار النسيج متعدد الانتثار متوسط طول جزيئاته يقع في المجال $10 - 60\ \mu m$ وقلما توجد جزيئات اقل من $3\ \mu m$. أما الجزيئات ذات الطول الأكبر من $5\ mm$ فتسمى ألياف ولا تنتمي إلى تصنيف الغبار [28]. والوسط الناثر في الصناعات النسيجية هو الهواء ذو الرطوبة النسبية المرتفعة $65 - 85\%\ RH$ مما يسهل عملية ترسيب الغبار على السطوح التي تلامسها ليشكل طبقة متماسكة مرنة كتيمة لنفاذ الهواء وبسماكة $[mm]\ 5 - 1$ وكثافة $\left[\frac{kg}{m^3}\right]\ 1 - 0.4$. ويتألف غبار النسيج من حوالي 80% مركبات عضوية و 10% مركبات معدنية و 10% رطوبة ويبلغ التركيز الحدي المسموح به $y_{AC} = 2\ mg/m^3$ [28].

3-6-4 أنواع فلاتر تنظيف الهواء: Air Cleaning and Filters Types

تركب الفلاتر والمصافي على طريق تيار هواء التغذية لمنع المواد الغير مرغوبة من العبور مع هواء التغذية التي تضر بالأجهزة وجودة الهواء وتقسم إلى:

3-6-4-1 الفلاتر المسطحة: The Flat Filters

تركب شبكات مختلفة الأحجام في مجاري هواء الرجوع بشكل متتابع فالشبكة الأولى تكون خشنة التي تمنع الجزئيات والكتل الثقيلة من الغبار والألياف من الدخول إلى حجرة المزج بينما الشبكات التالية تحد من تدفق جزئيات الغبار الصغيرة والدقيقة كما هو مبين في الشكل (3-22). يجب تنقية الهواء قبل دخوله إلى وحدات معالجة الهواء ليعطي الفعالية العظمى لأداء وحدات المعالجة.

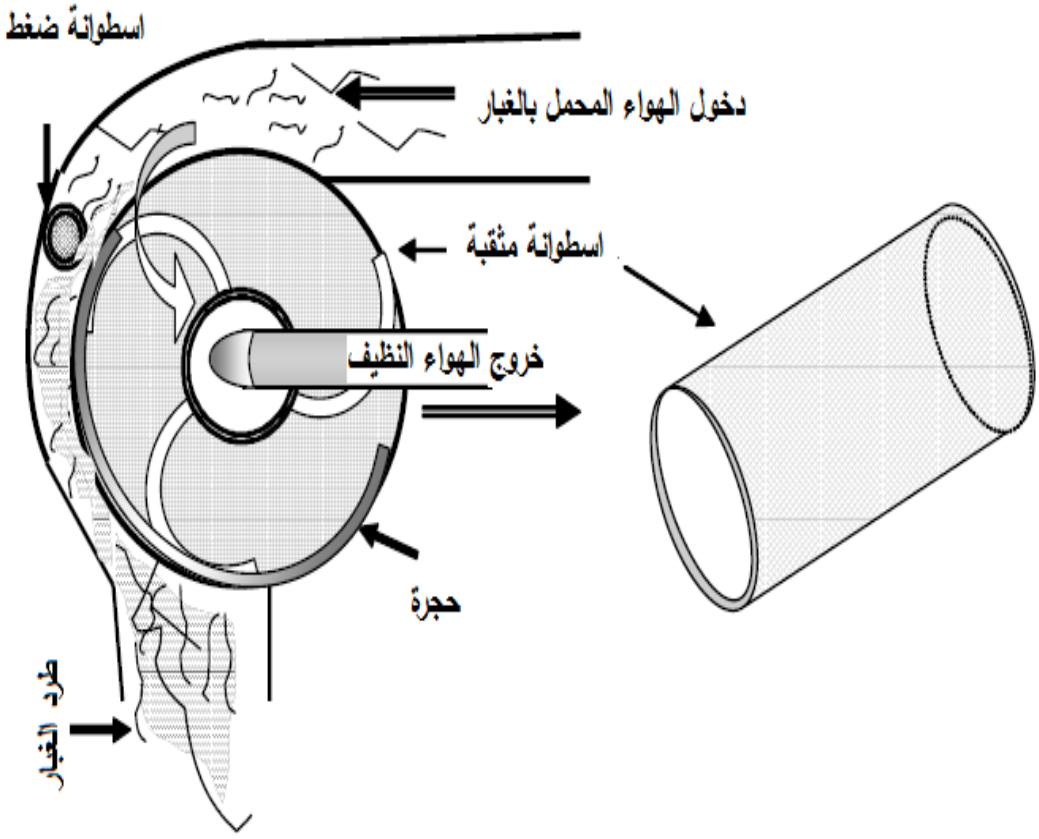


الشكل (3-22) نظام فلترة وتنظيف هواء الرجوع [15]

3-6-4-2 فلاتر الهواء الدوارة: Rotary Air Filters

نحصل على تنظيف مستمر في الفلاتر الدوارة وكفاءة أفضل، ومبدأ العمل يشابه المكثف المستعمل في تغذية حجرة خلط القطن في قسم الفتح والتنظيف كما هو مبين في الشكل(3-23). حيث أن الهواء المحمل بالغبار يسحب بوساطة المروحة والهواء في طريقه يصطدم بأسطوانة

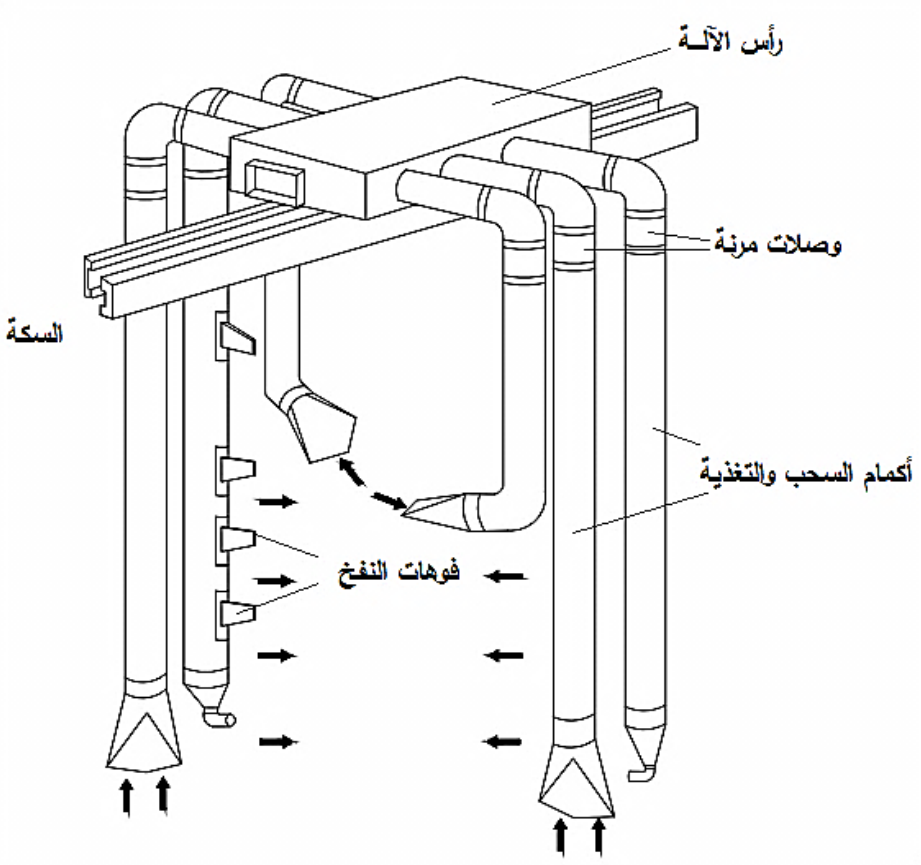
دوارة مثقبة مغطية بطبقة قماش ويسحب الهواء يكون من جانب القفص ويدفع خارجها وقماش الفلتر يسمح فقط للهواء النظيف ان يمر من خلال الأسطوانة الدوارة والزغبر يتجمع على قماش الفلتر ويسحب خارجاً بوساطة فتحة نصف دائرية تمنع الزغبر من التمسك بالأسطوانة الدوارة وبخلخلة حركة الهواء.



الشكل (3-23) فلتر الهواء الدوار [28]

3-6-4-3 أجهزة التنظيف المحلية: Local Air Cleaning Davies

تصمم هذه الأجهزة لتؤمن تدوير مكاني للهواء حيث يدفع الهواء من فتحات التهوية إلى أماكن وزوايا تواجد الغبار أو تجمع الغبار ويوجهه إلى فتحات السحب كما هو مبين في الشكل (3-24). توجد مروحة في رأس الجهاز بتدفق حوالي $\left[\frac{m^3}{h}\right]$ 1500 وفلتر قماشي. ويمتص الجهاز الهواء الملوث عبر الأكمام بعد تنظيفه، ثم يدفعه بوساطة الأكمام عبر النفاثات. ويتم تحريك الجهاز بوساطة محرك كهربائي وآلية نقل الحركة بشكل مستمر على السكك.



الشكل (3–24) جهاز التنظيف المحلي في آلات الغزل والنسيج

3–6–5 فعالية تنقية الهواء: Air Cleaning Effectiveness

يتم تقييم فعالية تنقية الهواء من خلال نسبة تركيز الغبار المصفى في واحدة التدفق إلى تركيز الغبار في الهواء المسحوب وتُمثل هذه النسبة أيضاً مردود نظام التنقية أو الفلتر [28]:

$$\eta = \frac{y_F}{y_R} \times 100 = \left(1 - \frac{y_{AF}}{y_R}\right) 100 \qquad (3-21)$$

η: مردود الفلتر.

y_F: تركيز الغبار المنتزع في واحدة التدفق. $\left[\frac{mg}{m^3}\right]$

y_R: تركيز الغبار في الهواء المسحوب. $\left[\frac{mg}{m^3}\right]$

y_{AF}: تركيز الغبار في الهواء بعد الفلترة. $\left[\frac{mg}{m^3}\right]$

الفصل الرابع

تطبيق التبريد التبخيري التجفيفي في الصناعات النسيجية

Appliance of Desiccant Evaporative Cooling in The Textile Industries

الفصل الرابع

تطبيق التبريد التبخيري التجفيفي في الصناعات النسيجية

Appliance of Desiccant Evaporative Cooling in The Textile Industries

4-1 مقدمة: Introduction

إن صناعة التبريد وتكييف الهواء من أكثر الصناعات استهلاكاً للطاقة الكهربائية، فهي تساهم بشكل كبير في استنفاذ مصادر الطاقة وازدياد التلوث البيئي، كل هذه الأمور دفعت باتجاه تطوير تقنيات تكييف الهواء لتخفيض استهلاك الطاقة. ويعتبر التبريد التبخيري التجفيفي من تلك التقنيات مما له من ميزات تميزه عن باقي تقنيات تكييف الهواء الأخرى [16]:

- فعالية كبيرة من حيث استهلاك الطاقة.
- انعدام الضرر البيئي لاستخدامه الماء والهواء كوسيط للتبريد بدلاً من وسائط التبريد التقليدية الضارة بالبيئة.
- يغذي الأبنية بكميات أكبر من الهواء الجديد النقي.
- يعمل عند ضغوط قريبة من الضغط الجوي، أي أنها ذات تكاليف إصلاح وتركيب منخفضة.

يقدم التبريد التبخيري تبريداً وتهوية أكبر مع استهلاك طاقة أقل بالمقارنة مع التبريد الانضغاطي ويناسب المناطق ذات المناخ الحار والجاف، ولكن يمكن استعماله في المناطق ذات المناخ الرطب [16].

4-2 التبريد التبخيري: Evaporative Cooling

التبريد التبخيري هو عملية نزع الحرارة عن طريق تبخر الماء، ويقسم التبريد التبخيري إلى ثلاثة أنواع:

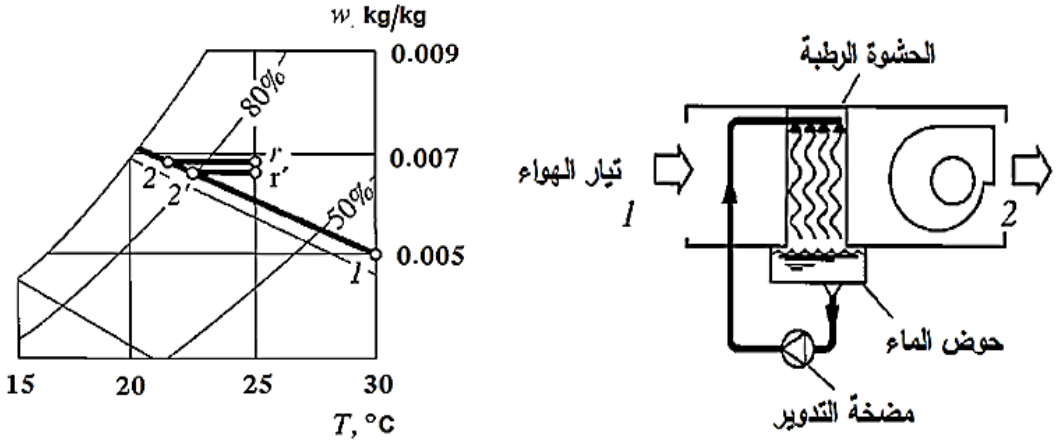
1- التبريد التبخيري المباشر. Direct Evaporative Cooling (DEC)

2- التبريد التبخيري غير المباشر. Indirect Evaporative Cooling (IEC)

3- التبريد التبخيري المختلط. Indirect and Direct Evaporative Cooling (IDEC).

4-2-1 التبريد التبخيري المباشر: Direct Evaporative Cooling (DEC)

يتم تبادل الحرارة والكتلة بين الهواء والماء في التبريد التبخيري المباشر (DEC) من خلال تلامس الهواء مع الماء بشكل مباشر باستخدام مادة مرطبة بالماء تدعى حشوة المبرد التبخيري أو باستخدام بخاخات رذاذ الماء، حيث نقوم برش الماء فوق حشوة المبرد التبخيري المسحوب من حوض تجميع الماء من خلال رأس التوزيع، فينساب من خلال حشوة المبرد التبخيري ويعود إلى حوض التجميع تحت تأثير الثقالة كما هو مبين في الشكل (4-1). ويُدفع الهواء الخارجي بوساطة مروحة الهواء عبر الحشوة فيتم التبادل الحراري والكتلي بين الهواء والماء [15].



الشكل(4-1) نظام التبريد التبخيري المباشر وتمثيله على المخطط البسايكرومتري [15]

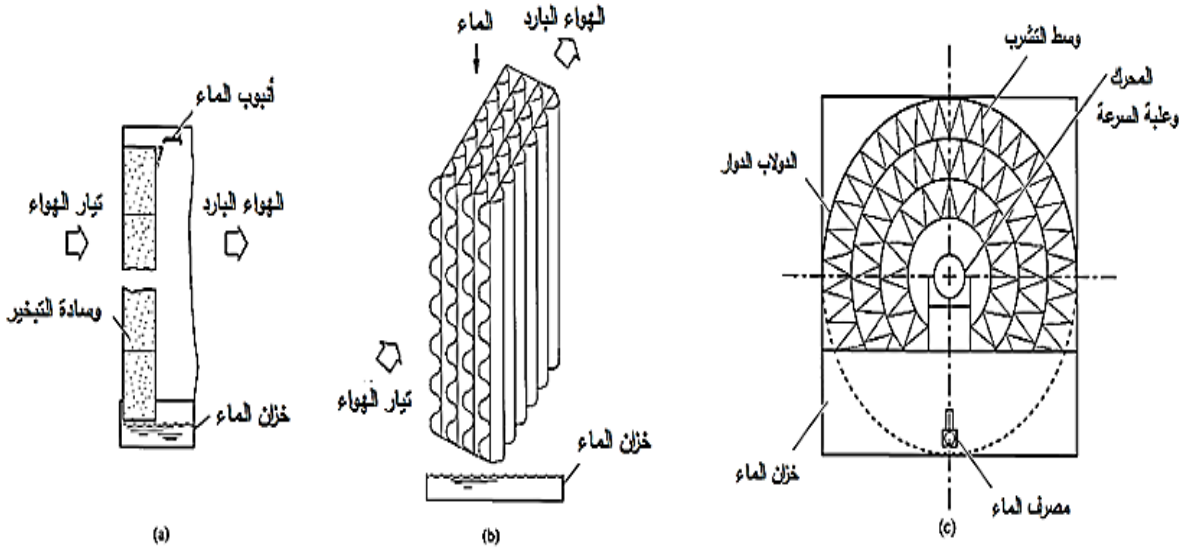
يعتمد مبدأ التبريد التبخيري المباشر على تخفيض درجة حرارة الهواء الجافة من خلال تبخير الماء، وبما أن العملية أديباتية تبقى درجة حرارته الرطبة ثابتة تقريباً مع زيادة نسبة الرطوبة (w) ويمكن التحكم بدرجة حرارة ورطوبة هواء التغذية عن طريق التحكم بكمية تدفق الماء [17].

تصنف المبردات التبخيرية المباشرة وفقاً لخصائص وسيط الترطيب كالتالي:

- **غسالة الهواء** أو حجرة رش الماء.
- **الوسائد التبخيرية:** Evaporative pads تصنع من الألياف السيللوزية بسماكة [mm] 50 ومعالجة بطرق كيميائية لزيادة الترطيب ومنع نمو الكائنات الدقيقة الحية وتتطلب سرعة دخول الهواء منخفضة نسبياً ومزودة بمروحة طرد مركزية من ثلاثة جوانب لزيادة مساحة سطح التبادل كما مبين في الشكل (4-2 a).
- **الصفائح القاسية:** Rigid media هي عبارة عن صفائح متموجة صلبة من البلاستيك الممزوج مع السيللوز أو الألياف الزجاجية يتدفق الهواء والماء في ترتيب محدد، حيث

توجد قنوات أفقية لتدفق تيار الهواء وقنوات شاقولية لتدفق الماء كما موضحة في الشكل (b 2-4).

- **الدولاب الدوار:** Rotary wheel هو عبارة عن دولاب مصنوع من مادة مقاومة للصدأ مثل البلاستيك أو السيللوز أو الألياف الزجاجية أو خلائط النحاس كما مبين في الشكل (c 2-4). وعمق الدولاب على طول اتجاه تيار الهواء من [mm] 400 – 150 ويقاد الدولاب بسرعة دورانية بطيئة من rpm 2 – 1 وأسفل الدولاب مغمور بخزان ماء [15].



الشكل(4-2) أنواع المبردات التبخيرية المباشرة: (a)- الوسائد التبخيرية (b)- الصفائح الصلبة المتموجة (c)- الدولاب الدوار [15]

يُقيم أداء التبريد التبخيري المباشر باستخدام كفاءة الإشباع المبينة بالعلاقة [15]:

$$\boldsymbol{\varepsilon_{set} = \frac{t_o - t_{ś}}{t_o - t^*_{w,o}} \quad (4-1)}$$

t_o: درجة حرارة الهواء قبل دخوله المبرد التبخيري. °C

$t_{ś}$: درجة حرارة الهواء بعد خروجه من المبرد التبخيري. °C

$t^*_{w,o}$: درجة الحرارة الرطبة للهواء قبل دخوله المبرد التبخيري. °C

تعتمد كفاءة الإشباع على عدة عوامل:

- سرعة دخول الهواء المبرد التبخيري $v_a \left[\frac{m}{s}\right]$.
- نسبة تدفق الماء إلى تدفق الهواء $\frac{\dot{m}_w}{\dot{m}_a}$.
- شكل سطح الترطيب.

يتراوح مردود المبرد التبخيري المباشر بين %(85-95) يتعلق بسرعة الهواء ومواصفات حشوة المبرد التبخيري [17].

يعطى حمل التبريد التبخيري المباشر $Q_{ev,c}[W]$ بالعلاقة [15]:

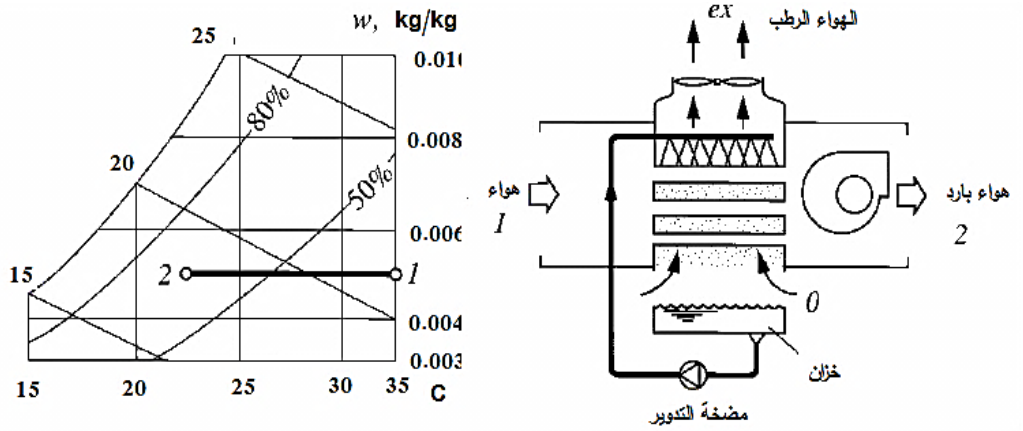
$$\mathbf{Q_{ev,c} = \nu_a\, A_a\, \rho_a\, C_a(t_o - t_{\acute{s}})} \qquad \mathbf{(4-2)}$$

A_a: مساحة سطح التبادل في المبرد التبخيري المباشر. $[m^2]$

4-2-2 التبريد التبخيري غير المباشر: Indirect Evaporative Cooling (IEC)

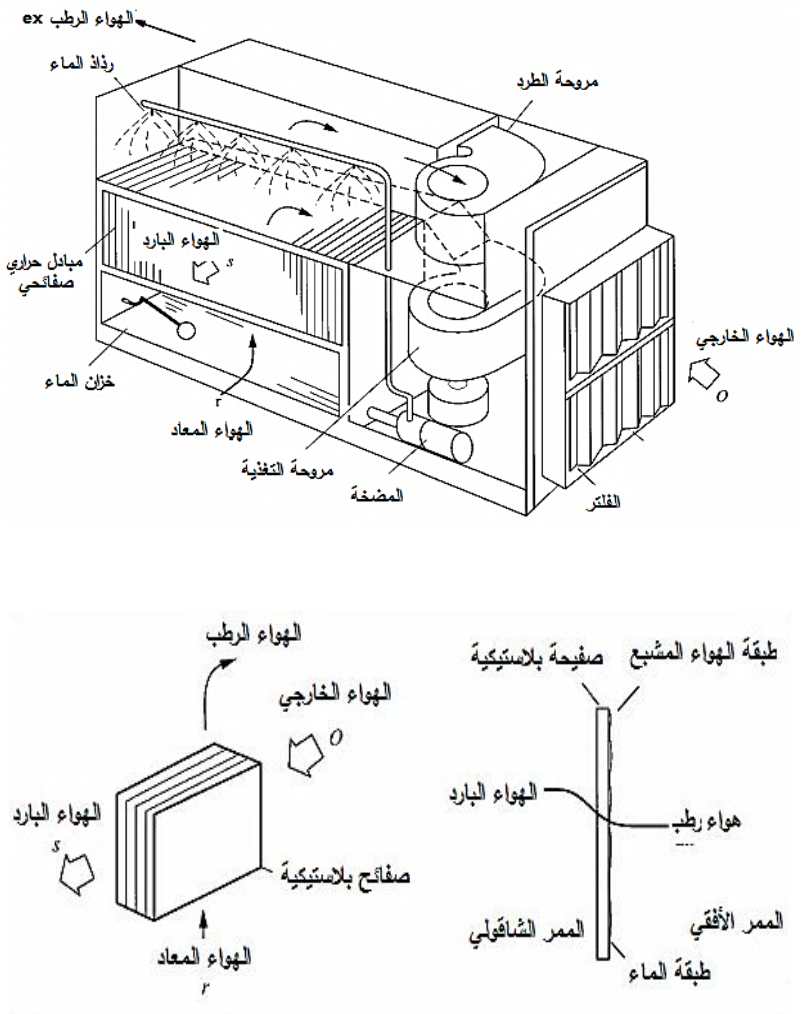
يعتمد التبريد التبخيري غير المباشر على تبريد هواء التغذية عن طريق التبادل الحراري مع تيار هواء ثانوي مبرد بوساطة التبريد التبخيري المباشر (الهواء الراجع من الحيز المكيف أو الهواء الخارجي) فتنخفض درجة حرارته الجافة والرطبة بينما تبقى نسبة الرطوبة ثابتة [17].

يوجد طريقتين لتبريد التبخيري غير المباشر بشكل عام، تتضمن الطريقة الأولى استخدام مبادل حراري أنبوبي أو صفائحي يدعى المبادل الحراري الرطب Wet Exchanger، حيث يتم بخ الماء بشكل مباشر في مجاري تيار الهواء الثانوي بينما تكون مجاري هواء التغذية جافة ويكون نظام الجريان متعامد عادةً كما مبين في الشكل (4-3). وأما الطريقة الثانية فيتم الجمع بين مبرد تبخيري مباشر ومبادل حراري كما مبين في الشكل (4-4) [17].

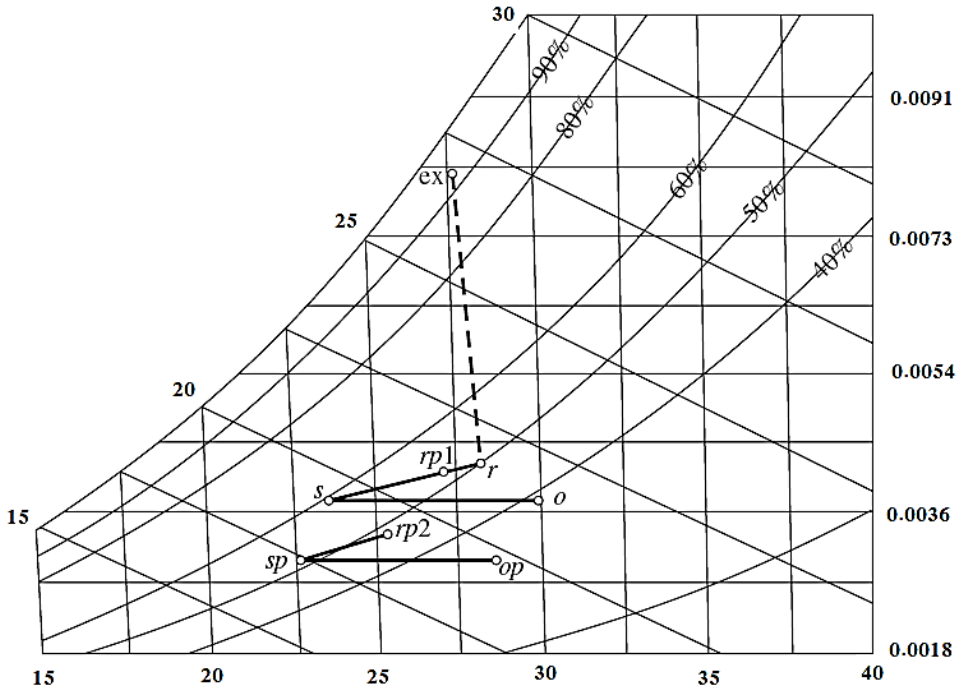


الشكل(4-3) نظام التبريد التبخيري غير المباشر وتمثيله على المخطط البسايكرومتري [19]

يبين الشكل (4-4) المبرد التبخيري غير المباشر، والمكونات الأساسية لهذه المبرد هي: مبادل حراري صفائحي، بخاخ ماء، نظام إعادة التدوير، مروحة سحب الهواء الخارجي مع فلتر، مروحة التغذية والطرد مرتبطة بنفس المحور العمودي، غلاف خارجي مع طبقة من الألياف الزجاجية لمقاومة التآكل. ويبين الشكل (4-5) عملية تمثيل التبريد التبخيري غير المباشر على المخطط البسايكرومتري.



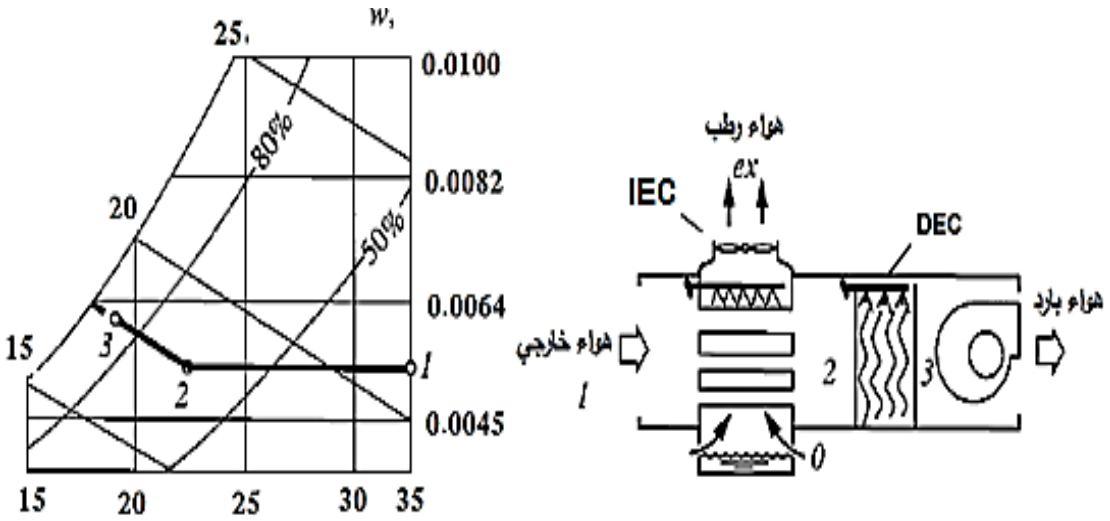
الشكل (4-4) المخطط التوضيحي لأنواع المبردات التبخيرية غير المباشرة [15]



الشكل (4-5) عملية تمثيل التبريد التبخيري غير المباشر على المخطط البسايكرومتري [19]

4-2-3 التبريد التبخيري المختلط: Indirect and Direct Evaporative Cooling (IDEC)

جمع التبريد التبخيري المختلط نوعي التبريد التبخيري المباشر وغير المباشر كما هو مبين في الشكل (4-6)، ويمكن خفض درجة حرارة هواء التغذية باستخدام التبريد التبخيري المختلط بشكل أكبر من التبريد التبخيري المباشر وغير المباشر مما يعني قابليته للعمل في الأجواء الأكثر رطوبة [17].



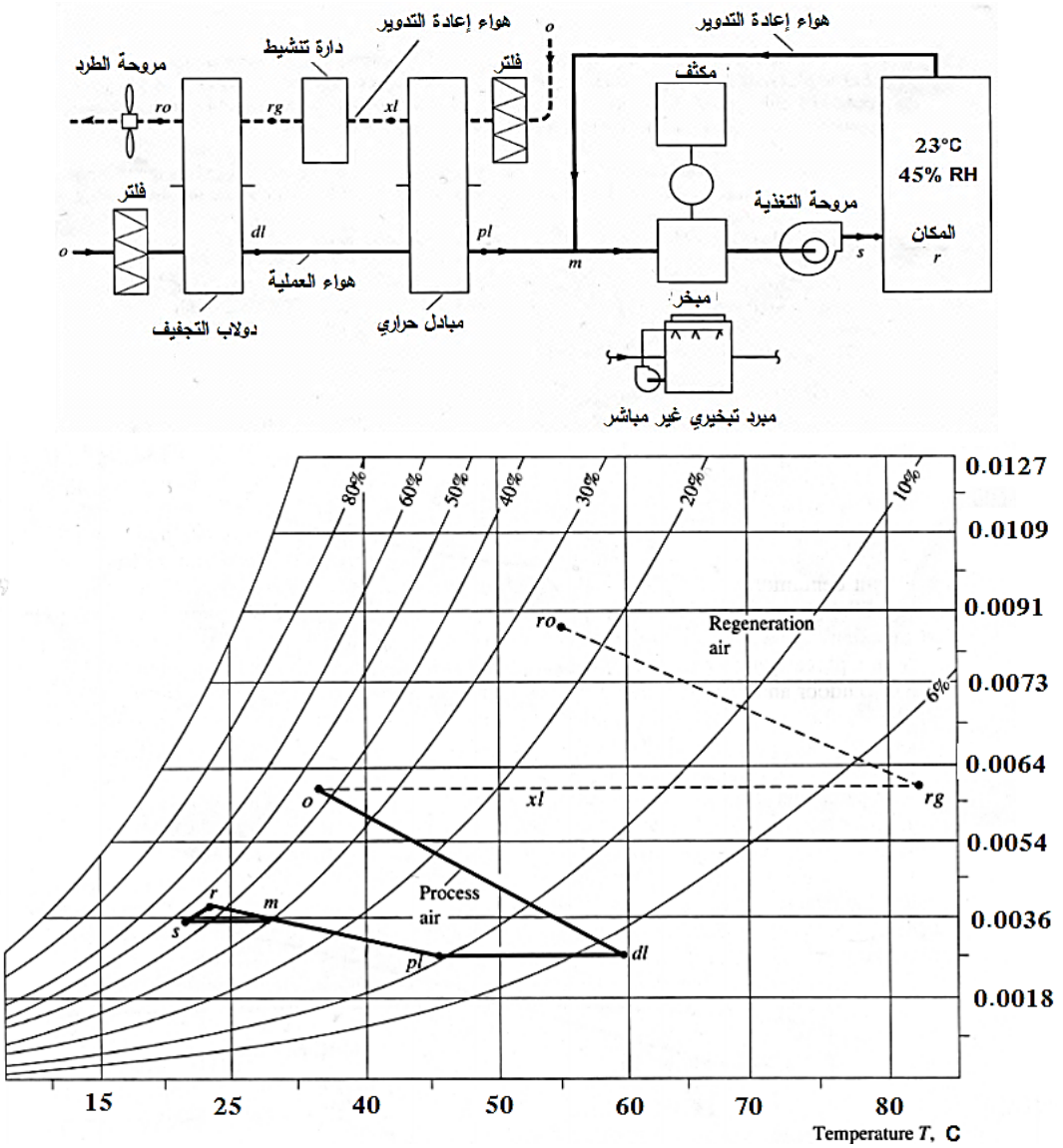
الشكل (4-6) نظام التبريد التبخيري المختلط وتمثيله على المخطط البسايكرومتري [19]

4-3 التبريد التجفيفي: Desiccant Cooling

تحتوي دارات تكييف الهواء التجفيفية النموذجية على المجفف الدوار والمبادل الحراري، ويمكن أن يكون من النوع الدوار أو من نوع الأنابيب الحرارية، المبردات التبخيرية، وحدة التبريد الانضغاطية ذات ضواغط من النوع مكبسي أو حلزوني مع وشيعة تبريد تعمل على الماء، مسخن هواء، المراوح، المضخات، أجهزة التحكم، الغلاف الخارجي، شبكة الأنابيب ومجاري الهواء.

تقسم دارات التكييف المعتمدة على التجفيف حسب نوع التبريد المستخدم في تبريد الهواء الداخل إلى الحيز المكيّف. فإذا استخدم التبريد التبخيري لهذه الغاية تدعى بدارات التبريد التبخيري التجفيفي Desiccant Evaporative Cooling كما مبين في الشكل (4-7) وهي واسعة الانتشار. أما إذا استخدم التبريد الانضغاطي بدلاً من التبريد التجفيفي حيث يستخدم في المناطق ذات الرطوبة الخارجية المرتفعة فإننا سندعو هذه الدارة بدارة التكييف التجفيفي الهجينة Desiccant- Based Hybrid Air Conditioning [15].

تكون دارات تكييف الهواء التجفيفية من النوع المفتوح عندما يكون هواء العملية الداخل إلى المجفف هواء جديد 100%. وتكون من النوع المغلق عندما يكون هواء العملية مزيج من الهواء الجديد والهواء المعاد [15].



الشكل (4-7) نظام التبريد التجفيفي وتمثيله على المخطط البسايكرومتري [15]

يحسب تخفيض نسبة الرطوبة هواء العملية من خلال المجفف بالعلاقة [15]:

$$\Delta w = w_{di} - w_{do} \qquad (4-3)$$

w_{do} ,w_{di}: نسبة الرطوبة للهواء قبل وبعد المجفف. $\left[\frac{kg}{kg}\right]$

حمل الحرارة الكامن الناتج عن التجفيف:

$$Q_l = \dot{V}_o \ \rho_o \ (w_{di} - w_{do}) h_{fg} \qquad (4-4)$$

$\dot{V}_o$: تدفق الهواء من خلال المجفف. $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

h_{fg}: الحرارة الكامنة المتولدة عن التبخر. $\left[\frac{J}{kg}\right]$ 2453

إن التبريد يتم على مرحلتين وكما هو مبين الشكل (4-7).

فحمل التبريد المحسوس في المرحلة الأولى:

$$\mathbf{Q_{sc1} = \dot{V}_o\ \rho_o\ c_a(t_{dl} - t_{pl})} \qquad \mathbf{(4-5)}$$

t_{dl}, t_{pl}: درجة حرارة الهواء قبل وبعد خروجه من المجفف. ℃

يمزج الهواء الجاف مع هواء إعادة التدوير في المرحلة الثانية ومن ثم يمر عبر المبرد التبخيري غير المباشر IEC.

فحمل التبريد المحسوس في المرحلة الثانية:

$$\mathbf{Q_{sc2} = \dot{V}_o\ \rho_o\ c_a(t_m - t_s)} \qquad \mathbf{(4-6)}$$

t_s: درجة حرارة هواء العملية بعد المبرد التبخيري غير المباشر. ℃

4-4 التبريد التبخيري التجفيفي: Desiccant Evaporative Cooling

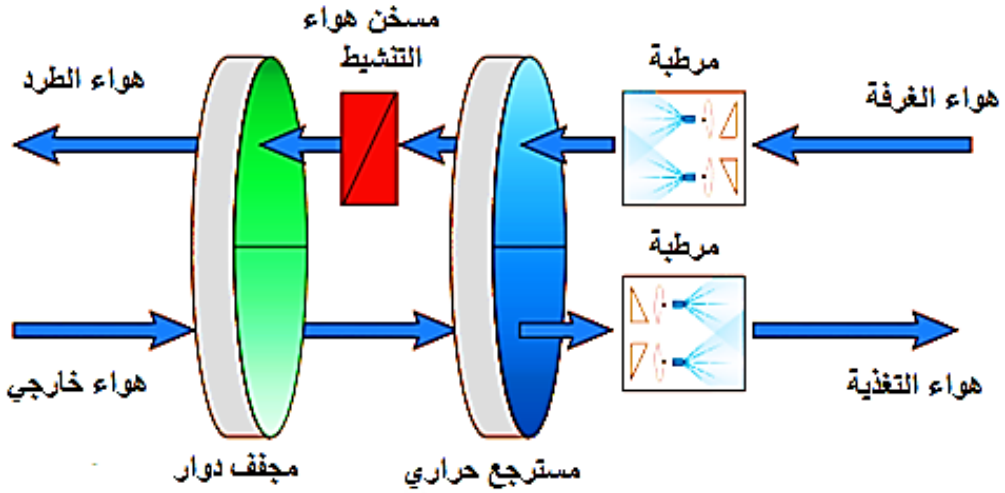
إنَّ أنظمة التبريد التبخيري لا تستطيع أن تحقق لوحدها متطلبات الشروط الداخلية في جميع المناخات خاصةً في المناطق ذات الرطوبة المرتفعة، لهذا تم تعزيز هذه الأنظمة بربطها مع مجففات لامتصاص رطوبة الهواء. وتتم إزالة الرطوبة من قبل المجفف بتعريضه لدرجة حرارة مرتفعة نسبياً وهذه العملية تدعى " تنشيط المجفف"، حيث أنَّ الطاقة الحرارية المطلوبة للتنشيط يمكن الحصول عليها من مصادر تقليدية كالكهرباء أو النفط ويمكن الحصول عليها من مصادر الطاقات البديلة مثل حرارة العادم والطاقة الشمسية.

تتألف دارات التبريد التجفيفي التبخيري بمعظم تصاميمها من الأجزاء الأساسية:

- المسترجع الحراري. Heat regenerator
- المجفف الدوار. Desiccant wheel
- المرطبات. Humidifier
- مسخن هواء التنشيط. Regeneration air heater

يستخدم التبريد التبخيري التجفيفي مبدأ استرجاع الحرارة والبرودة من الهواء الراجع أو الخارجي من المكان المكيف.

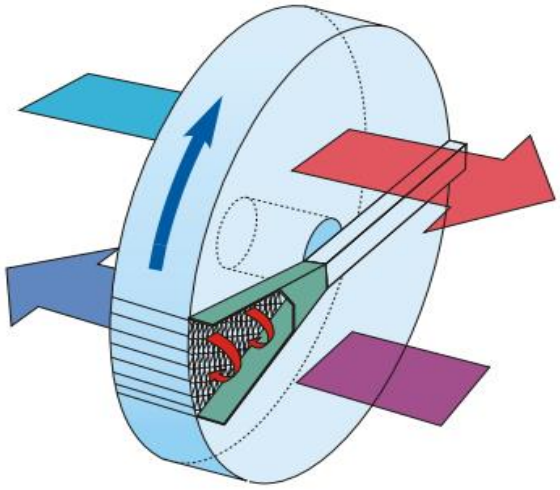
دارة التبريد التبخيري التجفيفي المعتمدة الأكثر شيوعاً تسمى دارة التهوية Ventilation cycle الموضحة في الشكل (4-8) [29].



الشكل(4-8) دارة التبريد التبخيري التجفيفي (دارة التهوية)

4-4-1 المسترجع الحراري: Heat Regenerator

تُصنف المسترجعات الحرارية ضمن فئة المبادلات الحرارية المخزنة للحرارة حيث يكون سطح التبادل الحراري في المسترجع عبارة عن مصفوفة، وتدور مصفوفة القرص الداخلي أو الجزء الدوار من المسترجع الحراري المبين في الشكل (4-9) في تيار الهواء الحار بشكل مستمر وبنسبة ثابتة من الحشوة (يعبر عنها بقطاع زاوي من القرص θ_h) بينما تدور النسبة المتبقية من الحشوة في تيار الهواء البارد (يعبر عنها بقطاع زاوي من القرص θ_c) حيث أن درجة حرارة خروج السائل تتغير عبر مساحة مقطع الجريان ولكنها مستقلة عن الزمن. وعادةً ما يتدفق التياران بشكل متعاكس بالاتجاه ويكونان منفصلان عن بعضهما البعض باستخدام مجاري الهواء أو باستخدام مصدّات متواضعة على المصفوفة [20].



الشكل (4-9) مخطط توضيحي لمسترجع حراري دوار

إن الخواص الهامة والمطلوبة للمواد المراد استعمالها في المسترجعات الحرارية هي السعة الحرارية الحجمية العالية C_{vol} ، وانخفاض فعالية الموصلية الحرارية بالاتجاه الطولاني (اتجاه جريان الغاز)، ويتم هذا باستخدام مواد ذات موصلية حرارية منخفضة أو باستخدام مواد ذات مسامية عالية [20].

4-4-1-1 فعالية المسترجعات الحرارية: [15] **Regenerators Effectiveness**

تُحدد فعالية المسترجع الحراري أداء انتقال الطاقة الحرارية المحسوسة والكامنة في المسترجعات الحرارية هواء- هواء. وتعتمد فعالية المسترجع على أربع بارامترات أساسية هي:

$$\boldsymbol{\varepsilon = f(\,NTU_o, C^*, C_r^*, (hA)^*)} \qquad \boldsymbol{(4-7)}$$

حيث $(hA)^*$ هو بارامتر تأثيره على الفعالية الحرارية يكون مهملاً عندما $0.25 \le (hA)^* \le 4$ يتراوح في دارات التكييف بقيم قريبة من الواحد، لذلك فإن الفعالية الحرارية في دارات التكييف تتعلق بثلاث بارامترات فقط:

$$\boldsymbol{\varepsilon = f(\,NTU_o, C^*, C_r^*)} \qquad \boldsymbol{(4-8)}$$

NTU_o: عدد وحات التبادل في المسترجع.

$$\boldsymbol{NTU_o = \frac{U_o A}{C_{min}}} \qquad \boldsymbol{(4-9)}$$

C^*: عدد لابعدي لتدفق السعة الحرارية لهواء العملية وهو نسبة بين تدفق السعة الحرارية الأصغرية إلى تدفق السعة الحرارية الأعظمي.

$$\boldsymbol{C^* = \frac{C_{min}}{C_{max}}} \qquad \boldsymbol{(4-10)}$$

$$\boldsymbol{C_{min} = min(C_h, C_c)} \qquad \boldsymbol{(4-11a)}$$

$$\boldsymbol{C_{max} = max(C_h, C_c)} \qquad \boldsymbol{(4-11b)}$$

C_r^*: عدد لابعدي لتدفق السعة الحرارية لجدار المصفوفة وهو نسبة بين تدفق السعة الحرارية لجدار مصفوفة المسترجع الحراري إلى تدفق السعة الحرارية الأصغرية لهواء العملية.

$$\boldsymbol{C_r^* = \frac{C_r}{C_{min}}} \qquad \boldsymbol{(4-12)}$$

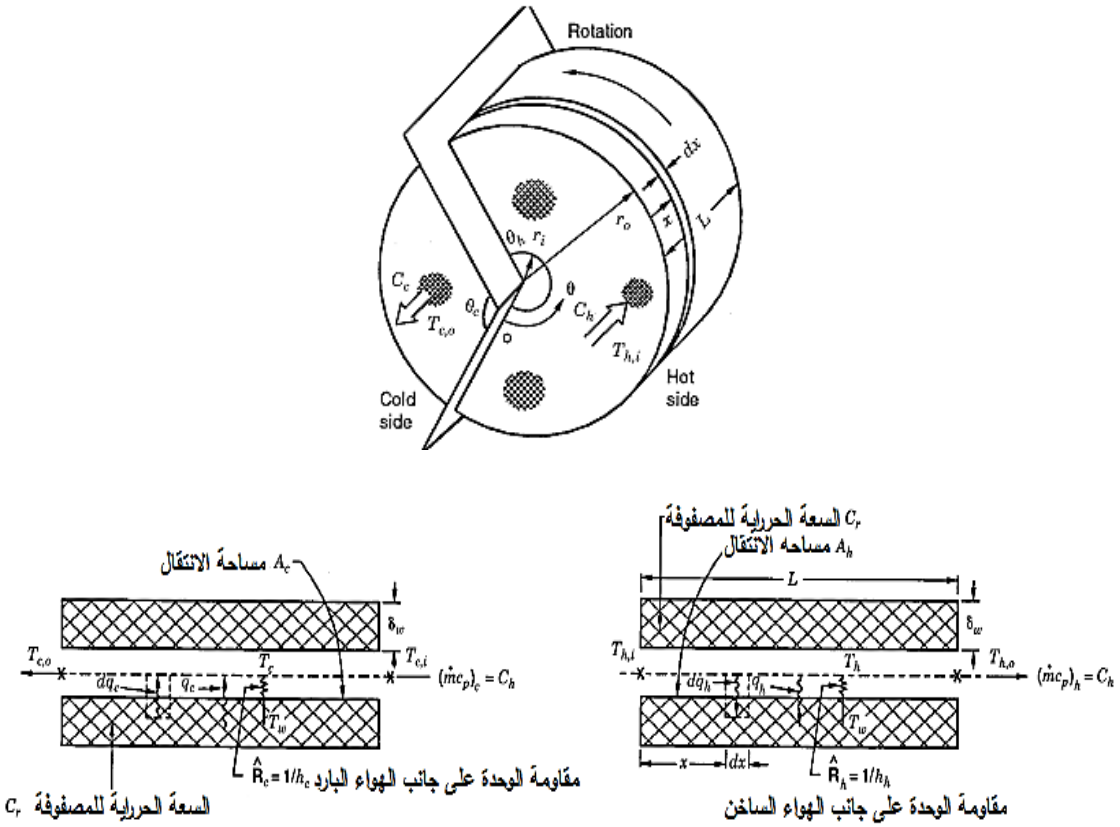
تعطى السعة الحرارية للهواء البارد والهواء الساخن وجدار المصفوفة بالعلاقات التالية:

$$\boldsymbol{C_h = \dot{m}_h C_h} \qquad \boldsymbol{(4-13a)}$$

$$\boldsymbol{C_c = \dot{m}_c C_c} \qquad \boldsymbol{(4-13b)}$$

$$\boldsymbol{C_r = M_w C_w N} \qquad \boldsymbol{(4-13c)}$$

يبين الشكل (4−10) المسترجع الحرارية وكيفية إيجاد العلاقات اللازمة لحساب فعالية المسترجع الحراري.



الشكل (4−10) المسترجع الحراري وجدار المصفوفة الساخن والبارد [20]

إن الفعالية الحرارية للمسترجع الحراري خلال العلاقات المبينة بالمسترجع تعطى بالعلاقة النهائية:

$$\boldsymbol{\varepsilon = \varepsilon_{cf}\left(1 - \frac{1}{9C_r^{*1.93}}\right)} \qquad \boldsymbol{(4-14)}$$

ε_{cf}: الفعالية الحرارية لمسترجع حراري مسطح مكافئ وتعطى بالعلاقة:

$$\boldsymbol{\varepsilon_{cf} = \frac{1 - \exp[-NTU_o(1 - C^*)]}{1 - C^* \exp[-NTU_o(1 - C^*)]}} \qquad \boldsymbol{(4-15)}$$

كتلة مصفوفة المسترجع الحراري الدوار:

$$\boldsymbol{M_w = \frac{\pi}{4}\left(D^2 - d_{shaft}^2\right).L.\rho.(1-\sigma)} \qquad \boldsymbol{(4-16)}$$

مساحة سطح التبادل الحراري الكلية للمسترجع الحراري:

$$\boldsymbol{A = \frac{\pi}{4}\left(D^2 - d_{shaft}^2\right) \times L \times \beta \times (1 - A_{fr})} \qquad \boldsymbol{(4-17)}$$

D: قطر المسترجع الحراري. [m]

d_{shaft}: قطر محور المسترجع الحراري. [m]

L: طول القنوات في المسترجع الحراري. [m]

β: مساحة حشوة المصفوفة بالنسبة للمتر المكعب. $\left[\frac{m^2}{m^3}\right]$

A_{fr}: مساحة الفراغات في حشوة المصفوفة.$[m^2]$

مساحة سطح التبادل الحراري للهواء الساخن:

$$\mathbf{A_h = \frac{\theta_h}{360}\ A} \qquad \mathbf{(4-18)}$$

θ_h: زاوية القطاع الزاوي للهواء الساخن. [deg]

مساحة سطح التبادل الحراري للهواء البارد:

$$\mathbf{A_c = \frac{\theta_c}{360}\ A} \qquad \mathbf{(4-19)}$$

θ_c: زاوية القطاع الزاوي للهواء الساخن.[deg]

عدد وحدات التبادل في المسترجع:

$$\mathbf{NTU_o = \frac{1}{C_{min}} \times \left[\frac{1}{\frac{1}{(hA)_h} + \frac{1}{(hA)_c}}\right]} \qquad \mathbf{(4-20)}$$

4-4-1-2 الدراسة الترموديناميكية والحرارية للمسترجعات الحرارية:

Thermodynamic Study of Thermal Regenerators

تحدد درجة حرارة تيار الهواء البارد وتيار الهواء الساخن في المسترجع الحراري اعتماداً على مفهوم الفعالية الحرارية التي يعبر عنها بأنها نسبة كمية الحرارة المنتقلة بين تياري الهواء إلى أعظم كمية حرارة يمكن ان تنتقل بين هذين التيارين [15].

$$\mathbf{\varepsilon = \frac{q}{q_{max}} = \frac{q}{C_{min}(t_{hi} - t_{ci})}} \qquad \mathbf{(4-21)}$$

حيث إن كمية الحرارة المنتقلة بين التيارين:

$$\mathbf{q = C_h(t_{hi} - t_{ho})} \qquad \mathbf{(4-22)}$$

$$\mathbf{q = C_c(t_{co} - t_{ci})} \qquad \mathbf{(4-23)}$$

ومنه درجة حرارة خروج الهواء البارد من المسترجع الحراري:

$$t_{co} - t_{ci} = \frac{q}{C_c} = \frac{\varepsilon\ C_{min}(t_{hi} - t_{ci})}{C_c}$$

$$t_{co} = t_{ci} + \frac{\varepsilon\, C_{min}(t_{hi} - t_{ci})}{C_c} \qquad (4-24)$$

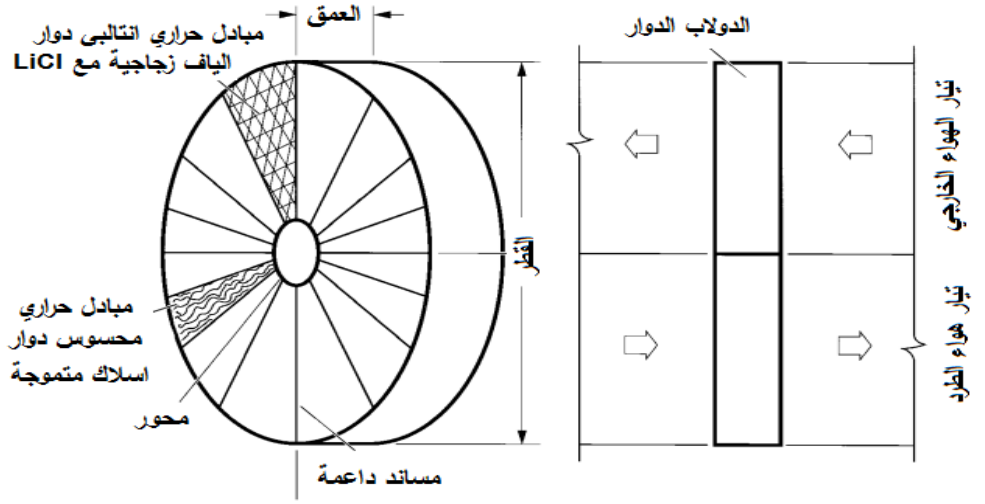
درجة حرارة خروج الهواء الساخن من المسترجع الحراري:

$$t_{hi} - t_{ho} = \frac{q}{C_h} = \frac{\varepsilon\, C_{min}(t_{hi} - t_{ci})}{C_h}$$

$$t_{hi} = t_{ho} + \frac{\varepsilon\, C_{min}(t_{hi} - t_{ci})}{C_h} \qquad (4-25)$$

4-4-2 المجفف الدوار: Desiccant Wheel

هو عبارة عن مبادل حراري دوار ويدعى أيضاً الدولاب الدوار، ويصنف إلى مبادل حراري محسوس دوار لإزالة الحرارة المحسوسة فقط ومبادل انتالبي دوار لإزالة كلاً من الحرارة المحسوسة والحرارة الكامنة. ويوضح الشكل (4-11) المجفف الحراري الدوار حيث عرضه $100 - 200$ [mm] ووجهه الأمامي قطع صغيرة، ويقسم إلى قسمين منفصلين قسم تيار الهواء الخارجي وقسم تيار هواء الطرد [15].

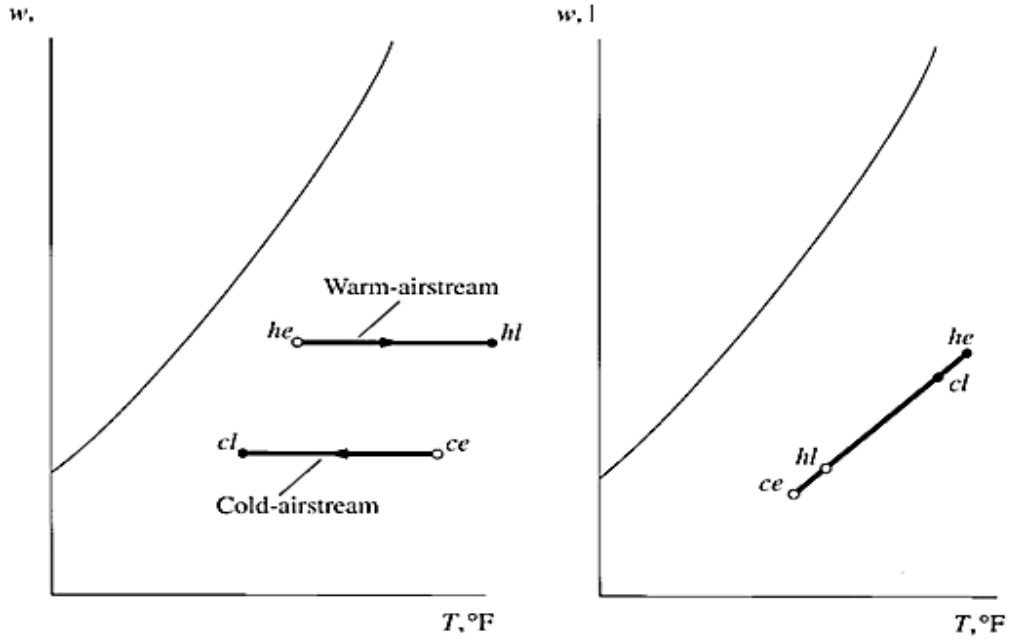


الشكل (4-11) المجفف الدوار [15]

فالمبادل الحراري المحسوس الدوار عبارة عن أسلاك متموجة مصنوعة من الألمنيوم أو الستانلس كثافتها تقريباً $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$ 64 نفوذة لاختراق الهواء مع مساحة سطح داخلية كبيرة. والمبادل الحراري الانتالبي المادة المجففة كلوريد الليثيوم LiCl متشربة مع الألياف الزجاجية أو المجففات الصلبة مثل حبيبات سليكا جيل Silica gel [15] المعتمدة في دراسة هذا البحث.

نسبة امتصاص الماء بوساطة مزيج كلوريد الليثيوم والألياف الزجاجية تعادل $(10\ kg\ H_2O)/(kg\ LiCl)$، والسرعة الدورانية للمبادل الحراري الانتالبي تتراوح من $0.5 - 10$ rpm [15].

يوجد تياران هوائيان في المبادل الحراري الدوار، تيار الهواء الخارجي وتيار هواء الطرد. ففي التبريد صيفاً تيار الهواء الخارجي يكون تياراً دافئاً وتيار هواء الطرد يكون تياراً بارداً، وفي التدفئة شتاءً تيار الهواء الخارجي يكون تياراً بارداً وتيار هواء الطرد يكون تياراً دافئاً، وتيارا الهواء يكونان بشكل متوازي ومتعاكسان بالاتجاه. وتمثل عملية انتقال الحرارة المحسوسة للمبادل الحراري المحسوس الدوار وعملية انتقال الانتالبي للمبادل الحراري الانتالبي في الشكل (4-12).



الشكل (4-12) عملية انتقال الحرارة المحسوسة للمبادل الحراري المحسوس الدوار وعملية انتقال الانتالبي للمبادل الحراري الانتالبي [15]

سرعة تيار الهواء في المبادلات الحرارية الدوارة $\left[\frac{m}{s}\right]$ 3.5 – 2.5 وانخفاض ضغط الهواء من خلال المبادل الحراري الدوار [Pa] 162 – 112 ويعتمد بشكل أساسي على تركيب المبادل والوسيط. وفعالية المبادل الحراري المحسوس 50 – 80% والسرعة الدورانية للمبادل الحراري المحسوس الدوار rpm 25 – 10. والقطر الأعظمي للدولاب الدوار [m] 4.2 وتدفق الهواء من خلاله حتى $\left[\frac{L}{s}\right]$ 30670 [15].

تعطى فعالية الحرارية للمجفف الدوار بالعلاقة:

$$\varepsilon = \frac{C_h(t_{he} - t_{hl})}{C_{min}(t_{he} - t_{ce})} = \frac{C_c(t_{cl} - t_{ce})}{C_{min}(t_{he} - t_{ce})} \quad (4-26)$$

من أجل تقييم أداء المجفف الدوار Silica gel تم الحصول عليهما من خلال عدد كبير من القيم التجريبية تم الحصول عليها، حيث قام بهذا العمل Beccali et at 2003 [29].

تعطى المعادلتان التاليتان حالة خروج هواء العملية من المجفف ممثلة الانتالبي والرطوبة النسبية [20]:

$$\mathbf{h_{deh\ out} = 0.1148h_{\ reg\ in} + 0.8852\ h_{den\ in} - 0.9474 \quad (4-27)}$$

$h_{deh\ out}$: انتالبي هواء التغذية عند خروجه من المجفف. $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

$h_{dreg\ in}$: انتالبي هواء التنشيط. $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

$h_{deh\ in}$: انتالبي هواء التغذية قبل دخوله إلى المجفف. $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

$$\mathbf{RH_{deh\ out} = 0.9428\ RH_{reg\ in} + 0.0572\ RH_{den\ in} \quad (4-28)}$$

$RH_{deh\ out}$: الرطوبة النسبية لهواء التغذية عند خروجه من المجفف.

$RH_{reg\ in}$: الرطوبة النسبية لهواء التنشيط.

$RH_{den\ in}$: الرطوبة النسبية لهواء التغذية قبل دخوله إلى المجفف.

4-4-3 المرطبات: Humidifiers

لإنجاز عملية التبريد التبخيري في أنظمة التكييف التي تعتمد مبدأ التبريد التبخيري التجفيفي في عملها من خلال الاعتماد على مرطبات الماء السائل فقط، حيث إن استخدام مرطبات البخار غير مفيدة في هذا النوع من الأنظمة.

هناك العديد من أنظمة الترطيب حيث يتم الاختيار فيما بينها اعتماداً على:

- نوعية الماء.
- الطول الإجمالي للمرطبة.
- مفاقيد الضغط.
- التكاليف التأسيسية للنظام.

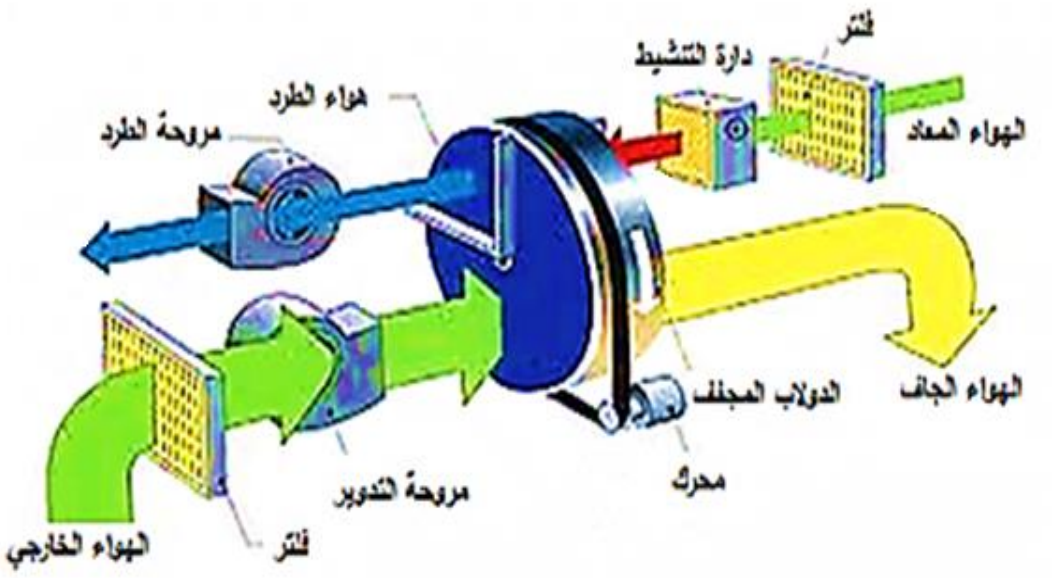
أحد هذه الأنواع الترطيب بالرذاذ أو غسالة الهواء حيث يتم رش رذاذ الماء بشكل كبير محدثاً ضباباً داخل هواء العملية، ويتميز هذا النوع من المرطبات بالفعالية العالية وانخفاض مفاقيد الضغط. وتمت مناقشتها بالفقرة (3-2).

4-4-4 مسخن هواء التنشيط: Regeneration Air Heater

تحتاج دارات التبريد التبخيري التجفيفي كغيرها من دارات التبريد الحراري إلى منبع حراري حيث تصرف الحرارة في دارات التبريد التبخيري التجفيفي على رفع درجة حرارة هواء إعادة التنشيط (الهواء الراجع من الصالة في اغلب الأحيان) قبل دخوله إلى الدولاب المجفف. وهذا الارتفاع في

درجة الحرارة ضروري لعمل المجفف، حيث أنه عند ارتفاع درجة حرارة هواء إعادة التنشيط يرتفع ضغط الإشباع لبخار الماء الموجود في الهواء مما يزيد قابلية الهواء لاحتوائه كمية أكبر من الماء، فعند دخوله إلى المجفف يتم سحب الماء من المادة المجففة وبالتالي تم إعادة تنشيط المجفف [16]. ويبين الشكل (4-13) مخطط توضيحي دارة التنشيط في دارة التبريد التبخيري التجفيفي.

إن المنبع الحراري يمكن أن يكون منبعاً حرارياً تقليدياً (مرجل – سخان كهربائي) أو من منبع حراري كالطاقة الشمسية وذلك لأنَّ درجات الحرارة المطلوبة منخفضة نسبياً في دارات التكييف الصيفية [16]. أو مفاقيد حرارية من العمليات الأخرى فمثلاً في الصناعات النسيجية من عوادم البخار الناتج عن تجفيف الخيوط أثناء عملية التنشية المتوفر بكثرة في صالة التنشية.



الشكل (4-13) مخطط توضيحي دارة التنشيط في دارة التبريد التبخيري التجفيفي

تحسب بارامترات هواء إعادة التنشيط عند خروجه من المجفف من خلال التوازن الحراري والكتلي بين تيار هواء العملية وهواء إعادة التنشيط الداخل والخارج إلى المجفف الدوار حيث نحصل على المعادلات التالية:

$$\mathbf{t_{reg\,out} = t_{reg} - \frac{\dot{m}_s}{\dot{m}_{reg}(t_{out} - t_{in})}} \qquad \mathbf{(4-29)}$$

$t_{reg\,out}$: درجة حرارة هواء إعادة التنشيط الخارج من المجفف. °C

t_{reg}: درجة حرارة هواء إعادة التنشيط الداخل إلى المجفف. °C

t_{out}: درجة هواء العملية بعد خروجه من المجفف. °C

$\dot{m}_s$: كمية هواء التغذية. $\left[\frac{kg}{s}\right]$

$\dot{m}_{reg}$: كمية هواء إعادة التنشيط. $\left[\frac{kg}{s}\right]$

$$w_{reg\ out} = w_{reg} - \frac{\dot{m}_s}{\dot{m}_{reg}(w_{out} - w_{in})} \quad (4-30)$$

$w_{reg\ out}$: نسبة الرطوبة لهواء إعادة التنشيط الخارج من المجفف. $\left[\frac{g}{kg}\right]$

4-5 دارات التبريد التبخيري التجفيفي المقترحة:

Suggested of The Desiccant Evaporative Cooling Cycles

يوجد نوعان من الأحمال في أنظمة تكييف الهواء التي يجب على نظام التكييف إزالتها:

- الحمل المحسوس الناتج عن انتقال الحرارة إلى داخل المكان.
- الحمل الكامن الناتج عن إنتاج الرطوبة داخل المكان.

تستعمل الأنظمة التقليدية ضواغط غازات التبريد لإزالة هذه الأحمال وبالتالي يجب تجفيف الهواء عبر تبريده لإزالة الحمل الكامن من المكان المكيف وكلمّا كان الحمل الكامن كبيراً كلما انخفضت درجة حرارة التبخر اللازمة، ولكن الدرجة $0°C$ وهي درجة حرارة التجمد، بالإضافة إلى أنه يوجد حدود لهذه الدرجة حيث يجب ألا تقل عن درجة حرارة التغذية المنخفضة جداً التي تؤدي إلى نشوء تيارات غير مرغوب فيها داخل المكان المكيف. لذلك في العديد من أنظمة التكييف التقليدية ذات الحمل الكامن الكبير نحتاج غالباً إلى تسخين الهواء بعد تبريده لتحقيق متطلبات المكان المكيف وهذا يؤدي إلى ضياع كبير في الطاقة المستهلكة.

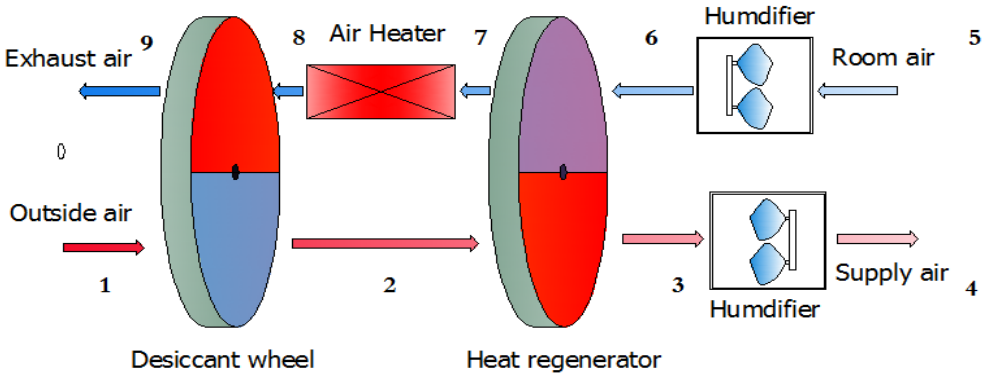
بالإضافة إلى ذلك يلزم تحقيق كمية هواء كبيرة بسبب محدودية قدرة إزالة الرطوبة لواحدة كتلة الهواء. أنظمة تجفيف الهواء البسيطة تناسب بشكل جيد إزالة الحمل الكامن للمكان المكيف حيث يمر الهواء على المجفف فتزال رطوبته ويسخن ثم يبرد عبر المبادلات الحرارية والمبردات التبخيرية.

إذا كان النظام مصمماً لإزالة الحمل المحسوس أيضاً فيجب أن يكون هواء العملية مجففاً بشكل أكبر للسماح بتبريده أكثر بوساطة التبريد التبخيري المباشر بعد أن يكون قد برد تبريداً محسوساً بوساطة المبادل الحراري عبر الهواء المحيط. إن هذه الزيادة في التجفيف وخاصة في المناخات الحارة والرطبة تحتاج إلى كمية أكبر من الحرارة لطرد الرطوبة الممتصة وهذا يؤدي إلى أداء ضعيف في دارات التجفيف البسيطة في هذه المناخات.

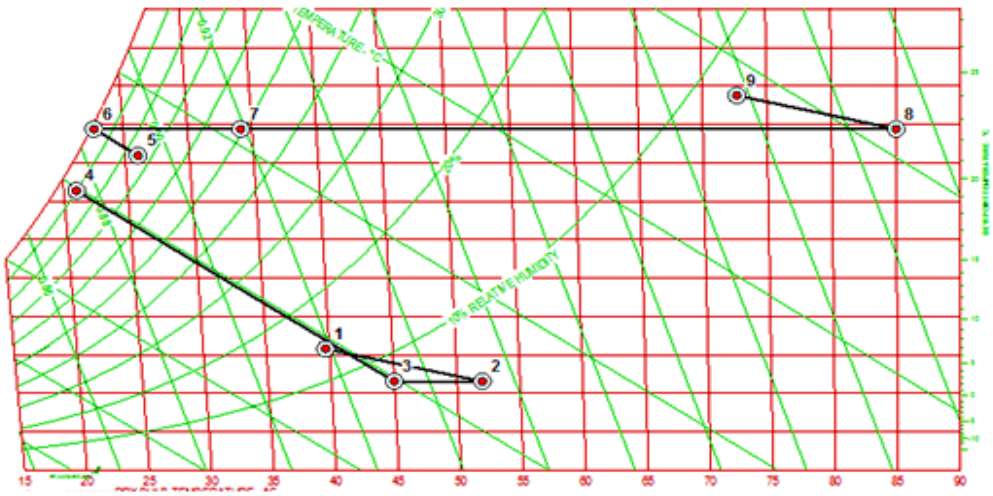
يؤدي الجمع بين أجهزة التبريد الانضغاطية وأنظمة التجفيف إلى الحصول على أداء أعلى لهذه الأنظمة، ويطلق على هذه الأنظمة أنظمة التبريد التجفيفي الهجينة [23].

4-5-1 دارة التهوية: Ventilation Cycle

تعدّ دارة التهوية من أقدم وأهم دارات (DEC) وأطلق عليها دارة التبريد التجفيفي التبخيري النموذجية المصممة من قبل Pennington 1983 وتستخدم هذه الدارة هواءً راجعاً 100% [21]. يوضح الشكل (4-14) المكونات الأساسية لدارة التهوية. وكذلك يمثل الشكل (4-15) العمليات على المخطط البسايكرومتري لدارة التهوية.



الشكل (4-14) مخطط رمزي لدارة التهوية



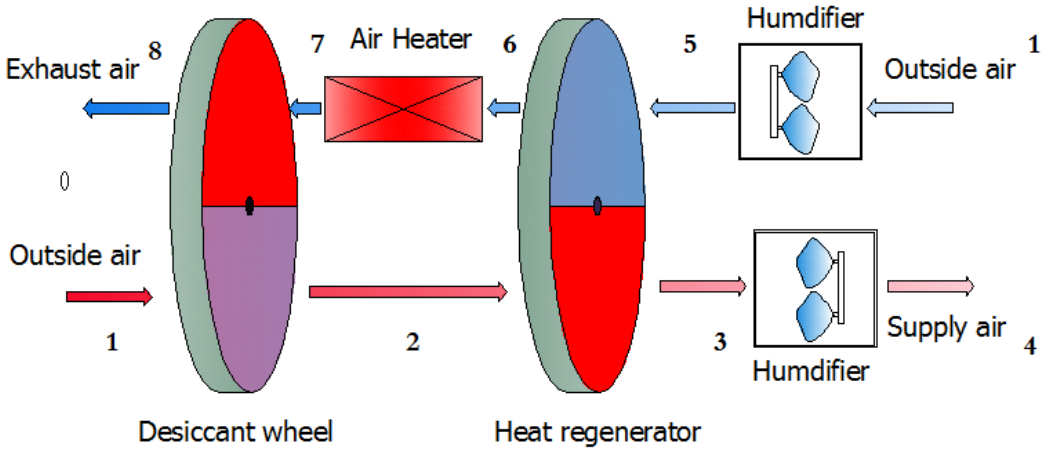
الشكل (4-15) تمثيل العمليات على المخطط البسايكرومتري لدارة التهوية

طرف هواء العملية (الهواء اللازم للمعالجة): يمرر الهواء الخارجي بحالة 1 خلال المجفف فتنتزع رطوبته ويسخن في الوقت ذاته بوساطة الحرارة الناتجة عن ادمصاص بخار الماء من 1 حتى 2، ثم يبرد تبريداً محسوساً في المبادل الحراري من 2 حتى 3، وأخيراً يبرد تبخيرياً في المبرد التبخيري من 3 حتى 4، وبعدها يصبح جاهزاً لإرساله إلى الحيز المكيف [22].

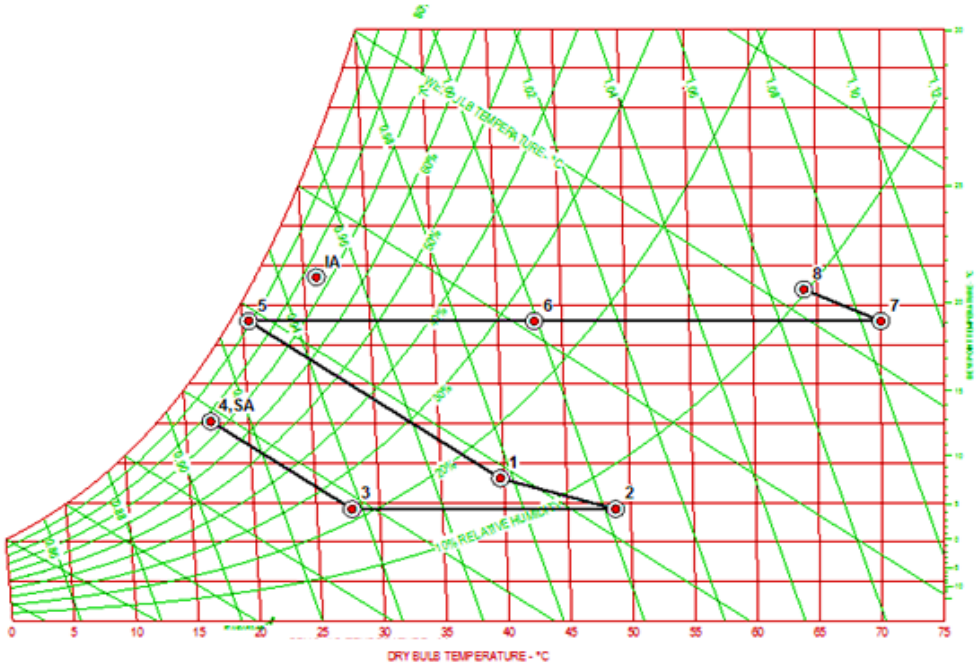
طرف إعادة التنشيط: يبرد الهواء الراجع من الحيز المكيف بحالة 5 يبخيرياً في المبرد التبخيري من 5 حتى 6، ثم يسخن تسخيناً محسوساً في المبادل الحراري من 6 حتى 7، وبعد ذلك يسخن تسخيناً محسوساً في مسخن هواء التنشيط من 7 حتى 8، وأخيراً يمرر خلال المجفف، فيقوم بسحب الرطوبة منه، ويطرد بعد ذلك إلى الوسط الخارجي بالحالة 9 [22].

4-5-2 دارة التهوية المعدّلة: The Modified Ventilation Cycle

تستخدم دارة التهوية المعدّلة هواءً جديداً 100% على طرف الهواء الراجع [25]. ويبين الشكل (4-16) المكونات الأساسية لدارة التهوية المعدّلة. وكذلك يمثل الشكل (4-17) العمليات على المخطط البسايكرومتري لدارة التهوية المعدّلة.



الشكل (4-16) مخطط رمزي لدارة التبريد التبخيري التجفيفي (دارة التهوية المعدّلة)



الشكل (4-17) تمثيل العمليات على المخطط البسايكرومتري لدارة التهوية المعدّلة

طرف هواء العملية (الهواء اللازم للمعالجة): يمرر الهواء الخارجي بالحالة 1 خلال المجفف فتنتزع رطوبته ويسخن في الوقت ذاته بوساطة الحرارة الناتجة عن ادمصاص بخار الماء من 1 حتى 2، ثم يبرد تبريداً محسوساً في المبادل الحراري من 2 حتى 3، ثم يبرد تبخيرياً في المبرد التبخيري من 3 حتى 4، وبعدها يصبح جاهزاً لإرساله إلى الحيز المكيف [25].

طرف إعادة التنشيط: يبرد الهواء الخارجي من الحالة 1 تبخيرياً في المبرد التبخيري DEC من 1 حتى 5 ثم يسخن تسخيناً محسوساً في المبادل الحراري من 5 حتى 6 وبعد ذلك يسخن تسخيناً محسوساً في المسخن (إعادة التنشيط) من 6 حتى 7 وأخيراً يمرر خلال المجفف فيقوم بسحب الرطوبة منه ويُطرد بعد ذلك إلى الوسط الخارجي [25].

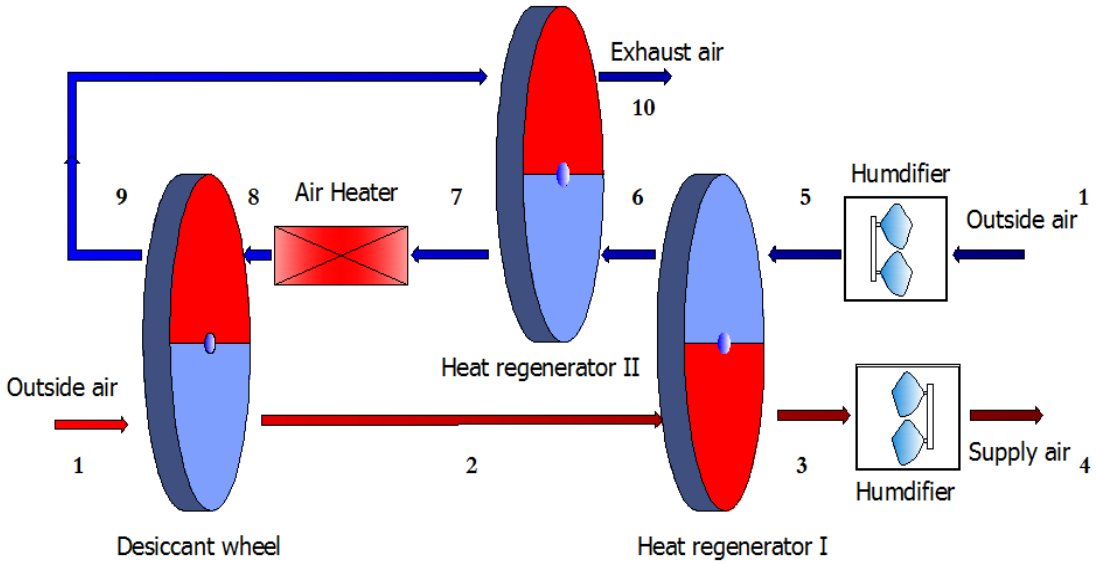
4-5-3 دارة التبريد التبخيري التجفيفي الهجينة:

The Hybrid of the Desiccant Evaporative Cooling Cycle

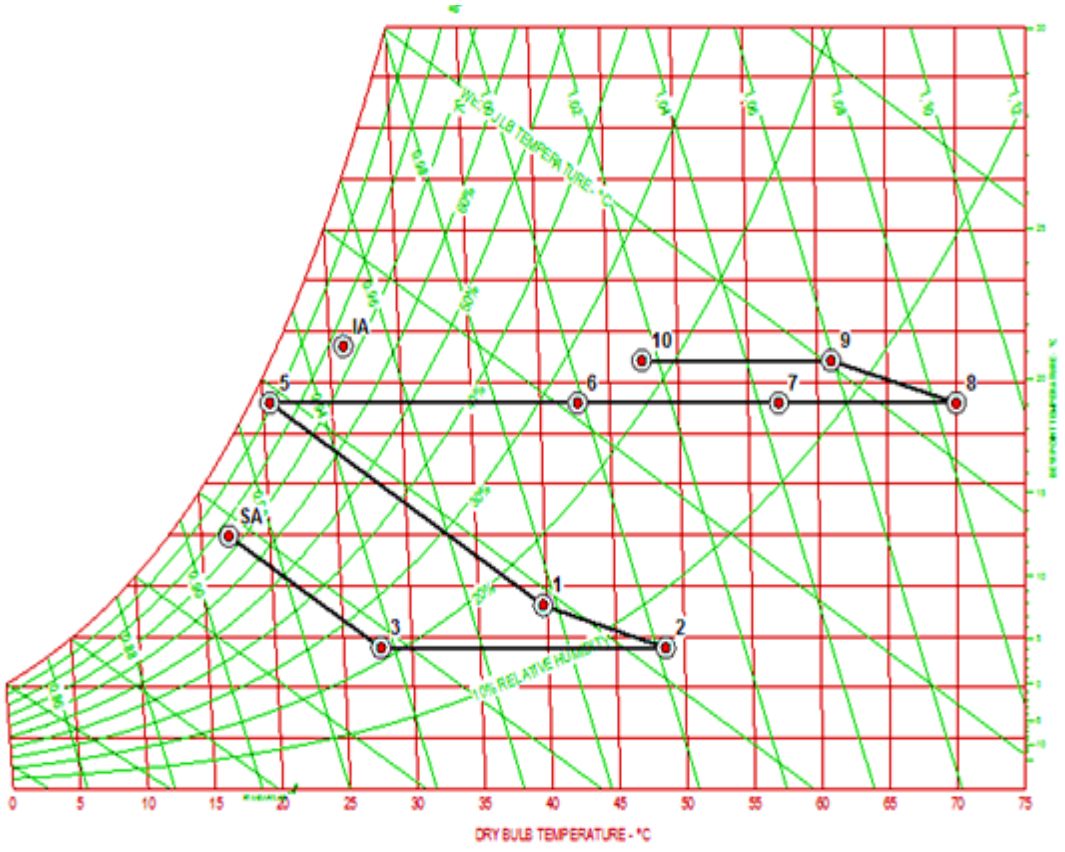
يبين الشكل (4-18) المكونات الأساسية لدارة التبريد التبخيري التجفيفي الهجينة المقترحة المشتقة من الدارة التهوية المعدّلة. وكذلك يمثل الشكل (4-19) العمليات على المخطط البسايكرومتري لدارة التبريد التبخيري التجفيفي الهجينة.

طرف هواء العملية (الهواء اللازم للمعالجة): يمرر الهواء الخارجي بالحالة 1 خلال المجفف فتنتزع رطوبته ويسخن في الوقت ذاته بوساطة الحرارة الناتجة عن ادمصاص بخار الماء من 1 حتى 2، ثم يبرد تبريداً محسوساً في المبادل الحراري من 2 حتى 3 وأخيراً يبرد تبخيرياً في المبرد التبخيري من 3 حتى 4، وبعدها يصبح جاهزاً لإرساله إلى الحيز المكيّف.

طرف إعادة التنشيط: يبرد الهواء الخارجي من الحالة 1 تبريداً تبخيرياً في المبرد التبخيري DEC من 1 حتى 5 ثم يسخن تسخيناً محسوساً في المبادل الحراري من 5 حتى 6 وبعد ذلك يسخن تسخيناً محسوساً في المبادل الحراري الثاني من 6 حتى 7 وبعد ذلك يسخن تسخيناً محسوساً في المسخن (إعادة التنشيط) من 7 حتى 8 ويمرر خلال المجفف فيقوم بسحب الرطوبة منه وأخيراً يمرر من خلال المبادل الحراري من 8 حتى 9 ويُطرد بعد ذلك إلى الوسط الخارجي.



الشكل (4-18) مخطط رمزي لدارة التبريد التبخيري التجفيفي الهجينة



الشكل (4-19) تمثيل دارة التبريد التبخيري التجفيفي الهجينة على المخطط البسايكرومتري