مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (36) العدد (1) 2014
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (36) No. (1) 2014

تطوير عمل أنظمة التحكم بأنظمة التكييف المركزية

الدكتور محمد صالح الأيوبي*
أحمد محمود المصري**
محمد موفق الخطيب***

(تاريخ الإيداع 29 / 8 / 2013. قُبِل للنشر في 12/ 2 / 2014)

□ ملخّص □

يعد قطاع المباني من أبرز القطاعات المستهلكة للطاقة، فبالإضافة إلى الإنارة أصبح موضوع التكييف من الضروريات في جميع المباني سواء منها السكنية أو الإدارية والخدماتية الخاصة منها أو العامة، وذلك لتوفير ظروف الراحة المناسبة للموظفين والعمال وتحسين الإنتاجية بأقل التكاليف الممكنة.

يهدف هذا البحث إلى دراسة التحكم بكميات الهواء الجديد والمطرود في القاعات التدريسية والصالات الكبيرة بشكل عام ذات العدد المتغير للأشخاص المتواجدين فيها، من خلال ضبط كميات الهواء الجديد والمطرود تبعاً لإشغاليه المكان من خلال تجهيزات تقيس كمية ثاني أكسيد الكربون في المكان المدروس وبالتالي التحكم بكمية الهواء الجديد والمطرود.

تم إجراء دراسة تطبيقية واقتصادية لاستخدام نظم التحكم تلك وتم استخلاص مجموعة من النتائج والاستنتاجات.

الكلمات المفتاحية: HVAC control , Controlled Ventilation Using CO_2 Sensors ،التحكم بالتهوية الصناعية للصالات والقاعات التدريسية.

* أستاذ مساعد في قسم هندسة الطاقة الكهربائية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة دمشق.
** قسم هندسة الطاقة الكهربائية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة دمشق.
*** قسم هندسة الطاقة الكهربائية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة دمشق.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (36) العدد (1) 2014
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (36) No. (1) 2014

Developing Control Systems for Central Air-Conditioning Systems

Dr. Mhd. S. Al-Ayoubi[*]
A. Almasri[**]
M. M. Al-kateeb[***]

(Received 29 / 8 / 2013. Accepted 12 / 2 / 2014)

□ ABSTRACT □

The building sector is considered one of the leading sectors in energy-consumption. In addition to lighting, heating and cooling systems have become important consumers in all buildings (both residential, administrative, and service both private and public) ensuring a comfortable environment for staff and workers and improving productivity at the lowest possible cost. This research aims to study the control quantities of fresh and exhausted air in large halls and auditoriums, where the occupancy level changes. This is done by adjusting the amount of fresh and exhausted air according to the occupancy via CO_2 sensors, which measure the ratio of CO_2 in the targeted places, controlling the volume of fresh and exhausted air according to the number of available people. A case study was done to use control systems; final results and conclusions have been illustrated.

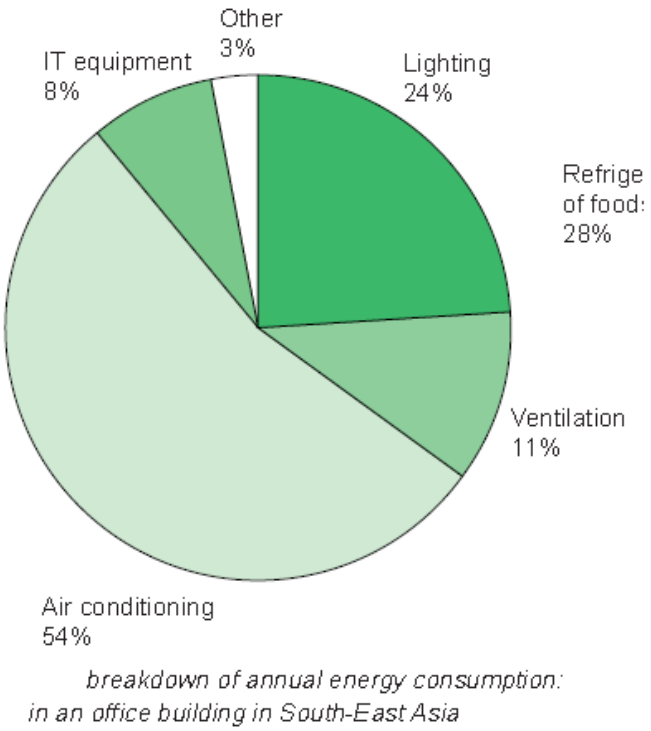
Keywords: Controlled Ventilation Using CO2 Sensors, Controlling Ventilation For Large-Hall and Auditorium, HVAC control

[*] **Associate Professor, Electrical Power Department, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Damascus University, Syria.**
[**] **Postgraduate Student, Electrical Power Department, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Damascus University, Syria.**
[***] **Postgraduate Student, Electrical Power Department, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Damascus University, Syria**

مقدمة:

تعد نظم التكييف من أبرز مستهلكات الطاقة في الأبنية السكنية والتجارية والخدماتية الخاصة منها والعامة، وقد ازداد انتشار هذه الأنظمة في الآونة الأخيرة بشكل كبير وأصبحت من الضرورات الأساسية في كل بناء، حيث يبين الشكل (1) تحليل استهلاك الطاقة الكهربائية لبناء مكاتب في شرق أسيا، ونلاحظ أن نسبة استهلاك الطاقة الكهربائية على التكييف كان نحو 54% وعلى التهوية نحو 11%.

وعليه فإنه يجب مراجعة طرق التحكم بهذه الأنظمة، والعمل على تحقيق الراحة الحرارية بأقل التكاليف الممكنة، هذه العملية تمكن من المحافظة على كميات هائلة من الطاقة وغالبا ما تكون بدون تكلفة عالية.[1]



الشكل (1) تحليل استهلاك الطاقة لبناء مكاتب في جنوب شرق أسيا[1]

أهمية البحث وأهدافه :

تم في هذا البحث التركيز على فكرة ضبط كميات الهواء الجديد والمطرود في الصالات والقاعات الكبيرة المتعددة الاستعمال وفقاً لعدد الأشخاص بداخلها، من خلال تركيب حساس لقياس نسبة ثاني أكسيد الكربون في الهواء المطرود، وبالتالي قياس تركيز ثاني أكسيد الكربون في هواء المكان المكيف، وإعطاء الأوامر لخانقات الهواء (DAMPERS)، والمراوح الضرورية للتحكم بكمية الهواء الجديد والمطرود، للحفاظ على بيئة داخلية مريحة وفقا للمعايير الدولية، بأقل التكاليف الممكنة.

طرائق البحث ومواده:

الأسس النظرية:

يسبب الناس القاطنون داخل الأبنية تغيرات فيزيائية وكيماوية معينة للهواء المحيط بهم، إذ تتناقص كمية الأكسجين الموجودة في الهواء بينما تزداد كمية غاز ثاني أكسيد الكربون، كما يصدر عن الجسم والملابس روائح عضوية إضافة إلى ما يبثه الجسم من الحرارة والرطوبة، وإلى الملوثات العضوية وغير العضوية التي تنشأ عن العمليات الصناعية وغازات العادم في المعامل وغيرها.

لذلك فإن تجديد الهواء يتطلب استعمال كميات مناسبة من الهواء الخارجي للمحافظة على المواصفات الداخلية المريحة حرارياً وصحياً للإنسان ويمكن حساب معدلات تغيير الهواء بحسب استعمال المكان والمتطلبات داخله.[7]

تطور أنظمة التحكم بالتكييف:

عرفت أنظمة التحكم بالتكييف منذ القديم فلطالما وجِدت في المباني التجارية الكبيرة من خلال ضبط كميات الفحم في المراجل (التي استخدمت سابقاً في التدفئة)، وفتح أو إغلاق صمامات أنابيب المياه يدويا، وذلك لتمكين تدفق المياه الساخنة خلال دارات التدفئة، ومن ثم تطور التحكم بها لاحقاً لاستخدام لوحات كهربائية تقليدية تتكون من كونتكتورات وريليات وكباسات ومفاتيح ومصابيح انارة توضح حالات التشغيل المختلفة للنظام(عمل،إيقاف،عطل)..الخ .

ومع تطور التقنيات الحديثة والتقدم الكبير في مجال الحواسيب والمتحكمات الصغرية، تطورت أنظمة التحكم بالتهوية والتكييف ليشمل أمور المراقبة والتحكم والتشغيل في المنشأة أو البناء بغية الوصول إلى بيئة مريحة للعمل والإقامة بأقل التكاليف الممكنة.

وبفضل هذه الأنظمة تمكن صاحب المبنى أو مدير التشغيل والصيانة من مراقبة كل معدات وأجهزة المبنى والتحكم فيها مركزياً – أوعن بعد– من خلال حاسوب شخصي متصل بكل المعدات عن طريق شبكة محلية، ومتحكمات، وحساسات.

مكونات نظم التكييف المركزي:

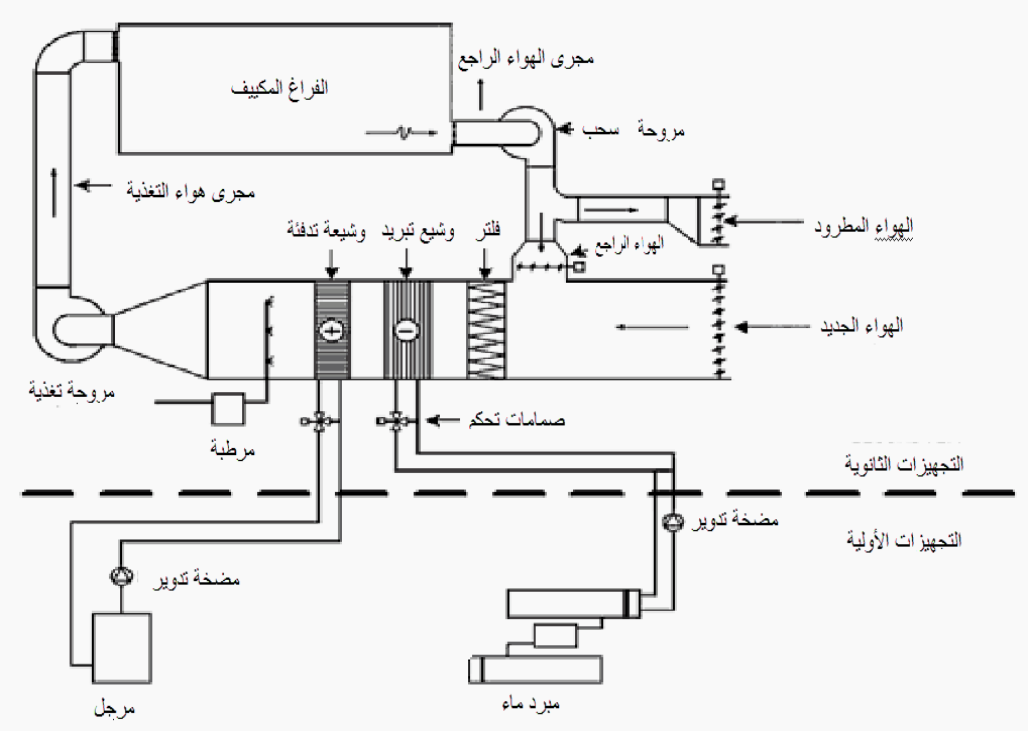
يبين الشكل (2) مخططاً نموذجياً لنظام تكييف مركزي، ويتكون بشكل رئيس من:

وحدة التبريد: تقوم بتبريد وسيط التبريد (ماء أو غاز)، وإرساله عبر مضخات إلى وشيعة التبريد في وحدة المعالجة.

المرجل: يقوم بتسخين الوسيط (ماء غالباً)، وإرساله عبر مضخات إلى وشيعة التسخين في وحدة المعالجة.

وحدة المعالجة: وتحتوي وشيعة تبريد ووشيعة تسخين بالإضافة إلى فلاتر(مرشحات) هواء ومرطبة.

بالإضافة إلى الأنابيب والصمامات ومجاري الهواء والمراوح اللازمة.



الشكل (2) مخطط رمزي يوضح عمل أنظمة التكييف المركز

آلية عمل منظومة التحكم بكميات الهواء الجديد والمطرود:

يقوم نظام التحكم الجديد بقياس نسبة ثاني أكسيد الكربون في الهواء المطرود من الفراغ المدروس، من خلال حساس ثاني أكسيد الكربون مركب على مجرى الهواء الراجع [2،3]، ويعطي الحساس إشارة للمتحكم (Direct Digital Control)(DDC) الذي يقوم بإعطاء إشارة تحكم للمعرج (Inverter) القائد لمحرك خانق الهواء (Damper) ليفتح ويغلق حسب كمية ثاني أكسيد الكربون المقاسة، حيث توصي الجمعية الأمريكية للتدفئة و التبريد و التكييف (ASHRAE) بأن تكون قيمة ثاني أكسيد الكربون ضمن الأبنية بنحو (PPM) 1000، حيث مستوى ثاني أكسيد الكربون في الهواء الخارجي بحدود (PPM) 325–370.[4] والجدول (1) يحدد سويات نسبة ثاني أكسيد الكربون ومستويات التهوية المناسبة.

الجدول (1) تأثير كمية CO_2 على نوعية الهواء[5]

Ventilation Rates with approximate Corresponding CO2 Concentration Rates & Air Quality		
CO2 PPM	Air Quality	CFM/ Person
2400	Unacceptable	5
2200	Very Poor	
2000		6
1800	Poor	
1600		8
1400	Marginal	10
1200		
1000	Ideal	15
800		20
	Over Ventilated	25 - 30
600		>30
400	Outside Conc.	

الدراسة التطبيقية:

تم تطبيق الدراسة على قاعة (صالة) محاضرات طلابية تتسع لنحو 300 شخص، حيث تحدد كمية الهواء الجديد اللازم للشخص الواحد ب25 م^3/ساعة[6]، وبالتالي كمية الهواء الجديد اللازم للصالة تكون:

25*300=7500 م^3 / ساعة

بالتالي يتم حساب كمية الحرارة اللازمة لتكييف الهواء الجديد من العلاقة (اقتصرنا ببحثنا على حساب الاستطاعة اللازمة لتكييف الهواء الجديد فقط الخاصة دون التطرق لتفصيلات حسابات التكييف الأخرى):

$$Q_{th} = Mv \cdot \rho \cdot C\,(t_r - ts)$$

Q_{th}: الاستطاعة اللازمة لتكييف الهواء (Wth)

$$Q_{ele} = 1.4 * Q_{th}$$

Q_{ele}: الاستطاعة الكهربائية اللازمة لتكييف الهواء (Wele).

Mv: كمية الهواء المطلوب للتكييف (m^3/s).

ρ: كثافة الهواء(kg/m^3) وتساوي (1.14) عند درجة الحرارة (40^0) و (1.27) عند درجة الحرارة (6^0) .

C: الحرارة النوعية للهواء ($j/kg.c^0$) وتساوي (1026).

tr-ts : فرق درجتي الحرارة الداخلية والخارجية للهواء (C^0)[6].

– بتطبيق العلاقة السابقة على البيانات الخاصة بصالة المحاضرات تكون الاستطاعة اللازمة لتكييف 7500 م^3 من الهواء الخارجي الجديد(حساب الاستطاعة اللازمة لتكييف الهواء الجديد فقط):

*** الحسابات الصيفية:**

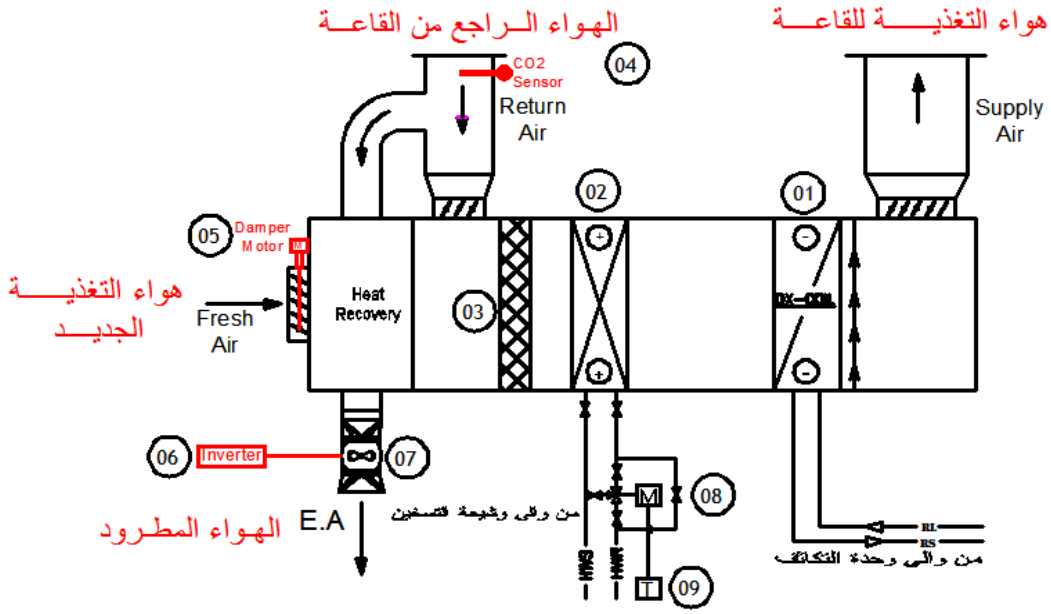
$$Q = 7500 * 1.14 * 1026 * (40 - 24)$$
$$Q = 38988\, W_{th}$$
$$Q = 38988 / 3600 = 10.83 TON$$
$$Q_{ele} = 10.83 * 1.4 = 15.16\, kw_{ele}$$

*** الحسابات الشتوية:**

$$Q = 7500 * 1.27 * 1026 * (20 - 6)$$
$$Q = 38004\, W_{th}$$
$$Q = 38004 / 3600 = 10.5 TON$$
$$Q_{ele} = 10.5 * 1.4 = 14.7\, kw_{ele}$$

وبالتالي نجد أن كمية الاستطاعة الكهربائية اللازمة لتبريد الهواء الجديد (Fresh Air) صيفا 15.16 كيلو واط، ولتسخينه شتاء 14.7 كيلو واط. إن كمية الهواء الخارجي الجديد السابقة تكون ثابتة في أنظمة التحكم التقليدية، بالتالي الاستطاعة الكهربائية المصروفة ثابتة ولا تتغير مع تغير عدد الأشخاص. أما نظام التحكم في هذا البحث فيمكن من التوفير في استهلاك الطاقة الكهربائية عند عدم امتلاء الصالة المدروسة عن طاقتها الاستيعابية لها من خلال تأمين كميات هواء جديدة متناسبة مع عدد الأشخاص الموجودين في الصالة المدروسة.

التطبيق العملي:



الشكل (3) مخطط وحدة المعالجة للصالة المدروسة

يبين الشكل (3) وحدة المعالجة المغذية للصالة، مع الإضافات الجديدة اللازمة للقيام بالتحكم بالهواء الجديد والمطرود وفقا لعدد الأشخاص في الصالة، وتكون الإضافات على نظام التحكم هي:

- **حساس ثاني أكسيد الكربون:**

يركب على مجرى الهواء الراجع لقياس نسبة ثاني أكسيد الكربون في هواء الصالة (رقم 4 في الشكل3).

- **محرك خانق الهواء (محرك دامبر):**

وذلك للتحكم بكمية الهواء الجديد الداخل للصالة (رقم 5 في الشكل 3).

- **معرج (Inverter):**

يتم التحكم بمروحة طرد الهواء من خلال تركيب معرج للتوتر، وبالتالي التحكم بكمية الهواء المطرود (رقم 6 في الشكل 3).

•متحكم (DDC):

يقوم بأخذ المعلومات من حساس الـ CO_2 وإعطاء الأوامر المناسبة للحفاظ على بيئة داخلية مريحة بأقل التكاليف الممكنة.

النتائج والمناقشة :

تبين الجداول (2،3،4) التوفير الناتج ومدة الاسترداد عند نسب امتلاء متعددة للصالة وذلك انطلاقا من المعطيات الأتية:

- سعر الكيلو واط الساعي [1] (0.069،0.022،0.04)$.
- معدل عدد ساعات امتلاء الصالة 4 ساعات يوميا.
- تكلفة التجهيزات الإضافية المستخدمة (DDC، حساس الـCO_2، محرك الدامبر، المعرج) مع توصيلاتها وأجرة اليد العاملة 500 $.
- عدد أيام عمل نظام التكييف صيفاً 60 يوم.
- عدد أيام عمل نظام التكييف شتاءً 75 يوم،

* تم احتساب أيام عمل التكييف صيفا وشتاء كما يأتي:

صيفاً:

- 4 أشهر صيف.
- 5 أيام عمل أسبوعياً.

وبالتالي أيام العمل: 5*4*4= 80 يوم عمل.

وباعتبار 75% نسبة تشغيل التكييف في الصالة من أيام العمل.

80*0.75 = 60 يوم عمل صيفاً.

شتاءً:

- 5 أشهر شتاءً.
- 5 أيام عمل أسبوعياً.

وبالتالي أيام العمل: 5*5*4= 100 يوم عمل.

وباعتبار 75% نسبة تشغيل التكييف في الصالة من أيام العمل.

100*0.7 = 75 يوم عمل شتاءَ.

---

1 تم اعتماد الأسعار (0.069،0.04،0.022) $ مع اعتبار سعر صرف الدولار 175 ل.س ، وفقا لمايأتي:

0.069 $:الكلفة الحقيقية لتوليد الكيلو واط الساعي الواحد ،حسب مركز بحوث الطاقة في وزارة الكهرباء السورية، ويعادل 12 ل.س.

0.04 $: سعر الكيلو واط الساعي للمنشآت التجارية في سوريا حسب أسعار وزارة الكهرباء السورية ويعادل 7 ل.س.

0.022$: سعر الكيلو واط الساعي للمؤسسات والمنشآت الحكومية في سوريا حسب أسعار وزارة الكهرباء السورية ويعادل 4 ل.س.

تم حساب قيمة التوفير الصافي بعد خمس عشرة سنة (العمر الافتراضي للحساسات المستخدمة) مع الأخذ بعين الاعتبار عوامل تعجيل مختلفة (7%،10%،14%) وذلك بالاعتماد على قانون التعجيل (Present Worth)[7]:

$$F = P\,(1+i)^{n}$$

حيث:

F: القيمة المكافئة للدفعات الشهرية (المرابح) بعد الأخذ بعين الاعتبار عامل التعجيل.

P: قيمة الدفعة السنوية دون أخذ عوامل تعجيل.

i: قيمة عامل التعجيل.

n: عدد السنين.

وبالأخذ بعين الاعتبار حسم قيمة الكلفة التأسيسية يمكن حساب الربح الصافي بعد عشر سنوات من العلاقة:

$$F = P(1+i)^{n} - k$$

حيث:

K: كلفة تركيب المواد.

وباعتبار أن الدفعات تأتي مرة كل عام، تكون القيمة الصافية للتوفير بعد عشر سنوات مع الأخذ يصبح القانون على الشكل التالي:)i(بعين الاعتبار عامل التعجيل

$$A = P\frac{(1+\mathrm{i})^{n}-1}{(1+\mathrm{i})^{n}*\mathrm{i}} - k$$

حيث:

A: سلسلة الدفعات المتساوية.

تبين الجداول (2،3،4) نتائج الدراسة الاقتصادية لاستخدام التحكم بالهواء في الصالة المدروسة بالنسبة لقيم مختلفة لسعر الكيلو واط الساعي (0.022،0.04،0.069) $ وتبيان أثر تغييره على القيم المحسوبة لنسب مختلفة لامتلاء الصالة، ولعوامل تعجيل مختلفة.

الجدول (2) مدة استرداد رأس المال و الدراسة الاقتصادية لتعديل التحكم في الصالة باعتبار تكلفة الكيلو واط الساعي (12 ل.س=$0.069)

عدد الاشخاص في الصالة	نسبة اشغال الصالة	كمية الهواء الجديد المزرق (m3/h)	التوفير الصيفي (kw.h)	التوفير الصيفي اليومي (kw.h)	التوفير الصيفي خلال (60يوم) (kw.h)	التوفير الشتوي (kw.h)	التوفير الشتوي اليومي (kw.h)	التوفير الشتوي خلال (75 يوم) (kw.h)	التوفير السنوي (kw.h)	التوفير السنوي ($)	اجمالي تكلفة التجهيزات ($)	مدة استرداد رأس المال (سنة)	التوفير الصيفي بعد 15 سنة بدون الاخذ بعين الاعتبار عوامل التعديل	التوفير الصيفي بعد 15 سنة مع الاخذ بعين الاعتبار عامل التعديل (الحد الأعلى) %14	التوفير الصيفي بعد 15 سنة مع الاخذ بعين الاعتبار عامل التعديل (الحد الأدنى) %10	التوفير الصيفي بعد 15 سنة مع الاخذ بعين الاعتبار عامل التعديل (الحد) %7
>30	10%	6750	13.64	55	3274	13.23	53	3969	7243	500	500	1.00	6996	2569	3301	4052
>60	20%	6000	12.12	48	2909	11.76	47	3528	6437	444	500	1.13	6162	2228	2878	3545
>90	30%	5250	10.60	42	2544	10.29	41	3087	5631	389	500	1.29	5328	1886	2455	3039
>120	40%	4500	9.08	36	2179	8.82	35	2646	4825.2	333	500	1.50	4494	1545	2032	2532
>150	50%	3750	7.56	30	1814	7.35	29	2205	4019	277	500	1.80	3660	1203	1609	2026
>180	60%	3000	6.04	24	1450	5.88	24	1764	3214	222	500	2.25	2826	852	1187	1520
>210	70%	2250	4.52	18	1085	4.41	18	1323	2408	166	500	3.01	1992	520	764	1013
>240	80%	1500	3.00	12	720	2.94	12	882	1602	111	500	4.52	1158	179	341	507
>270	90%	750	1.48	6	355	1.47	6	441	796	55	500	9.10	324	165-	82-	0

*تمت مدة الدراسة 15 سنة بالاعتماد على العمر التصميمي للتجهيزات المستخدمة.

الجدول (3) مدة استرداد رأس المال و الدراسة الاقتصادية لتعديل التحكم في الصالة باعتبار تكلفة الكيلو واط الساعي (7 ل.س=$0.04)

عدد الأشخاص في الصالة	نسبة إشغال الصالة	كمية الهواء الجديد المؤثر (m3/h)	التوفير الصيفي (kw.h)	التوفير الصيفي اليومي (kw.h)	التوفير الصيفي خلال (60 يوم) (kw.h)	التوفير الشتوي (kw.h)	التوفير الشتوي اليومي (kw.h)	التوفير الشتوي خلال (75 يوم) (kw.h)	التوفير الشتوي (kw.h)	التوفير الشتوي ($)	إجمالي تكلفة التجهيزات ($)	مدة استرداد رأس المال (سنة)	التوفير الصافي بعد 15* سنة (بعد الأخذ بعين الاعتبار عوامل التعديل)	التوفير الصافي بعد 15* سنة مع الأخذ بعين الاعتبار عامل التعديل (الخصم) %14	التوفير الصافي بعد 15* سنة مع الأخذ بعين الاعتبار عامل التعديل (الخصم) %10	التوفير الصافي بعد 15* سنة مع الأخذ بعين الاعتبار عامل التعديل (الخصم) %7
>30	10%	6750	13.64	55	3274	13.23	53	3969	7243	290	500	1.73	3846	1279	1704	2139
>60	20%	6000	12.12	48	2909	11.76	47	3528	6437	257	500	1.94	3362	1081	1458	1845
>90	30%	5250	10.60	42	2544	10.29	41	3087	5631	225	500	2.22	2879	883	1213	1551
>120	0.4	4500	9.08	36	2179	8.82	35	2646	4825.2	193	500	2.59	2395	685	968	1258
>150	50%	3750	7.56	30	1814	7.35	29	2205	4019	161	500	3.11	1912	488	723	964
>180	60%	3000	6.04	24	1450	5.88	24	1764	3214	129	500	3.89	1428	290	478	671
>210	70%	2250	4.52	18	1085	4.41	18	1323	2408	96	500	5.19	945	92	233	377
>240	80%	1500	3.00	12	720	2.94	12	882	1602	64	500	7.80	461	106-	13-	84
>270	90%	750	1.48	6	355	1.47	6	441	796	32	500	15.70	22-	304-	258-	210-

* اعتمدت مدة الدراسة 15 سنة بالاعتماد على العمر التصميمي للتجهيزات المستخدمة

الجدول (4) مدة استرداد رأس المال و الدراسة الاقتصادية لتعديل التحكم في الصالة باعتبار تكلفة الكيلو واط الساعي (4 ل.س=0.022$)

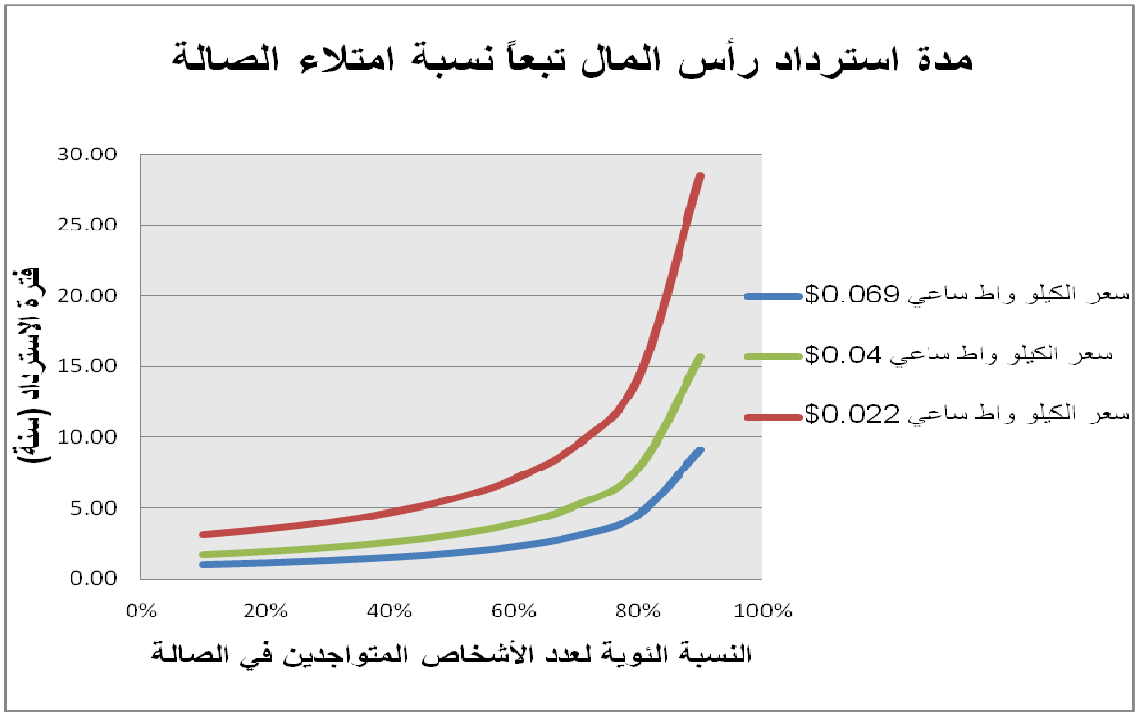
عدد الأشخاص في الصالة	نسبة امتلاء الصالة	كمية الهواء الجديد المزرقة (m3/h)	التوفير الصيفي (kw.h)	التوفير الصيفي الهبوطي (kw.h)	التوفير الصيفي خلال (60 يوم) (kw.h)	التوفير الشتوي (kw.h)	التوفير الشتوي الهبوطي (kw.h)	التوفير الشتوي خلال (75 يوم) (kw.h)	التوفير السنوي (kw.h)	التوفير السنوي ($)	إجمالي تكلفة التجهيزات ($)	مدة استرداد رأس المال (سنة)	التوفير الصافي بعد 15* سنة (دون الأخذ بعين الاعتبار عوامل التعديل)	التوفير الصافي بعد 15* سنة مع الأخذ بعين الاعتبار عامل التعديل (الخصم 10%)	التوفير الصافي بعد 15* سنة مع الأخذ بعين الاعتبار عامل التعديل (الخصم) %7
>30	10%	6750	13.64	55	3274	13.23	53	3969	7243	159	500	3.14	1890	479	951
>60	20%	6000	12.12	48	2909	11.76	47	3528	6437	142	500	3.53	1624	370	790
>90	30%	5250	10.60	42	2544	10.29	41	3087	5631	124	500	4.04	1358	261	628
>120	0.4	4500	9.08	36	2179	8.82	35	2646	4825.2	106	500	4.71	1092	152	467
>150	50%	3750	7.56	30	1814	7.35	29	2205	4019	88	500	5.65	826	43	305
>180	60%	3000	6.04	24	1450	5.88	24	1764	3214	71	500	7.07	560	66-	144
>210	70%	2250	4.52	18	1085	4.41	18	1323	2408	53	500	9.44	295	175-	18-
>240	80%	1500	3.00	12	720	2.94	12	882	1602	35	500	14.19	29	284-	179-
>270	90%	750	1.48	6	355	1.47	6	441	796	18	500	28.54	237-	392-	340-

* اعتمدت مدة الدراسة 15 سنة بالاعتماد على العمر التصميمي للتجهيزات المستخدمة.

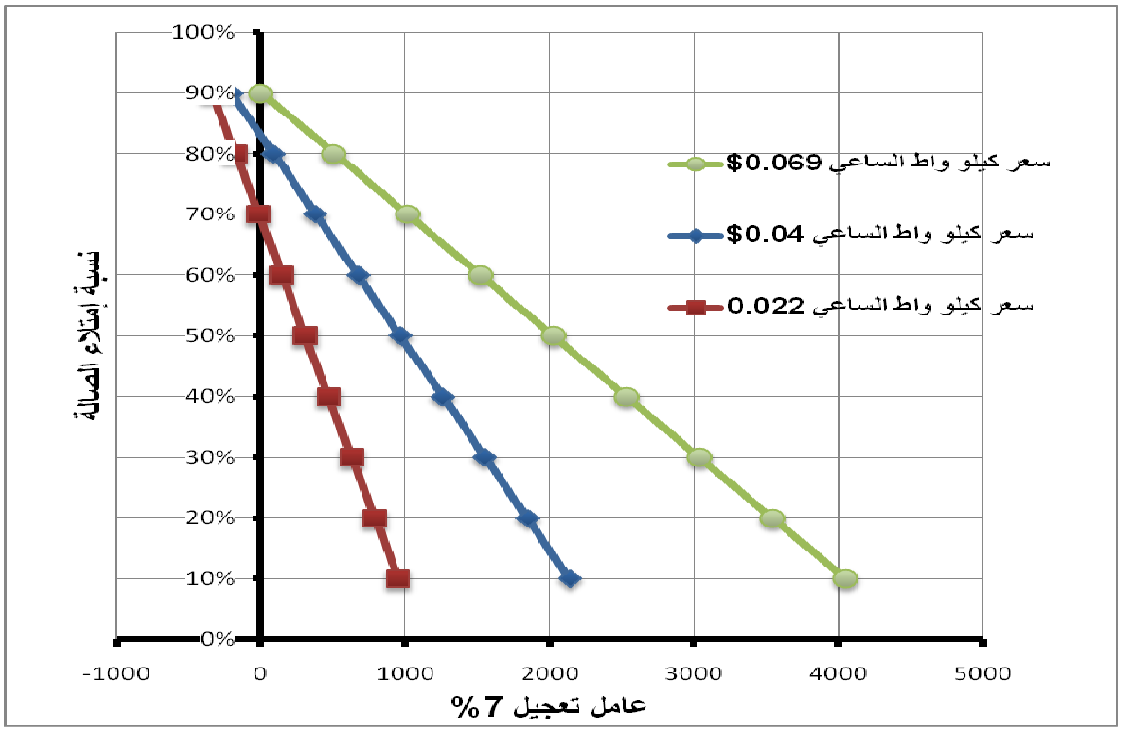
بينما الشكل(4) يبين فترة استرداد رأس المال مقارنة مع نسبة امتلاء الصالة عند أسعارمختلفة للكيلو واط الساعي(0.022،0.04،0.069) $، نلاحظ أنه وعند معدل نسبة امتلاء 80% للصالة يكون استرداد رأس المال بعد

نحو 5 سنين بالنسبة لسعر كيلو واط الساعي (0.069 $) ، ويصل لنحو 8 سنين عند سعر الكيلو واط الساعي (0.04 $)، ولنحو 14 سنة بالنسبة لسعر الكيلو واط الساعي ($0.022)

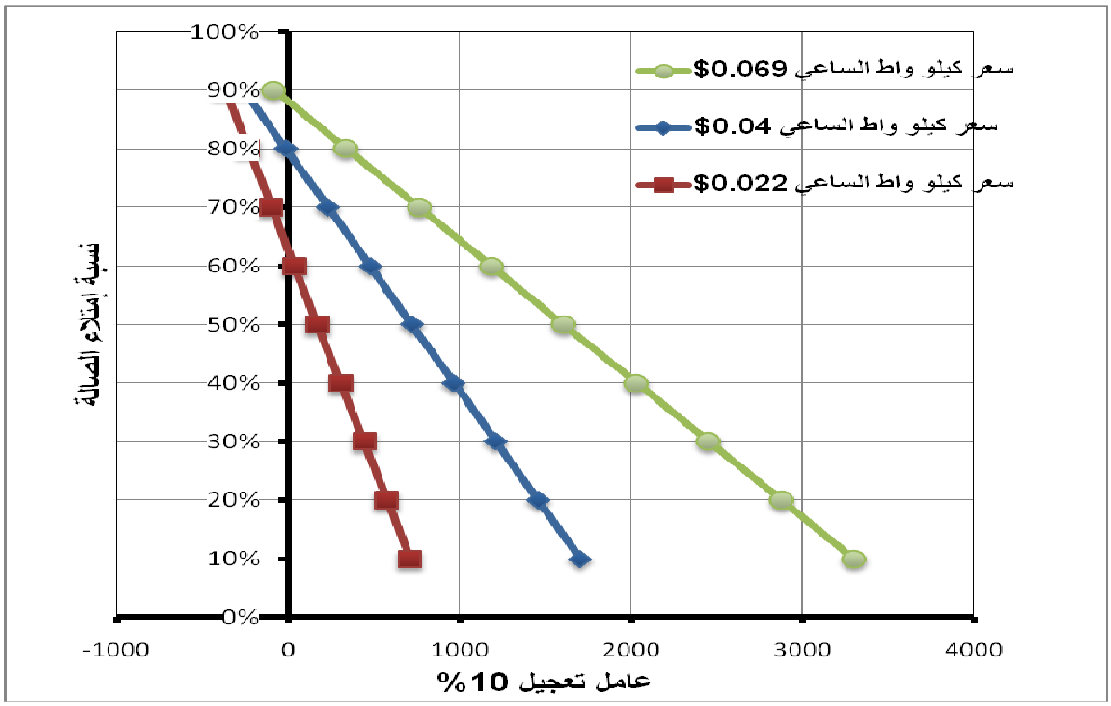
تبين الأشكال (5،6،7) قيمة التوفير المادي خلال 15 سنة، مقارنة بنسبة امتلاء الصالة بالنسبة لسعر الكيلو واط الساعي (4،7،12) ل.س مع الأخذ بعين الاعتبار عوامل تعجيل مختلفة (7%،10%،14%)، حيث يمثل الجزء السالب من المحور X المجال الخاسر لاستخدام هذه النظم فعلى سبيل المثال في الشكل (5) بالنسبة لسعر الكيلو واط الساعي ($0.069) وعند عامل تعجيل 7% يكون استخدام هذه النظم اقتصاديا إذا كان معدل نسبة امتلاء الصالة لغاية 70% من نسبة استيعاب الصالة الكلية، بينما يصبح استخدام هذه النظم غير اقتصادي إذا كان معدل نسبة امتلاء الصالة يزيد عن 70%. أما بالنسبة لسعر الكيلو واط الساعي ($0.04) وعند عامل تعجيل 10% كما هو مبين بالشكل (6) يكون استخدام هذه النظم اقتصاديا إذا كان معدل نسبة امتلاء الصالة لغاية 63% من نسبة استيعاب الصالة الكلية، بينما يصبح استخدام هذه النظم غير اقتصادي إذا كان معدل نسبة امتلاء الصالة يزيد عن 63%. وأما بالنسبة لسعر الكيلو واط الساعي ($0.022) وعند عامل تعجيل 14% يكون استخدام هذه النظم اقتصاديا إذا كان معدل نسبة امتلاء الصالة لغاية 55% من نسبة استيعاب الصالة الكلية، بينما يصبح استخدام هذه النظم غير اقتصادي إذا كان معدل نسبة امتلاء الصالة يزيد عن 55% كما هو مبين بالشكل (7).



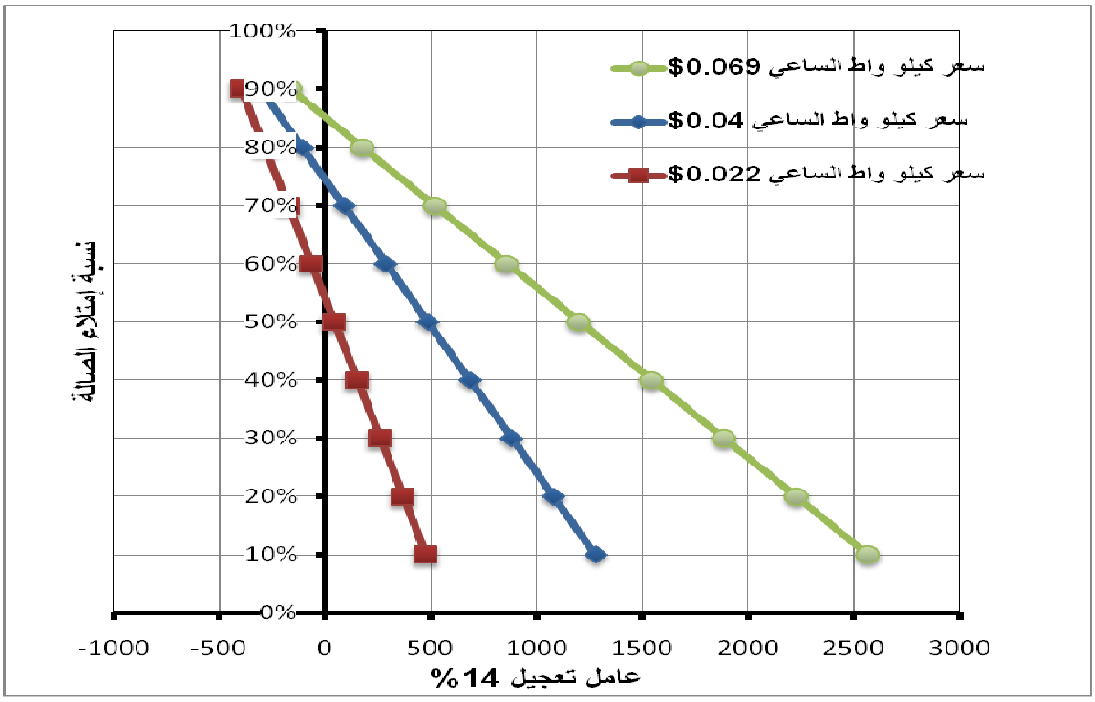
الشكل (4) فترة استرداد رأس المال مقارنة بنسبة امتلاء الصالة عند أسعار مختلفة للكيلو واط الساعي



الشكل (5) قيمة التوفير الصافي بعد 15 سنة مع الأخذ بعين الاعتبار عامل تعجيل بقيمة 7% بالنسبة لأسعار مختلفة لسعر الكيلو واط الساعي



الشكل (6) قيمة التوفير الصافي بعد 15 سنة مع الأخذ بعين الاعتبار عامل تعجيل بقيمة 10% بالنسبة لأسعار مختلفة لسعر الكيلو واط الساعي



الشكل (7) قيمة التوفير الصافي بعد 15 سنة مع الأخذ بعين الاعتبار عامل تعجيل بقيمة 14% بالنسبة لأسعار مختلفة لسعر الكيلو واط الساعي

الاستنتاجات والتوصيات:

1- إن التحكم بكمية الهواء الجديد والمطرود بما يتناسب مع عدد الأشخاص في الصالة المدروسة بحسب البحث المقدم ، يؤدي إلى توفير ملحوظ في الطاقة الكهربائية المصروفة على التكييف، حيث يصل هذا التوفير إلى (2408) كيلو واط ساعي سنويا وهو ما يعادل نحو 40% من الطاقة الكهربائية المصروفة على تكييف الهواء الجديد (كما في مثالنا المدروس، باعتبار المتوسط السنوي لامتلاء الصالة نحو 180 شخص "60% من استيعاب الصالة")، مع إمكانية استرداد رأس المال بعد أقل من ثلاث سنين (باعتبار سعر الكيلو واط الساعي 0.069 $).

2- إن التحكم بكميات الهواء الجديد والمطرود بحسب الطريقة المقترحة يوفر أيضا:

أ- استهلاك الطاقة الكهربائية المسحوبة (المستجرة) من قبل مروحة الطرد نتيجة لاستخدام الانفيرتر (المعرج).

ب- زيادة عمر الضواغط الغازية (نتيجة لانخفاض عدد الضواغط العاملة أو مراحل تشغيلها).

ج- إمكانية المراقبة والتحكم مركزيا، من خلال شاشة الحاسوب، مع إظهار رسوم بيانية وحالات عمل وتوقف كل التجهيزات الميكانيكية والكهربائية في المنشأة. وبالتالي سهولة تحليل الواقع الطاقي للبناء ومعالجة الحالات والحوادث الطارئة، وبالنتيجة التوفير بالجهد والمال.

د- التحكم بكمية الهواء الجديد والمطرود بما يتناسب مع عدد الأشخاص يكون غير فعالٍ في الحالات التي يكون فيها المكان المدروس (قاعة، صالة، مدرج...) ذا نسبة امتلاء عالية أي في الحالات التي يكون فيها المكان المدروس ممتلئة، وبالتالي ينصح بتطبيق هذا النظام فقط في الأماكن التي تكون نسبة اشغاليتها غير منتظمة وبنسب أقل من الطاقة الاستيعابية للمكان المدروس.

المراجع:

[1]. SCNEIDER ELECTRIC Cahier technique no. 206, Energy savings in buildings, collection technique, 2003.

[2]. Simon Heberger and others, New IAQ sensor for demand controlled ventilation, the P(34-36).,REHVA European HVAC journal , volume 49, Aug 2012

[3]. James R. Sand, Demand-Controlled Ventilation Using CO2 Sensors, Publicans of U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, 2004.

[4]. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2007(America Society of Heating, Refrigeration and Air Condition Engineers).

[5].(NYCECC)"New York City Energy Conservation Code"2011.

[6] . التدفئة والتهوية الصناعية – الدكتور محمد سعيد الجراح–الدكتور غسان مدلل– –منشورات جامعة دمشق– 2010.

[7]. محمد هاشم أبو الخير، اقتصاديات نظم القدرة الكهربائية، كتاب جامعي، منشورات جامعة دمشق، 1998.

–الرموز والمصطلحات المستخدمة:

- (ASHRAE): الجمعية الأمريكية للتدفئة و التبريد و التكييف.
(America Society of Heating, Refrigeration and Air Condition Engineers)
- (BEMS) أنظمة إدارة الطاقة في المباني(Building Energy Management System).
- (BMS): أنظمة إدارة المباني (Building Management System).
- (BAS): أنظمة أتمتة المباني(Building Automation System).
- (CFM): قدم مكعب بالدقيقة (Cubic Feet per Minute).
- (DDC): التحكم الرقمي المباشر (Direct Digital Control.)

–(NYCECC): كود حماية الطاقة لمدينة نيويورك (New York City Energy Conservation Code).