

تحسين أداء أنظمة التكييف المركزي باستخدام معيار جديد

د. م. علي سلامي*

الملخص

عند حساب الاستطاعات اللازمة لعناصر أنظمة التكييف المركزي انطلاقاً من الشروط التصميمية الخارجية تؤدي درجة الحرارة التصميمية الخارجية الدور الرئيس في إيجاد الاستطاعات التبريدية الحرارية لعناصر هذه الأنظمة. وتختار درجات الحرارة التصميمية على أساس مقدرة النظام، في المحصلة، على تغطية الحمل التبريدي والحراري اللازم في الظروف كلها مما ينتج استطاعات تصميمية وحجوماً كبيرة لهذه الأنظمة، لا يفاد من جزء كبير منها إلا مدداً محدودة خلال العام وعند القيم الحدية لدرجات الحرارة الخارجية. هدف البحث إلى خفض حجوم عناصر أنظمة التكييف المركزي واستطاعاتها من خلال استقصاء نسبة مهمة من الاستطاعة، لا تتجاوز نسبة تغطيتها للطاقة اللازمة للتسخين شتاءً والتبريد صيفاً بضعاً أجزاء مئوية (أقل من 5%)، وإيجاد حل يسمح بخفض الاستطاعة الاسمية، وتعويض النقص عند قيم حدية لدرجات الحرارة الخارجية، ومن ثم تحسين الأداء وخفض الكلفة العامة بنسبة تصل إلى 75% لدارة التبريد، و50% لدارة التدفئة.

الكلمات المفتاحية: استرجاع الطاقة، التبريد التبخيري، التكرار التراكمي.

Performance improvement of central airconditioning systems, atulizing a new criterion

Dr. Eng. Ali Salami*

Abstract

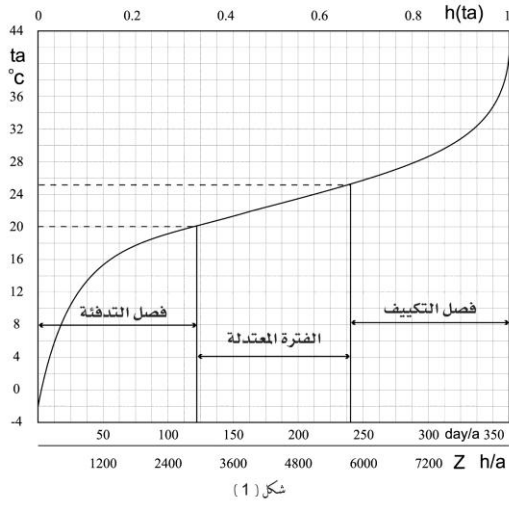
An important factor by estimating of the necessary capacities for the different components of the central air-conditioning plants is the design outside temperature. Because of its extremity, this temperature enlarge the capacities, although it keeps on only for a short time during the operation period, and so an important ratios of the capacities have to produce only a few percent of the annual necessary energy.

The paper aims to reduce the capacities and operating costs of such like plants, by investigating a considerable ratio of the system capacity, which cover only about 5% of the seasonal necessary energy for heating and cooling, and to investigate proper solutions to cover the shortage of the necessary energy for a short time.

The proposed solution make it passible to reduce the general costs about 75% for cooling system and 50% for heating system.

Key words : Heat recovery, Evaporative Cooling, Accumulative Frequency.

المقدمة



شكل (1)

الشكل (1) تابع الاستمرار (التكرار التراكمي) السنوي لدرجات الحرارة الخارجية لمدينة دمشق

يمثل محور الزمن الأفقي Z عدد الساعات في العام (h/a) أو عدد الأيام في العام (day/a)، التي تقل فيها درجة الحرارة الخارجية عن الدرجة المقابلة على المحور الشاقولي (t_a)، أي محور درجات الحرارة الخارجية. أما محور التكرار التراكمي ($h_{(ta)}$ الأفقي أيضاً)، المبين في الجانب العلوي من الشكل فيمثل نسبة عدد الساعات التي تقل فيها درجات الحرارة الخارجية عن الدرجة المقابلة على المحور t_a ، أي يمثل التكرار التراكمي (مجموع التكرار) السنوي لدرجات الحرارة الخارجية بدءاً من درجة الحرارة الخارجية الدنيا (نحو -2) وحتى درجة الحرارة المعنية. يمكن من خلال هذا التابع تقسيم العام إلى ثلاث مدد زمنية وهي:

مدة فصل التدفئة وتبلغ نحو 120 يوماً، فترة فصل التكييف وتمتد مدة تبلغ نحو 125 يوماً، والمدة المعتدلة وتبلغ نحو 120 يوماً.

يسمح تابع الاستمرار السنوي لدرجات الحرارة الخارجية وفق [2] بحساب تقديري لحجم الطاقة اللازمة لمبنى ما لأغراض التدفئة شتاء، أو لأغراض التكييف صيفاً إذ

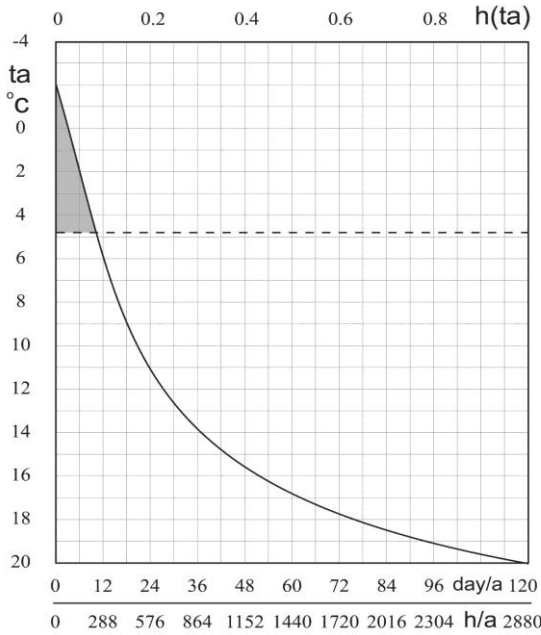
نظراً لحبوية مسألة الطاقة بوصفها المحرك الرئيس لتطور المجتمعات فإن قضية البحث في تأمين مصادرها والاستثمار الأمثل للمتاح منها يقع ضمن أولويات البحث العلمي في معظم المجتمعات، وتصبح المسألة أكثر أهمية في بلدان تفتقر إلى مصادر الطاقة الأولية، أو يشكل تغطية الحاجة لها عبئاً كبيراً على الاقتصاد والمجتمع إذ لا بد أيضاً من ترشيد استهلاك الطاقة إلى الحدود القصوى. يستهلك قطاع التدفئة والتكييف لدينا نسبة كبيرة من الطاقة على المستوى الوطني، وقد وصل الاسترجار الكهربائي لأغراض التكييف في سنوات ما قبل الحرب إلى حدود شكل معها عبئاً كبيراً على المنظومة الكهربائية، وعلى الاقتصاد بشكل عام. وقد افتقر هذا القطاع إلى الترشيح الكافي وأدت سياسة دعم الطاقة دورها في المبالغة في الاستهلاك.

في السنوات الأخيرة برزت الحاجة الملحة لإيجاد حلول علمية لترشيح استهلاك الطاقة من خلال استقصاء مواطن الخلل ووضع حلول لها والتوجه نحو استثمار فعال للطاقات المتجددة والاستثمار في البحث والتطوير، واستنهاض وحشد الإمكانيات المحلية كلها. سعى البحث لاستقصاء آلية استهلاك الطاقة في أنظمة التدفئة والتكييف المركزي، والعمل على تخفيض الاستهلاك والكلفة من خلال حلول مناسبة.

التكرار التراكمي لدرجات الحرارة الخارجية واستمرارها

يبين الشكل (1) تابع الاستمرار (التكرار التراكمي) السنوي لدرجات الحرارة الخارجية لدمشق الذي تم إيجاده بناءً على معطيات الأرصاد الجوية السورية [1].

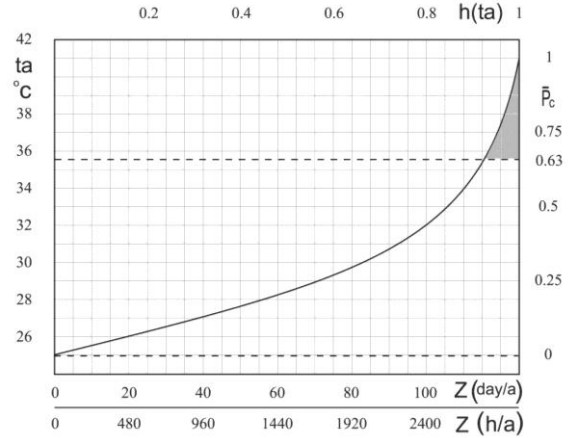
على المحور t_a . (علماً بأن عدد ساعات فصل التكييف لمدينة دمشق تبلغ نحو 3000 ساعة، أو 125 يوماً).
الثاني: تابع التكرار التراكمي لدرجات الحرارة الخارجية $[h(t_a)-t_a]$ ، ويمثل نسبة عدد ساعات فصل التكييف (الصيفي) التي تقل فيها درجات الحرارة الخارجية عن الدرجة المقابلة على المحور t_a ، أي يمثل التكرار التراكمي (مجموع التكرار) الفصلي لدرجات الحرارة الخارجية بدءاً من درجة الحرارة ($t_a=25^\circ\text{C}$) حتى درجة الحرارة المعنية.
الثالث: تابع الاستطاعة التبريدية النسبية اللازمة للأماكن المبردة ($\bar{p}_c - z$) أي نسبة الاستطاعة التبريدية اللازمة p_c إلى الاستطاعة الحسابية الاسمية p_{cn} عند درجة حرارة تصميمية خارجية $t_a=40^\circ\text{C}$ أو $\bar{p}_c = \frac{p_c}{p_{cn}}$ ، وعليه يمكن إيجاد تابع الاستطاعة التبريدية الفعلية اللازمة من الشكل (2) من أجل أي قيمة محددة للاستطاعة الأسمية.



الشكل (3) التابع الزمني لدرجات الحرارة الخارجية شتاءً $(ta-Z)$ يعكس أيضاً تابع التكرار التراكمي الشتوي لدرجات الحرارة الخارجية $[h(ta)-ta]$ وكذلك التابع الزمني للاستطاعة الحرارية النسبية اللازمة $(\bar{p}_H - z)$ لمدينة دمشق

تساوي الاستطاعة اللازمة لأغراض التدفئة عند أدنى درجة (درجة الحرارة التصميمية الخارجية) الاستطاعة الاسمية لنظام التدفئة وتتعدم عند تساوي درجات الحرارة الداخلية والخارجية للمبنى.
وكذلك في مدة التكييف يعمل النظام بالاستطاعة الاسمية عند أعلى درجة حرارة خارجية (درجة الحرارة التصميمية الخارجية صيفاً)، وتتعدم استطاعته عند تساوي درجات الحرارة بين الداخل والخارج.
ومن ثم يراوح مجال الاستطاعة النسبية اللازمة $\bar{p} = \frac{p}{p_n}$ بين 0 و 1.

مما سبق وانطلاقاً من الشكل (1) يصبح بالإمكان الحصول على توابع الاستمرار (التكرار التراكمي) الفصلية لدرجات الحرارة الخارجية وفق الشكلين (2) و (3).



الشكل (2) التابع الزمني لدرجات الحرارة الخارجية صيفاً (t_a-Z) يعكس أيضاً تابع التكرار التراكمي الصيفي لدرجات الحرارة الخارجية $[h(t_a)-t_a]$ وكذلك التابع الزمني للاستطاعة التبريدية النسبية اللازمة $(\bar{p}_c - z)$ لمدينة دمشق
الشكل (2) يمثل ثلاثة توابع:

الأول: تابع استمرار درجات الحرارة (t_a-z) ، أي عدد الساعات (h/a)، أو عدد الأيام (day/a) خلال الفصل التي تقل فيها درجات الحرارة الخارجية عن الدرجة المقابلة

المساحة المظللة الواقعة فوق خط الاستطاعة النسبية $\bar{p}_c = 0.63$ صيفاً، شكل (2) و $\bar{p}_H = 0.68$ شتاءً، شكل (3) تمثل الطاقة التي ينتجها النظام خلال الفصل بجزء الاستطاعة الذي يتجاوز هذين الحدين.

ولدى حساب هذه الطاقة النسبية (المساحة المظللة) تبين أنها تمثل أقل من 5% من الطاقة الفصلية اللازمة، مما يعني أن نحو ثلث الاستطاعة الاسمية لنظام التكييف ينتج أقل من 5% من الطاقة اللازمة. ومن ثم فإن اختيار استطاعة للتجهيزات تبلغ ثلثي الاستطاعة الاسمية التقليدية يسمح بإنتاج نحو 95% من الطاقة الفصلية اللازمة، لكنه يعجز عن تغطية الحمل اللازم خلال مدة محدودة، أي عند درجات الحرارة الخارجية الحدية فقط.

بحث عن حل لتغطية هذا العجز عبر استقصاء أداء النموذج المقترح (شكل 4) الذي يعتمد على مبدئين، التبريد غير المباشر (الأديباتي) راجع [3، 4]، واسترجاع الطاقة [5، 6]. وضع النموذج الرياضي لأداء النظام مع الدارة المقترحة ومقارنة نتائج الأداء بالعجز المفترض وصولاً إلى تحديد الاستطاعة الاسمية المثلى لعناصر نظام التكييف المركزي.

نعدّ الاستطاعات النسبية 0.63 و 0.68 استطاعات معيارية نرمز لها بـ $\bar{p}_{c.nor}$ و $\bar{p}_{H.nor}$ على التوالي، ويفترض بالحل المقترح تحقيقها، أي على الدارة الإضافية المقترحة تغطية جزء الاستطاعة اللازمة الواقع فوق القيم المعيارية.

توصيف النموذج المقترح

يتألف النموذج المقترح (شكل 4) من عنصرين رئيسيين:

مرطبة عالية الأداء (HPH) High Performance Humidifier: لترطيب الهواء حتى الإشباع (تسمح مرطبات التبريد الدقيق للماء،

وكذلك مولد البخار البارد (CSG) Cold Steam Generator وفق [5، 7]: بترطيب الهواء أديباتياً إلى

الشكل (3) يمثل أيضاً ثلاثة توابع:

الأول: تابع استمرار درجات الحرارة $(t_a - z)$ ، ويمثل عدد الساعات (h/a) ، أو عدد الأيام (day/a) خلال فصل التدفئة التي تقل فيها درجات الحرارة الخارجية عن الدرجة المقابلة على المحور t_a . (علماً بأن عدد ساعات فصل التدفئة لمدينة دمشق تبلغ نحو 2880 ساعة أو 120 يوماً).

الثاني: تابع التكرار التراكمي لدرجات الحرارة الخارجية $[h(t_a) - t_a]$ ، ويمثل أيضاً نسبة عدد ساعات فصل التدفئة (الشتوي) التي تقل فيها درجات الحرارة الخارجية عن الدرجة المقابلة على المحور t_a ، أي يمثل التكرار التراكمي (مجموع التكرار) الفصلي لدرجات الحرارة الخارجية بدءاً بدرجة الحرارة التصميمية الخارجية لمدينة دمشق ($-2^\circ C$) حتى درجة الحرارة المعنية.

الثالث: تابع الاستطاعة الحرارية النسبية اللازمة للتدفئة $(\bar{p}_H - z)$ ، أي نسبة الاستطاعة الحرارية اللازمة p_H إلى الاستطاعة الحسابية الاسمية p_{Hn} عند درجة حرارة تصميمية خارجية $(t_a = -2^\circ C)$ أو $\bar{p}_H = \frac{p_H}{p_{Hn}}$. يسمح الشكل (3) بإيجاد الاستطاعة الحرارية الفعلية من أجل أي قيمة محددة للاستطاعة الاسمية.

تمثل المساحة المحصورة بين التابع \bar{p}_c ومحور الزمن الطاقة النسبية اللازمة خلال فصل التبريد، أي النسبة بين الطاقة الفعلية اللازمة، والطاقة الافتراضية اللازمة إذا عمل النظام بكامل الاستطاعة اسمية \bar{p}_{cn} طيلة مدة فصل التكييف (الصيفي) (شكل 2).

كما تمثل المساحة المحصورة بين التابع \bar{p}_H ومحور الزمن الطاقة النسبية اللازمة خلال فصل التدفئة، أي النسبة بين الطاقة الفعلية اللازمة والطاقة الافتراضية اللازمة إذا عمل النظام بكامل الاستطاعة الاسمية p_{Hn} طيلة مدة فصل التدفئة (شكل 3).

الأداء HPH حتى درجة الإشباع $\phi=1$ (الإجراء $B \leftarrow R$) في المبادل الحراري الدوار ترتفع درجة حرارة هواء التبريد وفق الإجراء $(E \leftarrow B)$ ويطرد. في وحدة المعالجة التقليدية يبرد الهواء حتى نقطة التغذية S.

في النظام الشتوي لا يرطب الهواء المسحوب من المكان المكيف في المرطبة، بل يسترجع جزء من طاقته في المبادل الحراري الدوار بواسطة الهواء الخارجي البارد شتاءً (الإجراء $A \leftarrow O$). وتتغير مواصفات الهواء المسحوب من المكان المكيف وفق الإجراء $E \leftarrow R$ ويطرد.

لا تمثل الإجراءات $A \leftarrow O$ و $E \leftarrow R$ شتاءً عمليات تبادل حراري محسوس، بل تحصل عملية تبادل حراري ومادي (طاقة حرارية ورطوبة) نتيجة وقوع درجة حرارة الهواء الخارجي البارد تحت درجة حرارة الندى للهواء الدافئ المراد استرجاع طاقته مما يتسبب في حصول عمليات تكاثف وتبخر على سطوح التبادل الحراري في المبادل الحراري الدوار [9، 10].

في وحدة المعالجة التقليدية يسخن الهواء ويرطب حسب الحاجة وصولاً إلى نقطة التغذية المناسبة S.

النموذج الرياضي

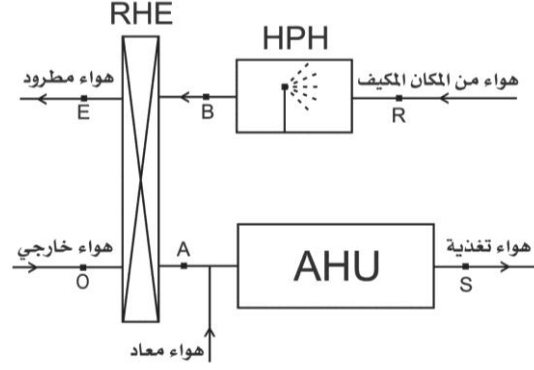
في العديد من الأماكن المكيفة، وفي مختلف المنشآت يدخل هواء جديد معالج، ويطرد الهواء المسحوب كله من الأماكن المكيفة وخاصة في المشافي والمخابر وأقسام الخدمة وغيرها [11، 12]، إلا أنّ الشائع في أنظمة التكييف المركزي وجود نسبة هواء معاد تختلف من منشأة إلى أخرى ومن وحدة معالجة إلى أخرى أيضاً.

ويكون تدفق الهواء المطرود \dot{m}_e مساوياً لتدفق الهواء

الجديد \dot{m}_o أو:

$$\dot{m}_o = \dot{m}_e \text{ kg/s} \quad (1)$$

ما فوق درجة الإشباع)، ومبادل حراري استرجاعي دوار (RHE) Rotary Heat Exchanger بمعامل استرجاع (مردود) ϕ يراوح بين 0.7 و 0.9 وفق [2، 8] وتعتمد للنموذج قيمة وسطية $\phi = 0.8$.



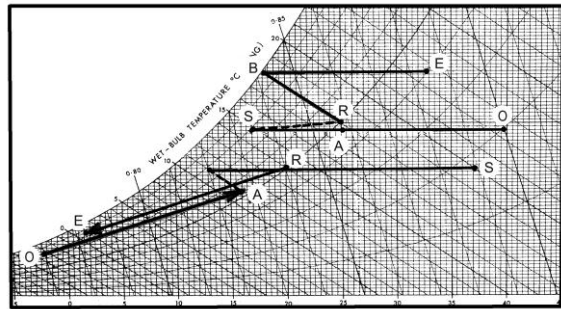
HPH: مرطبة عالية الأداء. RHE: مبادل حراري دوار

AHU: وحدة معالجة الهواء لنظام التكييف التقليدي.

الشكل (4) مخطط للنظام المقترح ويربطه بوحدة معالجة الهواء لنظام التكييف التقليدي.

يركّب النموذج على دارة التكييف مباشرة لمعالجة الهواء قبل وحدة المعالجة التقليدية AHU.

يبين الشكل (5) إجراءات التبادل الحراري والمادي للنموذج المقترح في مخطط الهواء الرطب (أو المخطط البسايكرومترى) صيفاً وشتاءً. تم مطابقة النقاط على المخطط ونقاط وصل النموذج شكل (4).



الشكل (5) معالجة الهواء في مخطط الهواء الرطب وفق النموذج المقترح شكل (4) صيفاً (في الأعلى)، شتاءً (في الأسفل).

في نظام التكييف الصيفي يرطب الهواء المسحوب من المكان المكيف ترطيباً أديباتياً بواسطة مرطبة الهواء عالية

HPH (شكل 4) ويمكن معرفتها من الشروط الداخلية للمكان المكيف أو:

$$t_A = t_O - \phi(t_O - t_B) \quad (7)$$

الاستطاعة التبريدية الكلية اللازمة:

$$p_{ct} = C_a \cdot \dot{m}_o(t_O - t_S) + C_a \cdot \dot{m}_o \dot{m}_R(t_R - t_S) \quad (kw) \quad (8)$$

وتكون نسبة التغطية للدائرة المقترحة :

$$v_C = \frac{P_{CR}}{P_{ct}} \quad (9)$$

وبأخذ العلاقات (3، 4، 5، 8) بالحسبان نجد:

$$v_C = \frac{\delta(t_O - t_A)}{\delta(t_O - t_A) + (1 - \delta)(t_R - t_S)} \quad (10)$$

تمثل v_C جزء الاستطاعة التبريدية الكلية الذي يغطي بواسطة الدائرة المقترحة.

من الشكل (4، 5) يلاحظ أن جزءاً من الاستطاعة التبريدية اللازمة يغطي وفق الإجراء $A \leftarrow 0$ من قبل الدائرة المقترحة حسب العلاقة (5) أما الجزء الثاني فيغطي وفق الإجراء $S \leftarrow A$ من قبل وشيعة التبريد التي تستمد طاقتها التبريدية من دائرة التكييف التقليدية (المبرد) وفق العلاقة:

$$p_{cc} = C_a \dot{m}_o(t_A - t_S) + C_a \dot{m}_R(t_R - t_S) \quad (kw) \quad (11)$$

من العلاقة (8) وبالأخذ بالحسبان أن:

$$(t_O - t_S) = (t_O - t_A) + (t_A - t_S)$$

يمكن صياغة علاقة الاستطاعة التبريدية الكلية اللازمة على النحو الآتي:

$$p_{ct} = C_a \dot{m}_o(t_O - t_A) + C_a \dot{m}_o(t_A - t_S) + C_a \dot{m}_R(t_R - t_S) \quad (kw) \quad (12)$$

من العلاقات (5، 11، 12) نجد استطاعة وشيعة

التبريد p_{cc} :

$$p_{cc} = p_{ct} - p_{cR} \quad (kw) \quad (13)$$

وتكون الاستطاعة النسبية لوشيعة التبريد:

$$\bar{p}_{cc} = \frac{p_{cc}}{p_{ct}} = 1 - \frac{p_{cR}}{p_{ct}} = 1 - v_C \quad (14)$$

أما تدفق هواء التغذية فهو:

$$\dot{m}_S = \dot{m}_O + \dot{m}_R \quad kg/s \quad (2)$$

\dot{m}_R تدفق الهواء المعاد .kg/s

نجد نسبة تدفق الهواء الجديد وفق العلاقة:

$$\delta = \frac{\dot{m}_O}{\dot{m}_S} \quad (3)$$

وتكون نسبة تدفق الهواء المعاد:

$$\frac{\dot{m}_R}{\dot{m}_S} = (1 - \delta) \quad (4)$$

النظام الصيفي:

بسبب وقوع درجات الحرارة لتدفعي الهواء في المبادل الحراري الدوار فوق درجات حرارة التكاثر (الندى) يكون التبادل الحراري محسوساً فقط [9، 11]، وتحسب الاستطاعة التبريدية للدائرة المقترحة (استطاعة المبادل الحراري الدوار) بالعلاقة:

$$p_{CR} = C_a \dot{m}_o(t_O - t_A) \quad (kw) \quad (5)$$

C_a السعة الحرارية للهواء (kJ/kg.°C).

t_A درجة حرارة الهواء الجديد بعد المبادل الحراري °C .
تحسب درجة حرارة الهواء الجديد بعد المبادل الحراري t_A شكل (4) من علاقة المردود للمبادل الحراري الدوار RHE وفق [5، 6] بالعلاقة:

$$\phi = \frac{t_O - t_A}{t_O - t_B} \quad (6)$$

ϕ مردود المبادل الحراري الدوار (0.7 - 0.9) والقيمة الوسطية $\phi = 0.8$.

t_B درجة حرارة الهواء المشبع بعد المرطب (°C)، وهي أيضاً درجة الحرارة الرطبة لهواء المكان المكيف، لأنها تمثل درجة حرارة هواء من المكان المكيف بعد ترطبيه ترطيباً أدبياتياً حتى درجة الإشباع في المرطبة

$$v_H = \frac{P_{HR}}{P_{Ht}} \quad (21)$$

من العلاقات (3، 4، 16، 19، 20، 21) ينتج:

$$v_H = \frac{\delta(h_A - h_o)}{\delta(h_s - h_o) + (1 - \delta)(h_s - h_o)} \quad (22)$$

تمثل v_H جزء استطاعة التسخين الكلية اللازمة للمكان المدفأ الذي يغطى بالدارة المقترحة.

ويمكن إيجاد الاستطاعة النسبية التصميمية أو الأسمية لوشية التسخين، ومن ثم لنظام التسخين التقليدي بطريقة ووشية التبريد نفسها أو:

$$\bar{p}_{Hcn} = 1 - v_{Hn} \quad (23)$$

v_{Hn} نسبة التغطية للدارة المقترحة شتاءً عند الشروط التصميمية.

وتمثل الاستطاعة النسبية التصميمية أو الأسمية لوشية التسخين، الاستطاعة المناسبة التي يمكن على أساسها اختيار استطاعة تجهيزات التسخين اللازمة.

النتائج

لاستخلاص النتائج من النموذج الرياضي ومعالجتها تعتمد الفرضيات الآتية :

1 - الشروط الداخلية:

$$\phi_R = 0.5 \quad t_R = 25^\circ\text{C} \quad \text{صيفاً}$$

$$\phi_R = 0.5 \quad t_R = 20^\circ\text{C} \quad \text{شتاءً}$$

2 - الشروط الخارجية وفق الشروط التصميمية لمدينة دمشق ومنحنى التكرار التراكمي (شكل 1).

3 - درجة حرارة هواء التغذية:

$$\text{صيفاً } t_s = 17^\circ\text{C} \quad \text{وشتاءً } t_s = 37^\circ\text{C}$$

4 - تؤخذ قيمة وسطية $\phi = 0.8$ لمردود المبادل الحراري الدوار.

يبين الجدول (1) نتائج أداء النموذج ونسبة التغطية الممكنة للاستطاعة اللازمة للتكييف عند القيم الحدية

وعند الشروط التصميمية، نحصل على الاستطاعة النسبية التصميمية أو الأسمية لوشية التبريد أو الدارة التقليدية.

$$\bar{p}_{ccn} = 1 - v_{cn} \quad (15)$$

v_{cn} نسبة التغطية للدارة المقترحة صيفاً عند الشروط التصميمية.

الاستطاعة النسبية التصميمية لوشية التبريد تمثل الاستطاعة المناسبة التي يمكن على أساسها اختيار استطاعة تجهيزات التبريد اللازمة.

النظام الشتوي:

تحسب الاستطاعة الحرارية للدارة المقترحة (استطاعة المبادل الحراري الدوار) بالعلاقة:

$$P_{HR} = m_o(h_A - h_o) \quad (kw) \quad (16)$$

h_o إنتالبي الهواء الخارجي (عند الشروط التصميمية) (kJ/kg).

h_A إنتالبي الهواء الجديد بعد المبادلة الحرارية (kJ/kg).

وتحسب h_A من علاقة مردود المبادل الحراري وفق [2] والأشكال (4، 5) بالعلاقة :

$$\phi = \frac{h_A - h_o}{h_B - h_o} \quad (17)$$

h_B إنتالبي الهواء وتطبق النقاط (B, R) في هذه الحالة، لأن هواء المكان المكيف المطرود يمرر مباشرة إلى المبادل الحراري (شكل 4) دون ترطيب، راجع الشكلين (4، 5):

$$h_B = h_R \quad (kJ/kg) \quad (18)$$

h_R إنتالبي الهواء في المكان المكيف (kJ/kg)

من العلاقتين (17، 18) نجد:

$$h_A = h_o + \phi(h_R - h_o) \quad (kJ/kg) \quad (19)$$

الاستطاعة الحرارية الكلية اللازمة

$$P_{Ht} = m_o(h_s - h_o) + m_R(h_s - h_R) \quad (kw) \quad (20)$$

الاستنتاجات

- 1 - تساعد مخططات التكرار التراكمي لدرجات الحرارة الخارجية بتقصي الحلول للعديد من مشكلات الطاقة ولاسيما في مجالي التدفئة والتكييف.
- 2 - تنتج عن الطرائق التقليدية في حساب أنظمة التدفئة والتكييف واختبارها استطاعات وحجوم كبيرة، ومن ثم كلفة عالية ويمكن في معظم الأحوال خفض الاستطاعات التصميمية اللازمة لعناصر أنظمة التدفئة والتكييف وإيجاد الحلول الموفرة البديلة.
- 3 - يستطيع النموذج المقترح تحقيق نسبة تغطية تسمح باعتماد الاستطاعات المعيارية حسب الشكلين (2، 3) في الحالات كلها شريطة ألا تزيد نسبة إعادة التدوير $(1 - \delta)$ على 75% أو ألا تقل نسبة الهواء الجديد δ عن 25%.
- 4 - يسمح الحل المقترح في الشروط المناخية لدمشق بخفض استطاعة عناصر أنظمة التكييف المركزي وحجمها ومن ثم كلفتها بحدود تصل إلى 75% لدارة التبريد و50% لدارة التسخين بما في ذلك المبردات والمراجل ويكون التوفير أعظمياً في الوحدات العاملة دون أدنى أو بحد أدنى من إعادة تدوير الهواء، وهي كثيرة وشائعة كما ورد سابقاً.

لدرجات الحرارة الخارجية من أجل قيم مختلفة لنسبة الهواء الجديد.

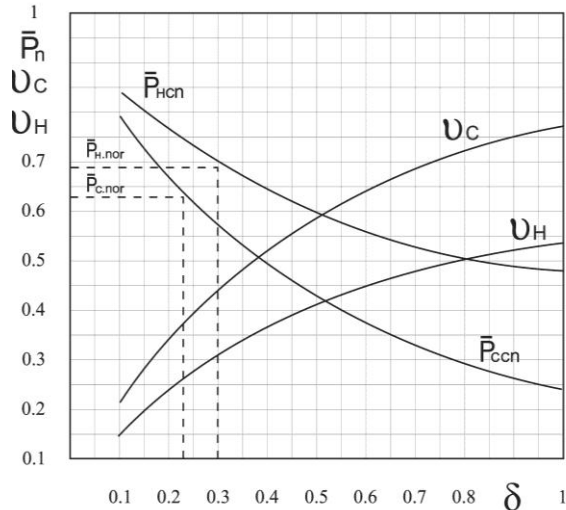
الجدول (1) الاستطاعات الاسمية النسبية المثلى، ونسب التغطية التصميمية من أجل قيم مختلفة لنسبة الهواء الجديد δ

\bar{P}_{Hcn}	\bar{P}_{ccn}	U_{Hn}	U_{Cn}	δ
0.47	0.23	0.53	0.77	1
0.49	0.26	0.51	0.74	0.9
0.51	0.29	0.49	0.71	0.8
0.53	0.33	0.47	0.67	0.7
0.56	0.37	0.44	0.63	0.6
0.60	0.42	0.4	0.58	0.5
0.64	0.49	0.36	0.51	0.4
0.79	0.57	0.3	0.43	0.3
0.76	0.67	0.24	0.33	0.2

كما يتضمن الجدول الاستطاعات الاسمية النسبية المثلى لعناصر النظام التقليدي صيفاً وشتاءً بعد دعمه بالدارة المقترحة.

تصل نسبة التغطية بالدارة المقترحة للوحدات التي تعمل بهواء جديد دون إعادة تدوير $\delta = 1$ إلى 0.77 لدارة التبريد و0.53 لدارة التدفئة.

النتائج المذكورة مبينة أيضاً في الشكل (6).



$\bar{P}_{H.nor}$ استطاعة التسخين المعيارية للنظام التقليدي

$\bar{P}_{C.nor}$ استطاعة التبريد المعيارية للنظام التقليدي

الشكل (6) نسبة التغطية لدارة المقترحة والاستطاعات النسبية التصميمية لوحدة المعالجة عند نسب إعادة تدوير مختلفة.

جدول الرموز والمصطلحات

C_a	السعة الحرارية للهواء ($kJ/kg^{\circ}C$)
$h(t_a)$	التكرار التراكمي لدرجات الحرارة الخارجية (-)
h	إنتالبي الهواء (kJ/kg)
\dot{m}_S	تدفق الهواء (kg/s)
P	الاستطاعة (kw)
\bar{P}	الاستطاعة النسبية (-)
\bar{P}_n	الاستطاعة الاسمية النسبية (-)
P_c	الاستطاعة التبريدية (kw)
\bar{P}_c	الاستطاعة التبريدية النسبية (-)
P_{ct}	الاستطاعة التبريدية الكلية (kw)
P_H	الاستطاعة الحرارية (kw)
P_{Ht}	الاستطاعة الحرارية الكلية (kw)
$\bar{P}_{c.nor}$	الاستطاعة التبريدية النسبية المعيارية (-)
$\bar{P}_{H.nor}$	الاستطاعة الحرارية النسبية المعيارية (-)
$\bar{P}_{nc(opt)}$	الاستطاعة التبريدية النسبية الاسمية المثلى (-)
$\bar{P}_{nH(opt)}$	الاستطاعة الحرارية النسبية الاسمية المثلى (-)
T	درجة الحرارة ($^{\circ}C$)
Z	الزمن (h)
δ	نسبة الهواء الجديد (-)
ϕ	مردود المبادل الحراري (-)
∂_c	نسبة التغطية بالطاقة التبريدية (-)
∂_H	نسبة التغطية بالطاقة الحرارية (-)

المراجع REFERENCES

- 1- Documentation of Syrian Meteorological Administration , Damascus 2007.
- 2- Reinmuth, F. Lufttechnische Prozesse, Theorie und Praxis C.F. Mueller Verlag 1998.
- 3- Doerk, H. “Raunklimatisierung mittels indirekter (Adiablater) Verdunstungskuehlung” Essen 1995.
- 4- Franzke, U. “Adiabate Verdunstungs Kuehlung” Fachbericht ILK Dresden 1996..
- 5- Heinrich, G., Franzke, U. “Sorptionsgestuetzte Klimatisierung, C. F. Mueller Verlag, Heidelberg 1997.
- 6- Gegenstrom – Waermeaustauscher, Fa. SEW Systemtechnik, GmbH.
- 7- Projektunterlagen KV-System mit Kaldampfgenerator der Fa. LTA Dresden.
- 8- ADSOLAIR, Firmenunterlagen der Fa. Menerga Aparatebau GmbH.
- 9- ASHRAE Hand Book, Fundamentals 2005, Application 2007.
- 10- Al-Jarrah, M. S., Moudallal, G. “Hating and Industrial Ventilation” Publication of Damascus University 2011.
- 11- Schramek, E. R. “Recknagel – Sprenger, Taschenbuch fuer Heizung und Klimatechnik 2003 / 2004.

Received	2016/01/24	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2016/06/29	قبول البحث للنشر