جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم هندسة القوى الميكانيكية

عنوان البحث

التنظيم الاقتصادي والطاقي في أنظمة التكييف ذات تغذية هواء متغير VAV وفقاً للشروط المناخية لمدينة دمشق

رسالة أعدت لنيل درجة الماجستير في هندسة التبريد

إعداد

الطالب المهندس: محمد خلدون بايزيد

بإشراف

المشرف العلمي الدكتور المهندس: وجيه ناعمة

المشرف المشارك الدكتور المهندس: نصر ياسين

العام الدراسي
2011-2010

الإهداء

إلى القلب المحب.. والسند العظيم...

شعلة التضحية التي لا تخمد ....

والدتي

إلى قدوتي في الحياة ... من علمني الصبر

والدي

إلى شريكة الدرب.. من أمّدتني بالحب والقوة

لك الفضل في كل خطوة من خطوات هذا البحث

زوجتي

إلى أغلى الناس إلى قلبي ...

معكم عشت أجمل اللحظات

إخوتي

إلى من جعل لحياتي طعماً أحلى ...

ثروتي في هذه الدنيا

أبنائي

كلمة شكر

الحمد لله رب العالمين وأفضل الصلاة وأتم التسليم على سيدنا ونبينا محمد وعلى آله وأصحابه أجمعين.

بعد أن تمَّ إنجاز هذا البحث، لابدَّ لي من وقفة شكر وامتنان لأساتذتي الكرام الذين لن أنسى فضلهم ما حييت وأخصُّ بشكري وتقديري:

الدكتور المهندس وجيه ناعمة، الذي تفضّل بالإشراف على هذه الأطروحة فأمدني بتوجيهاته وملاحظاته القيّمة ومنحني من وقته وجهده الكثير إلى أن تم إخراج هذا البحث إلى حيّز الوجود بالشكل اللائق.

وكذلك **الدكتور المهندس: نصر ياسين** المشرف المساعد الذي بقي يتابعني ويحفزني على اتمام البحث ولم يبخل بوقته وجهده فله مني خالص الشكر والإمتنان.

والأستاذ الدكتور المهندس: محمد سعيد الجراح

والأستاذ الدكتور المهندس: مروان شرباتي

اللذين تحملا استفساراتي وزودني بالنصائح والتوجيهات طيلة فترة اعداد البحث.

وأشكر **الدكتور علي سلامي** الذي زودني بكثير من الملاحظات الهامة التي أثرت البحث بشكل كبير.

وأشكر **الدكتور غسان الحسن** على نصائحه القيمة التي كان لها أكبر الأثر في تعديل كثير من الفصول لتوضيح فكرة البحث واظهار مدى أهميته.

وكذلك أشكر السادة من هيئة جايكا اليابانية وجامعة أوساكا في اليابان لتزويدهم لي بالكثير من المراجع الورقية والالكترونية وسماحهم لي للاستفادة من المكتبة واستعارة المراجع خلال وجودي في اليابان لمدة شهر خلال دورة إدارة العمليات الصناعية.

وأشكر المهندس بسام محاميد الذي أرسل إلي بكثير من المراجع و المخططات و الرسومات لمشاريع قام بتنفيذها في كندا.

وأشكر المهندس عبد الرحمن قصار الذي ساعدني كثيرا في التجارب وإخراج نتائجها.

وأخيراً أشكر جميع أعضاء الهيئة التدريسية في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة دمشق على ما قدموه لنا طيلة فترة الدراسة وبعدها ،وهذا دين في أعناقنا علينا تأديته عن طريق نقل خبراتنا إلى الجيل الجديد من مهندسي المستقبل.

أعضاء لجنة الحكم

إشارةإلى قرار رئيس الجامعة رقم 405 بتاريخ 2011/11/14 والمتضمن الموافقة على قيد الطالب محمد خلدون بايزيد بن محمد ياسر في السنة الثانية لدرجة الماجستير في الهندسة الميكانيكية -اختصاص هندسة تبريد قعسم هندسة الميكانيك العام بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، في موضوع بحث بعنوان:(**التنظيم الاقتصادي والطاقي في أنظمة التكييف ذات تغذية هواء متغير VAV وفقاً للشروط المناخية لمدينة دمشق).**

- اقتراح الموافقة على تشكيل لجنة الحكم على رسالة الماجستير للطالب محمد خلدون بايزيد وموافقة الدكتور وجيه ناعمة " المشرف العلمي "والدكتور نصر ياسين "المشرف المشارك"وهي بعنوان:
" التنظيم الاقتصادي والطاقي في أنظمة التكييف ذات تغذية هواء متغير VAV وفقاً للشروط المناخيـــة لمدينـــة دمشق".

واللجنة مؤلفة من السادة الدكاترة:

1 -الأستاذ الدكتور **علي سلامي** عضوا"
جامعة دمشق - كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية - اختصاص هندسة تحويل الطاقة وقياسات حرارية

2 -الأستاذ الدكتور **وجيه ناعمة** عضوا" مشرفا".
جامعة دمشق كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية - اختصاص هندسة آلات التبريد

3 -- الأستاذ المساعد الدكتور **غسان الحسن** عضوا" .
جامعة دمشق كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية -اختصاص الترموديناميك.

الإهداء
أعضاء لجنة الحكم
كلمة شكر
الفهرس
المصطلحات والرموز
الملخص
الفصل الأول: شرح نظام التكييف ذي تدفق هواء متغير ومقدمة تاريخية
1.1. مشكلة البحث وأهدافه 9
2.1. الدراسات السابقة 13
3.1. محتوى البحث 15
الفصل الثاني: أنواع الـــVAV 16
1.2. ما هو نظام الـــ VAV 17
1.1.2. لماذا نستخدم نظام VAV 19
2.1.2. مقارنة أنظمة التكييف 20
3.1.2 مكونات نظام الـــ VAV 23
2.2. أنواع وحدات الـــ VAV الطرفية 24
1.2.2. النظام الأول وحدة VAV ذات مجرى هواء إفرادي 24
2.2.2. النظام الثاني هو نظام VAV مع إعادة تسخين أو تبريد 25
3.2.2. النظام الثالث وحدة VAV مزودة بمروحة 26
4.2.2. النظام الرابع وحدة VAV ثنائية المجرى 28
1.5.2.2 النظام الخامس وحدة VAV مع تفريعة رجوع Bypass 29
2.5.2.2 طرفيات VAV مع تفريعة رجوع Bypass للسقف المستعار 30
3.2 أنظمة التحكم التابعة للضغط و المستقلة عنه 31
4.2 الوحدة الطرفية المقادة رقميا 33
5.2 نواشر الهواء (الدفيوزرات) 34
6.2 التحكم بمروحة وحدة المعالجة 35
1.6.2 وضع دامبر على مخرج المروحة 36
2.6.2 وضع دامبر على مدخ المروحة 37
3.6.2 التحكم بسرعة المروحة 38

4.6.2 التحكم بزاوية ريش المروحة 39
الفصل الثالث: عوامل اختيار القياس الداخلي للصندوق الطرفي في نظام VAV 41
1.3. الاستنتاجات 45
الفصل الرابع: مقارنة وتحليل الكلفة التأسيسية والتشغيلية ودورة الحياة لأنظمة تكييف الهواء ذات حجم الهواء الثابت CAV والمتغيرVAV 46
1.4. مقدمة 47
2.4. وصف البناء المدروس 48
3.4. وصف لنظام تكييف الهواء 49
4.4. تحليل تكاليف أنظمة تكييف الهواء 55
5.4. تحليل التكلفة لدورة الحياة لأنظمة تكييف الهواء 56
6.4 استنتاجات 58
الفصل الخامس: نواشر هواء بنظام VAV 59
1.5. نوع جديد من دفيوزرات الهواء 60
2.5. القياسات و النتائج 63
1.2.5. مناقشة النتائج 64
الفصل السادس: جودة الهواء الخارجي 65
الفصل السابع: القسم العملي 80
الفصل الثامن: الاستنتاجات والتوصيات 113

الملخص

Abstract

تم في هذا البحث دراسة نظام التغذية بحجم هواء متغير VAV وفقاً للشروط المناخية لمدينة دمشق مع التركيز على طرفيات الهواء المتغير ذات النظام البسيط بالتحكم.ولقد تم بناء منصة تجربة مصغرة لحجرتين متلاصقتين تغذيان بهواء تكييف متغير التدفق، و يتم التحكم بالتدفق عن طريق معير هواء (دامبر) مقاد بواسطة محرك تناسبي يأخذ اشارة من ترموستات رقمي تناسبي موضوع داخل غرفة الاختبار.

تم شرح طرفيات الـــ VAV وأنواعها ومكوناتها وحسناتها وسيئاتها كما تم التعرض إلى جودة الهواء الداخلي و فلاتر الهواء.

خلصت الدراسة بنتيجة مفادها أن تبني أنظمة الهواء المتغير حيثما كان ذلك ممكنا سيكون له أكبر الأثر في توفير استهلاك الطاقة.

الرموز والمصطلحات

Nomenclature		
AHU	air-handling unit	وحدة معالجة الهواء
CAV	constant-air-volume	تدفق هواء ثابت
COP	coefficient of performance	معامل الأداء
LCC	life-cycle cost	كلفة دورة الحياة
M	air-mass flow rate	تدفق الهواء
Mdsg	design air-mass flow rate	تدفق الهواء التصميمي
Pchil	power consumption of chiller at part load	استهلاك مبرد الماء عند الحمل الجزئي
Pfan	power of electric motor of fan	استطاعة المروحة الكهربائية
PWC	present-worth cost	القيمة الحالية المقدرة
Q	annual heating-energy requirement of building	حمل التدفئة السنوي للبناء
RTS	radiant time series	طريقة سلسلة زمن الاشعاع
U	overall heat-transfer coefficient	معامل انتقال الحرارة الكلي
VAV	variable-air-volume	تدفق هواء متغير
VSD	variable-speed drive	تحكم بسرعة دوران المروحة بتغيير الهرتز
ρ	density of air	كثافة الهواء

شرح نظام الهواء المتغير ومقدمة تاريخية

Introduction

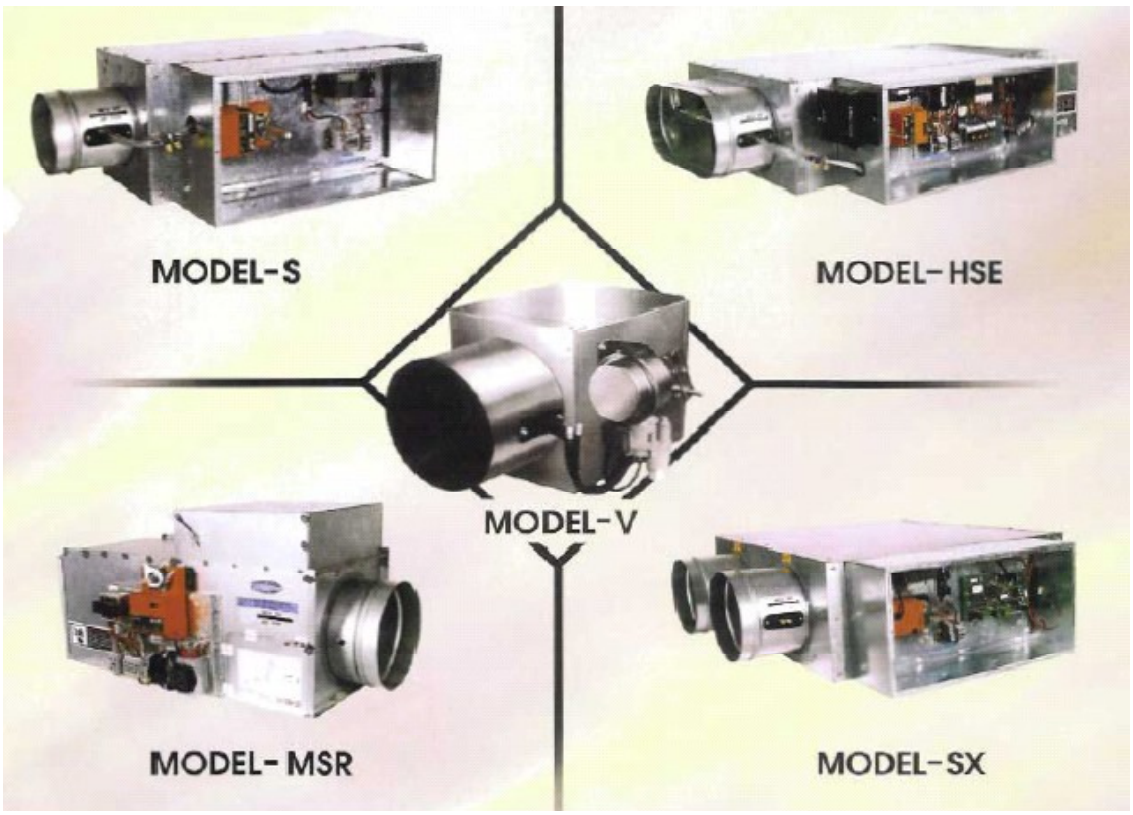
1.1. مشكلة البحث وأهدافه:

لا شك أن الاهتمام المتزايد بمسألة البيئة وتوفير الطاقة قد ألقى بظلاله على جميع التوجهات الصناعية وبخاصة صناعة التبريد وتكييف الهواء والتي هي من الصناعات ذات الاستهلاك الكبير للطاقة.

أنظمة التغذية بحجم هواء متغير VAV System من الأنظمة القديمة قدم التكييف نفسه فقد تجاوز عمر استخدامها نصف قرن من الزمان ولاتزال مستخدمة وهناك تطويرات وأبحاث عديدة عنها ولا يكاد يخلو أي كتاب أو مجلة علمية مهتمة بالتكييف من فصل أو مقالة عن هذا النظام.

بداية التفكير في هذا البحث بدأت عندما عملت في الخليج العربي لمدة ست سنوات في شركة مشاريع التدفئة والتبريد **HACE** Heating & Air Conditioning Enterprises **[1]**وهي شركة دراسات وتنفيذ ومعمل وقد كانت تصنع جميع تجهيزات التكييف بما فيها أنظمة الـــ VAV بترخيص من عدة شركات أمريكية أهمها شركة Temp Master - المملوكة حاليا من شركة York - والمختصة بأنظمة الـــ VAV وتعد أنظمتها من أنجح الأنظمة على مستوى العالم.عدد وحدات الـــ VAV المصنعة في معمل **HACE كان بحدود 5000 وحدة سنويا.**

انظر الشكل (1 -1).



الشكل (1- 1) طرفيات VAV مصنعة بمصنع HACE بالسعودية

عندما عدت من الخليج وعملت في مجال التكييف والتبريد في سورية وجدت الغياب الكامل لأنظمة الـــ **VAV**. وعندما عثرت على مشروعين منفذين في سورية من هذا النظام من قبل شركتين محليتين اكتشفت أن المهندس المنفذ اكتفى بتركيب معير هواء Air Damper موصول بمحرك كهربائي من نوع on-off أي أنه غير تناسبي ويأخذ إشارة من ترموستات وصل فصل ببساطة وعند مناقشة المصمم قال ان هذا هو نظام الـــ VAV وهذا التصميم لجأ إليه للتبسيط!
المشروع الوحيد الذي عثرت عليه والذي يستخدم نظام الـــ VAV لبعض المناطق هـــو فنـــدق الفصول الأربعة بدمشق ويوضح الشكل (1 -2) صورة المشروع.

الشكل (1- 2) فندق الفصول الأربعة في دمشق

من هنا كانت الفكرة لمشروع ماجستير يتناول أنظمة الـــ VAV بكامل متعلقاتها وتعقيداتها مع دراسة اقتصادية لإثبات فعالية هذا النظام وكذلك عمل نماذج مختلفة وحساب كلفة تصنيعها محليا ومقدار الوفر الكبير الحاصل في ذلك بدلا من استيرادها كاملة.

كذلك فقد توفرت بالأسواق اليوم محركات دامبر متطورة تتيح التحكم بنظام الـــ VAV بشكل مباشر سواء كان التحكم بالنظام من النوع التابع للضغط أو من المستقل عن الضغط Pressure Dependent & Pressure independent controller.هذه المحركات تحوي نظام التحكم بشكل متكامل معها دون الحاجة إلى ربطها بدارات الكترونية للتحكم مما يوفر السعر ويسهل عملية التركيب والصيانة.وقد تطورت كذلك متحكمات الحرارة للغرف Room Thermostats بشكل أصبح منها الرقمي digital القابل للبرمجة Programmable ومنها ما يملك حساسين أحدهما لقياس درجة حرارة الغرفة والثاني يقيس درجة حرارة هواء التغذية ليختار بشكل آلي طور التبريد أو التسخين Automatic Changeover.

و من ثمرات هذا المشروع رفد المخبر الخاص بالتكييف في الكلية بمنصة اختبار لهذا النظام يتعرف الطالب من خلالها على مكونات النظام ووصلها ويمكنه من إجراء التجارب وفرض السيناريوهات الممكنة ومراقبة عمل النظام حسب كل فرضية.

وقد حرصت بمنصة الإختبار على وضع عدة أنواع مختلفة من المحركات والترموستاتات بحيث تعطي المنصة فكرة عن جميع أنواع التحكم وليمكن إجراء عدة تجارب مختلفة وضمن توليفات متنوعة من فرضيات التشغيل Operating Scenarios.

ورب متسائل **يسأل هل من جديد في هذه الدراسة** فأقول انها أول دراسة بسورية في مجال الـــ VAV بل لعلها الأولى في اللغة العربية فلم أعثر رغم بحثي الشديد في المكتبات العامة والخاصة ومعارض الكتب وخلال تجوالي وسفري في العديد من الدول على أي مرجع عربي متخصص في هذا النظام، على الرغم من توفر آلاف المراجع التخصصية عن النظام باللغات الأخرى . وكذلك عندما نقوم نحن ببناء نظام التحكم بأنفسنا فيمكننا وقتها جعله مرنا مطواعا Flexible بشكل يلبي جميع احتياجاتنا.

لقد كان العديد من الزبائن والمهندسين المستلمين لمشاريع الـــ VAV بالخليج يطلبون تعديلات على الأنظمة مثل إمكانية الإغلاق الكامل لعدة وحدات في الغرف الشاغرة أو في حال فتح أحد النوافذ وأحيانا يطلبون الفتح الكامل لمعير الهواء عند شروط العمل الأعظمي غير الإعتيادية. وكذلك إمكانية ربط وحدات الـــ VAV مع أنظمة الحريق بحيث يمكن غلقها جميعا بالكامل عند حصول حريق منعا لانتشار الحريق،وقد كنا نجيبهم أن هذا غير ممكن لأن الأنظمة الجاهزة لها حدود فمنها ما يمكن من ضبط درجة الحرارة عند قيمة دنيا شتاء أو عليا صيفا للغرف الشاغرة لتقليل هدر الطاقة ولكن هذا الإجراء ليس بالإجراء الأمثل لتوفير الطاقة كذلك الأنظمة الجاهزة لها حدود بالنسبة لعدد الوحدات لكل نظام فمنها ما كان يستوعب بحد أقصى 16 وحدة ومنها ما يستوعب 18 كحد أقصى.

في نماذجنا أمكننا أن نحصل على نظام مرن جدا مستقل ومتوازن وزهيد الثمن مقارنة بالأنظمة الأخرى، يمكن بنظامنا ربط عدد غير محدود من الوحدات وكذلك يتميز بامكانية تجاوز إشارة الترموستات Overriding thermostat signal للوصول للفتح الكامل أو الغلق الكامل لمعير الهواء حسب الطلب.

كلفة النظام الجاهز لوحدة VAVواحدة مع نظام التحكم تصنيع خليجي أو أوروبي من 800 إلى 1200 دولار وكلفة الطرفية في نظامنا لا تتجاوز 200 دولار أمريكي ، مما يشجع على تبني هذا النظام عند توفر إمكانية تركيبه.

أخيرا وليس آخرا فإن من أهم أسباب عدم انتشار هذا النظام في سورية هو محدودية أنظمة التكييف المركزية من نوع الهواء الكلي عن طريق وحدة معالجة مركزيةAHU أو وحدة مجمعة مركزية Package Unit مع مناطق متعددة Multi Zones ، فأغلب الأبنية بنيت ثم فكر في تكييفها فأصبحنا نلجأ إلى المكيفات المنفصلة ووحدات وشيعة مروحة Fan Coils وأنظمة الفريون المركزية ذات تغذية فريون متغيرة VRV ، لعدم امكانية تمرير مجاري هواء Air Ducts ضخمة ضمن المبنى القائم مما يدفع المنفذين والدارسين إلى اعتماد الحلول الرخيصة في غياب وجود مواصفات وطنية معتمدة لمعدلات تدفق الهواء الدنيا ونسب الهواء الجديد اللازمة لكل تطبيق.

2.1. شرح النظام وأهميته:

نظام التغذية بهواء متغير هو نظام يغير كمية هواء التغذية ليوائم انخفاض الأحمال عند فترات الحمل الأصغرية مما يخفض من استهلاك الطاقة التبريدية والتسخينية وكذلك من استهلاك الطاقة الكهربائية للمراوح.

بينما الوحدات ذات كمية هواء تغذية ثابتة فتغير درجة حرارة هواء التغذية حسب الحمل.

ميزات أنظمة الـــ VAV

- تخفيض استهلاك الطاقة خلال الحمل الجزئي حيث أن المناطق غير المحملة كليا تخفض كمية الهواء المعالج المزود لها وبالتالي نقلل الضياعات لتكييف أماكن غير محملة.
- إمكانية التحكم بكل غرفة بشكل مستقل حيث لكل منطقة ترموستاتها المستقل ، وبالتالي يستطيع كل شخص التحكم بغرفته كما يرغب وكأنما منطقته مخدمة من قبل وحدة منفصلة.

- تخفيض كلفة التأسيس في الأنظمة ذات المناطق الكثيرة والمتباينة بفترات الذروة حيث نستطيع استخدام أجهزة ذات استطاعة أقل لأن حمل وحدة التكييف سيكون أقل من مجموع الذروات لأن هذه الذروات لا تحصل في وقت واحد.
- إمكانية تحديث وتطوير النظام في المستقبل بشكل سلس.

أما مساوىء أنظمة الـــ VAV فهي:

- كون التهوية غير مناسبة في فترات الحمل الدنيا ما لم يتم اتخاذ ترتيبات خاصة لتأمين التهوية الكافية.
- نظام أكثر تعقيداً من النظم التقليدية من حيث تكاليف الإنشاء والتركيب والصيانة عموماً.

تستخدم أنظمة الـــ VAV في المناطق التي تختلف فيها الأحمال بشكل كبير بحيث يكون هناك توفير كبير في استهلاك الطاقة .

لقد أصبحت أنظمة الـــ VAV منتشرة بكثرة في الغرب بعد مشكلة الطاقة عام 1973 م وأصبحت شائعة في الأبنية التجارية في الولايات المتحدة الأمريكية.

في نظام التحكم المستقل عن الضغط نستخدم طريقة لقياس الضغط لتصحيح توضع الدامبر فنكون بهذه الحالة نتحكم بتدفق الهواء حسب المطلوب.

3.1. الدراسات السابقة:

كما ذكرت آنفا أنظمة حجم الهواء المتغير قديمة بدأت بالستينيات وكثر الاهتمام بها ببداية السبعينيات عند وجود أزمة الطاقة وقتها وبقي الاهتمام بها يتزايد ليومنا هذا.

عدد المشاريع الهائل المعتمد على هذا النظام في الولايات المتحدة الأمريكية خصوصا وفي العالم عموما يدل دلالة واضحة على أهميته.

عندما عرض مشروع لأكبر الجامعات الأمريكية وطلب اختيار النظام الأمثل للتكييف كان النظام الفائز هو نظام VAV نظرا لتوفيره الهائل للطاقة ولشروط الرفاهية المتميزة لكل الشاغلين **[2]**.الشكل (1 3).

الشكل (1 -3) مباني جامعة أمريكية وملحقاتها تعمل بالكامل بنظام VAV

وكذلك يبين الشكل (1 -4) مشروعا متكاملا يعمل بنظام VAV **[3]**

Figure 103. Site #2 – Speculative Office Building in San Jose, CA

الشكل (1 -4) مبنى مكاتب تجارية في كاليفورنيا يعمل بالكامل بنظام VAV

3.1.محتوى البحث

يتألف هذا البحث من ثمانية فصول، حيث يعتبر الفصل الأول مقدمة عامة عن البحث، فقد تضمن مشكلة البحث وأهميته وأهمية نظام الـــVAV ومجاله كما تم التحدث فيه عن الدراسات السابقة

أما الفصل الثاني فقد تم فيه شرح مكونات نظام الـــVAV بكافة أنواعها، كما تمت مقارنة تلك الأنواع وقد تم في الفصل الثالث دراسة الحجم الأمثلي لطرفيات الـــVAV .

في الفصل الرابع تم مقارنة و تحليل الكلفة التأسيسة و التشغيلية و دورة حياة نظام تكييف ذي تدفق هواء ثابت ونظام ذي تدفق هواء متغير . وتم ملاحظة أن معامل استراداد رأس المال في أغلب التطبيقات يكون مقبولا من الناحية الاستثمارية حتى باستخدام طرفيات الهواء الجاهزة المستوردة.

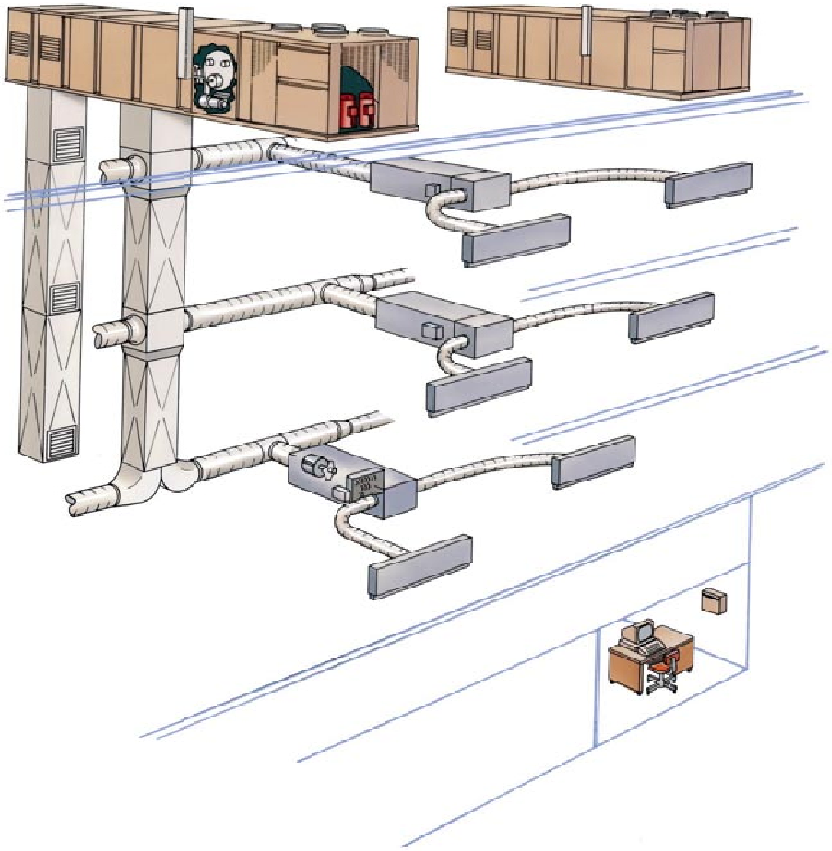
في الفصل الخامس تم ذكر تجربة عملية لتطبيق نظام الـــ VAV على مبنى تجاري قديم قائم في السويد مكيف بطريقة تقليدية بوحدة معالجة مركزية و تم تحويله لنظام VAV عن طريق دفيوزرات خاصة تتحكم بتدفق الهواء، و تم ملاحظة الوفر الكبير الحاصل في استهلاك الطاقة.

في الفصل السادس تم التعرض لجودة الهواء الداخلي Indoor Air Quality (IAQ) و فلاتر الهواء.

الفصل السابع هو الفصل العملي و فيه تحدثنا عن منصة الاختبار و مكوناتها المختلفة و كلفتها وتم اجراء التجارب على المنصة لفرضيات مختلفة.

وأخيراً تضمن الفصل الثامن الاستنتاجات والتوصيات.

الملاحق تحوي الكتالوجات لمكونات المنصة من محركات دامبر وحساسات حرارة و رطوبة و ترموستاتات.



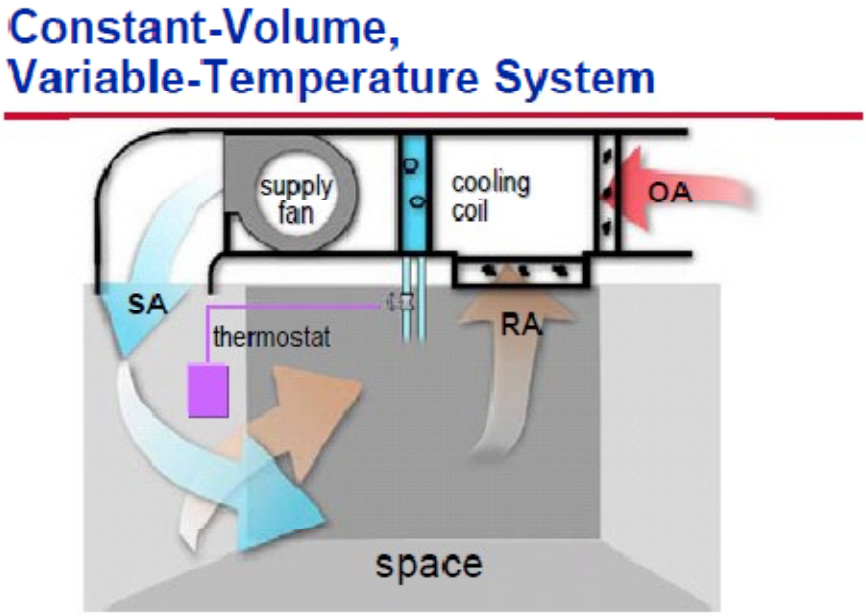
الفصل الثاني

أنظمة الـــVAV

1.2. ما هو نظام الـــ VAV [4]

نظام التكييف ذو حجم الهواء المتغير VAV يغير حجم هواء التغذية ذي درجة الحرارة الثابتة للتغلب على حمل المكان.

وعلى سبيل المقارنة سوف ننظر الى حالة نظام تكييف ذي كمية هواء ثابتة ودرجة حرارة متغيرة كما في الشكل (2 -1).

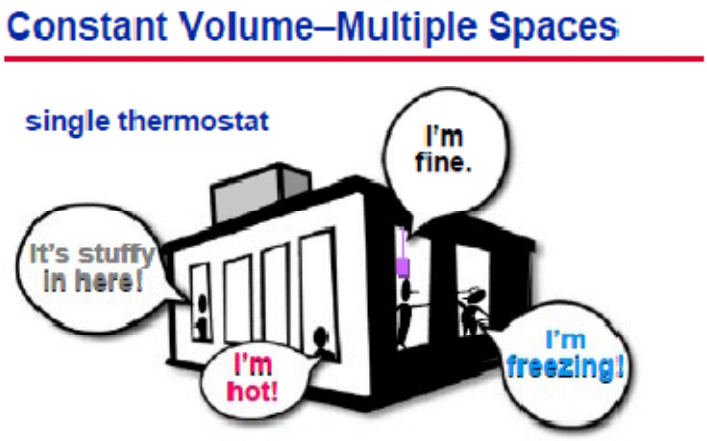


الشكل (2- 1) نظام تكييف ذو كمية تدفق هواء ثابتة ودرجة حرارة متغيرة

يقوم النظام بارسال كمية هواء ثابتة إلى المكان للحفاظ على درجة الحرارة المطلوبة في جميع حالات ا لحمل بتغيير درجة حرارة هذا الهواء.

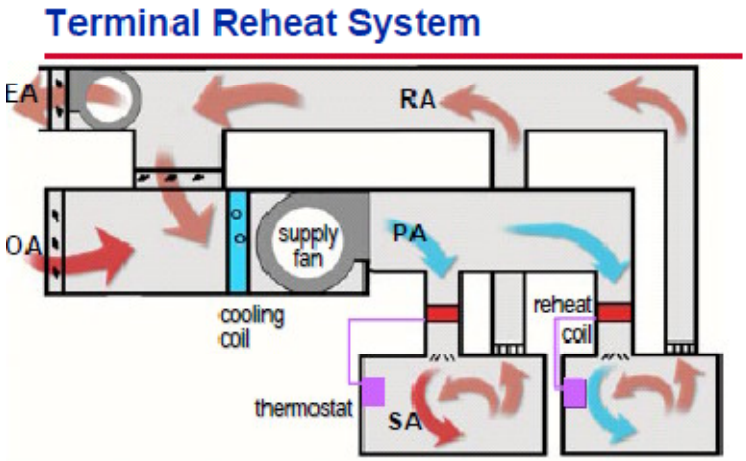
في هذا المثال يتم تغيير حرارة الهواء بالتحكم باستطاعة وشيعة التبريد.

يستجيب هذا النظام لترموستات واحد وبالتالي فانه يمكن أن يستخدم لبناء تملك جميع مساحاته نفس الخصائص التبريدية بينما إذا كان البناء ذو مناطق متعددة باستخدامات مختلفة فيجب أن تزود كل منطقة بنظامها الخاص وإلا شعر معظم قاطنو المكان بعدم الراحة أنظر الشكل (2 2).



الشكل (2- 2) نظام تكييف ذي كمية تدفق هواء ثابتة ودرجة حرارة متغيرة وترموستات وحيد

هناك تصاميم أخرى لأنظمة الحجم الثابت يمكن استخدامها لأكثر من منطقة بمروحة مركزية ووشيعة تبريد مركزية ولكن يجب إعادة تسخين الهواء الأولي أو مزجه مع هواء دافئ لتأمين درجة حرارة التغذية اللازمة للتغلب على أحمال المكان المختلفة.



الشكل (2- 3) نظام تكييف ذي كمية تدفق هواء ثابتة مع إعادة تسخين

يستخدم النظام في هذه الحالة وحدة معالجة هواء مركزية ووشيعة تبريد لتوليد الهواء الأولي **Primary air (PA)** إلى جميع المناطق ،بينما يوجد في كل منطقة جهاز تسخين لتأمين درجة الحرارة المناسبة للمكان الشكل (2 -3).

طبعا إن إعادة التسخين تعني إضافة حمل حراري إضافي يجب على نظام التكييف التغلب عليه مما يعني أن المبنى هو ذو حمل ثابت تقريبا حتى عندما يكون المبنى في حالة الأحمال الجزئية

لذلك فإن نظام إعادة التسخين لتحقيق درجة الحرارة اللازمة في حالة الأحمال الجزئية لا يعتبر طريقة فعالة من ناحية توفير الطاقة وتستخدم بشكل محدود في بعض التطبيقات الخاصة، أو في حالة وجود مصدر مجاني للحرارة (استرجاع حراري).

في الشكل PA هو الهواء القادم للوحدة الطرفية من المروحة المركزية

SA : هو هواء التغذية الداخل إلى المكان المكيف.

وعلى النقيض من هذا النظام يقوم نظام الحجم المتغير بتزويد هواء بدرجة حرارة ثابتة بينما يقوم بتغيير تدفق الهواء للحفاظ على درجة الحرارة المطلوبة في المكان المكيف.

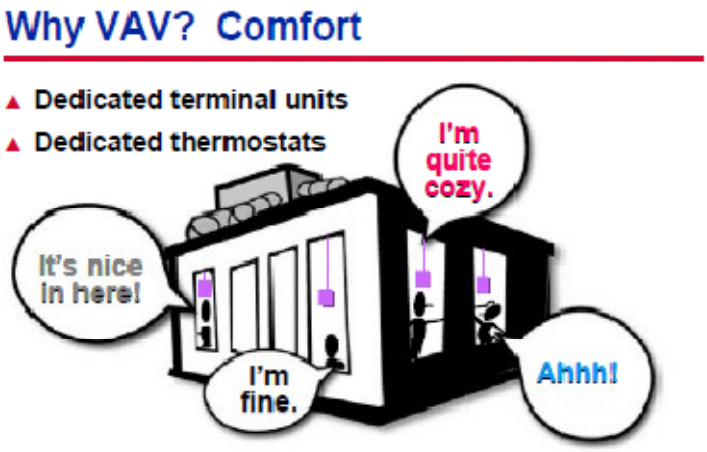
في حالة الحمل الجزئي يقوم نظام VAV بموازنة الحمل بتغيير كمية هواء التغذية ذي درجة الحرارة الثابتة.

1.1.2. لماذا نستخدم نظام VAV

هناك سببان يجعلان هذا النظام هو الأنسب في حالة الأحمال الجزئية

السبب الأول هو ان تخفيض كمية الهواء تؤدي لتخفيض الطاقة المستهلكة في مروحة تحريك الهواء حيث أن كمية الطاقة التي يتم توفيرها تعتمد على الطريقة المستخدمة لتغيير تدفق المروحة(سنناقشها لاحقاً).

السبب الثاني لكون النظام هو الأنسب هو تحقيق الراحة الحرارية لكل مكان حيث يمكن للنظام أن يتحكم بحرارة الكثير من الأمكنة ذات المتطلبات الحرارية المختلفة وباستخدام نظام تكييف مركزي واحد. ويتم تحقيق هذا باستخدام وحدة VAVوتيرموستات في كل مكان مكيف الشكل (2 -4).



الشكل (2- 4) تأمين الراحة الحرارية لكل المناطق حسب حاجتها

2.1.2. مقارنة أنظمة التكييف

النظام الأبسط هو نظام حجم الهواء الثابت مع درجة حرارة متغيرة ويستهلك استطاعة ثابتة من المروحة بينما يوفر في استطاعة التبريد عند الأحمال الجزئية ويمكن لهذا النظام أن يؤمن الراحة الحرارية للأماكن ذات الأحمال المتشابهة .

مشكلة الأنظمة المركزية ذات تدفق هواء ثابت وترموستات وحيد أن المنطقة الموجود فيها الترموستات هي الوحيدة التي يمكن ضبط حرارتها حسب الدرجة المرغوبة وباقي المناطق لا يمكن ضبطها.

أحد طرق التحكم بعدة مناطق في نظام التغذية بتدفق هواء ثابت هي تبريد الهواء بشكل زائد ثم تسخينه قبل كل منطقة حسب احتياجاتها، ويتم وضع ترموستات في كل منطقة ولكن بهذه الطريقة يوجد هدر كبير للطاقة في التبريد الأولي الزائد وفي التسخين وكذلك في المروحة التي تبقى دوماً سرعتها ثابتة.

في نظام الـــ VAV تأخذ كل منطقة حاجتها ويوجد توفير في طاقة التبريد والتسخين وكذلك في طاقة المراوح.انظر الجدول (2-1) الذي يعرض مقارنة بين هذه الأنظمة الثلاثة.

الجدول (2 -1) مقارنة بين تغذية تدفق ثابت مع وبدون إعادة تسخين وبين نظام الـــ VAV

تغذية هواء ثابت	تغذية هواء ثابت مع إعادة تسخين	تغذية هواء متغير
استهلاك طاقة ثابت للمروحة	استهلاك طاقة ثابت للمروحة	توفير استهلاك طاقة المروحة
توفير استهلاك الطاقة التبريدية	استهلاك ثابت للطاقة التبريدية	توفير استهلاك الطاقة التبريدية
تأمين الراحة لمنطقة واحدة فقط	تأمين الراحة الحرارية لعدة مناطق	تأمين الراحة الحرارية لعدة مناطق
	هدر كبير في الطاقة التسخينية عند الأحمال الجزئية	

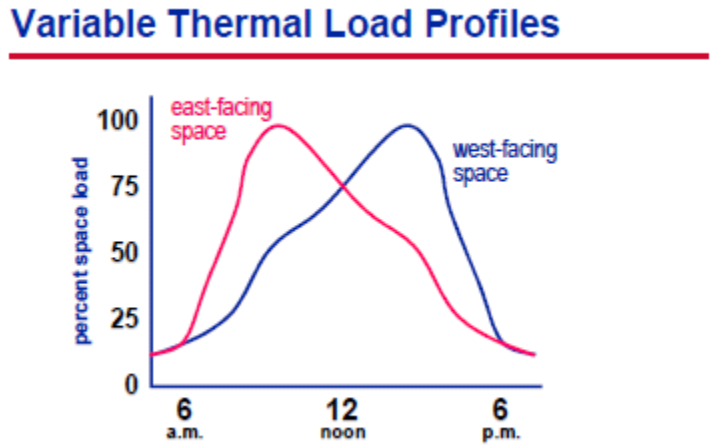
تظهر ميزات نظام الـــ VAV بشكل خاص في الأبنية الضخمة التي تحوي مناطق مختلفة لأوقات الذروة.

نظام الطرفية مع اعادة التسخين يمكن أن يخدم عدة اماكن ذات أحمال مختلفة ولكنه يستهلك استطاعة ثابتة للمروحة واستطاعة تبريد ثابتة تقريبا عند الحمل الجزئي ويستهلك أيضا حم تسخين إضافي عند الأحمال الجزئية.

ومن جانب آخر يمكن لنظام VAV أن يقدم توفيرا في استطاعة المروحة المستهلكة واستطاعة التبريد أيضا عند الأحمال الجزئية بحيث يكون الأفضل من ناحية توفير الطاقة بالنسبة للأنظمة الثلاثة المذكورة.

اضافة لذلك يمكن للنظام أن يخدم الكثير من الأمكنة ذات أحمال تبريدية غير متماثلة.

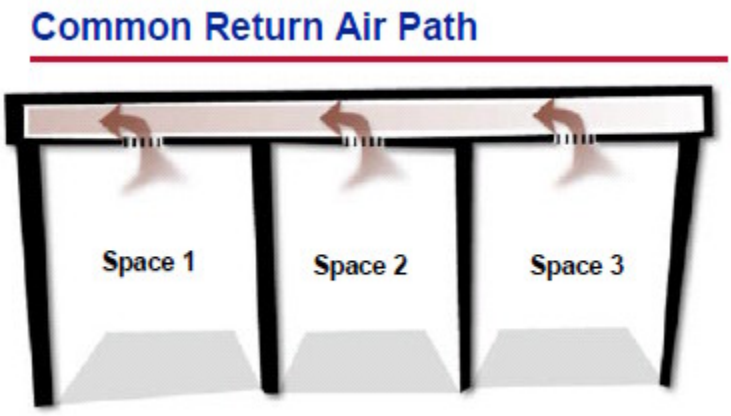
يمكن أن يكون للأبنية عند الواجهات الغربية أحمالا تختلف عن الواجهات الشرقية إن نظام حجم الهواء المتغير يلبي متطلبات الحمل طوال السنة مع تحقيق الوفر في الطاقة الشكل (2 -5).



الشكل (2- 5) منحني يبين توزع الأحمال الحرارية للواجهات الغربية و الشرقية

هناك ميزة أخرى لنظام حجم الهواء المتغير وهي تحقيقه لشروط الراحة في جميع فراغات البناء مع تحقيق التوفير في الطاقة مقارنة بنظام الطرفية مع التسخين.

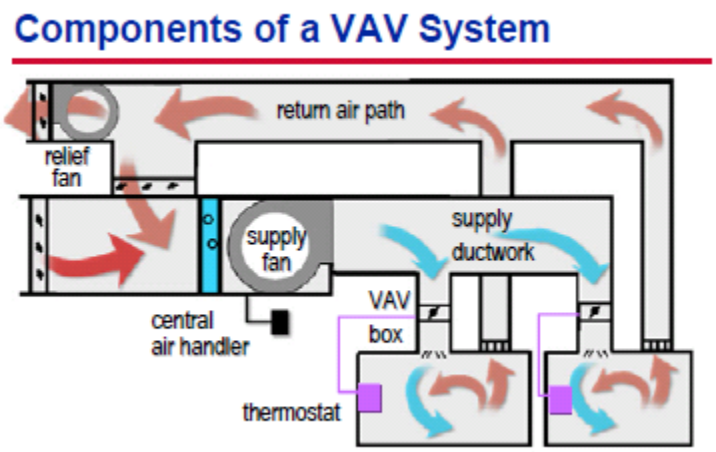
بسبب استعمال وشيعة تبريد مركزية يتوجب علينا إيجاد ممر مشترك للهواء الراجع وفي حال وجود عدة ممرات للهواء الراجع تصبح معايرة النظام والتحكم به أكثر صعوبة.الشكل (2 -6).



الشكل (2- 6) ممر مشترك للهواء الراجع

3.1.2. مكونات نظام الـــ VAV:

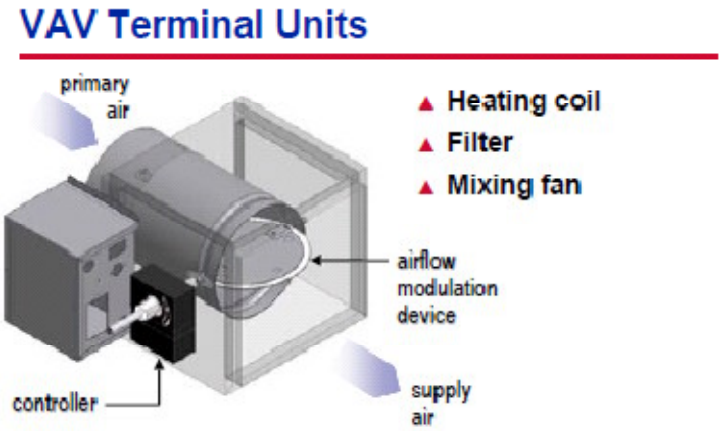
يتضمن نظام حجم الهواء المتغير العناصر التالية الشكل (2 -7):



الشكل (2- 7) مكونات نظام الـــ VAV

- وحدة معالجة هواء مركزية مروحة ذات سرعة متغيرة ووشيعة تبريد ووشيعة تسخين وفلاتر صندوق المزج ومروحة هواء راجع.
- مجرى هواء التغذية.
- وحدة حجم هواء متغير طرفية وفتحة خروج للهواء لكل مكان مكيف.
- تيرموستات مع وحدة تحكم لكل مكان.
- مجرى هواء راجع.

تقوم صناديق وحدات الهواء المتغير بتعديل كميات الهواء المقدم لكل مكان.



الشكل (2- 8) طرفية VAV مبسطة

صندوق الـــ VAV الشكل (2 8) هو عبارة عن صندوق معدني مركب على خط الهواء قبل فتحة خروج الهواء وتتضمن الوحدة جهاز تعيير الهواء ووحدة تحكم وبحسب نوع التطبيق يمكن أن يوجد وشيعة تسخين أو تبريد وفلتر ومروحة مزج صغيرة.

يتم تغيير كمية الهواء بموجب تيرموستات موجود في كل منطقة مكيفة بحيث يعطي إشارة لجهاز يتحكم بتدفق الهواء الى المكان المكيف.

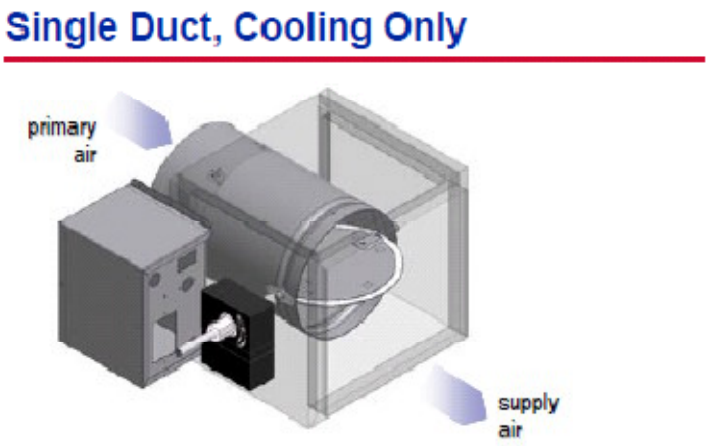
شفرة معير الهواء الدوارة تغير كمية الهواء عن طريق تطبيق مقاومة بوجه الهواء.

يمكن استعمال محرك يعمل على الهواء المضغوط أو الكهرباء لتغيير وضعية شفرة المعير الحجمي.

إن فهم أنواع وحدات حجم الهواء المتغير هو المدخل لفهم طريقة عمل أنظمتها.

2.2. أنواع الوحدات الطرفية المستخدمة في أنظمة الـــ VAV

1.2.2. النظام الأول وحدة VAV ذات مجرى هواء إفرادي



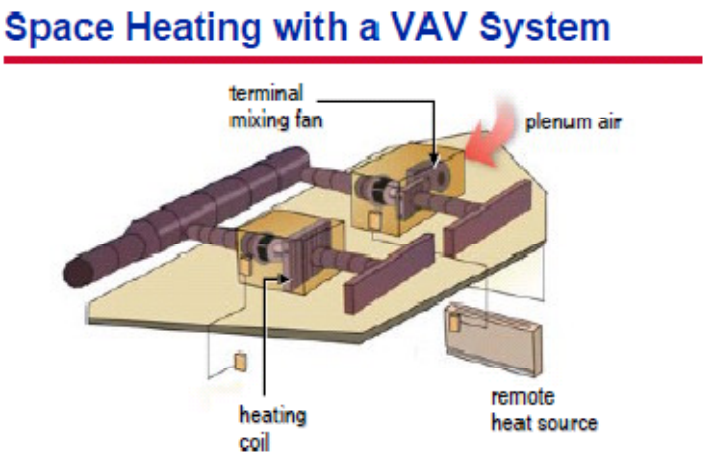
الشكل (2- 9) طرفية VAV ذات مجرى هواء أحادي ونظام تبريد فقط

إن أبسط نظام هو النظام ذو مجرى الهواء الإفرادي المستعمل في حالة التبريد الشكل (2 9). ويتكون من جهاز تعديل كمية الهواء مع التحكم اللازم في غلاف معدني موحد حيث تقوم الوحدة بتعديل كمية الهواء الوارد للمكان المكيف من وحدة معالجة الهواء المركزية.

ويستخدم هذا النظام في الأماكن التي تحتاج للتكييف (التبريد) على مدار العام كالغرف الداخلية في الأبنية.

يتم تخفيض تدفق الهواء الوارد للمكان مع نقص الحمل المطلوب استجابة للتيرموستات المركب في المكان تتراوح كمية هواء التغذية بين القيمة العليا والدنيا حيث تقابل القيمة العليا الحمل الكامل للمكان بينما تقابل القيمة الدنيا متطلبات التهوية للمكان.

يتم استخدام هذا النوع من الوحدات للأماكن التي لا تتطلب تدفئة وفي حال ضرورة وجود تدفئة يمكن اضافة مصدر حراري مستقل. في حال حصول زيادة في التبريد يعمل المصدر الحراري على تسخين المكان لتحقيق شروط الراحة الحرارية وتملك معظم الوحدات وسيلة للتحكم بمصدر الحرارة الإضافي. ويمكن أن نضيف على الوحدة وشيعة تسخين إضافية لتحقيق هذه الغاية حيث يمزج الهواء البارد بهواء آخر ساخن قبل دخوله للمكان المكيف. انظر الشكل (2 10).

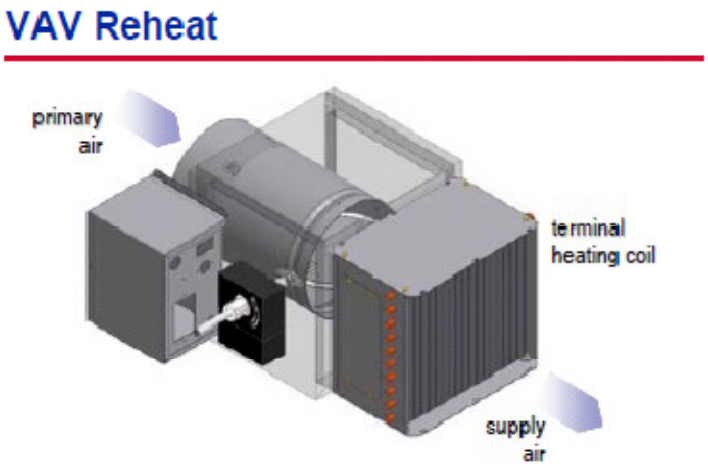


الشكل (2- 10) طرفية VAV موصولة بمصدر تسخين

2.2.2. النظام الثاني هو نظام VAV مع إعادة تسخين أو تبريد

يبين الشكل (2 11) هذا النوع حيث يعاد تسخين الهواء بواسطة وشيعة كهربائية أو وشيعة ماء ساخن ويستعمل هذا النوع في الأماكن التي تتطلب تدفئة أو تكييف حسب فصول السنة.

عندما تعمل الوحدة في حالة التبريد يكون التحكم حسب النظام السابق حيث يتناقص تدفق الهواء مع تناقص حمل المكان وعندما يحصل لدينا تبريد زائد للمكان تقوم وشيعة التدفئة بتسخين هواء التغذية. وعندما نحتاج لتدفئة المكان في الشتاء تعمل وشيعة التسخين على تدفئة هواء التغذية.



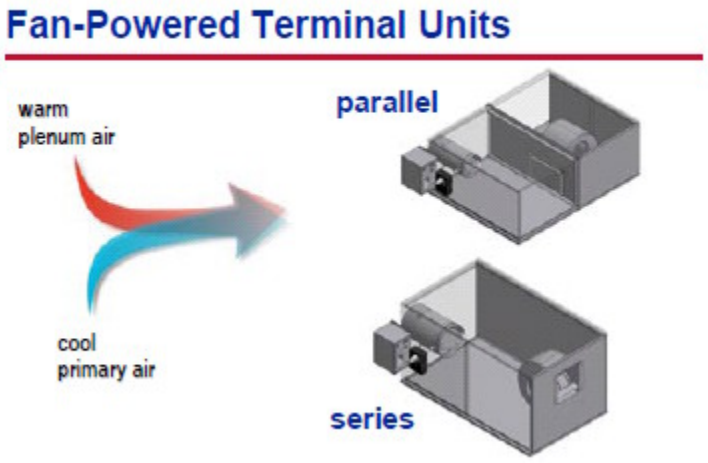
الشكل (2- 11) طرفية VAV مع وشيعة تسخين

في حالة التسخين يجب اعطاء سرعة أكبر لهواء التغذية الخارج من السقف ليصل الهواء الى أماكن تواجد الأشخاص في الحيز المكيف.وكذلك يجب زيادة تدفق الهواء من أجل ضمان تشغيل أمثل لوشيعة التسخين.

إن هذا النظام هو أكثر فعالية من نظام حجم الهواء الثابت مع إعادة التسخين المذكور سابقا حيث أن الحرارة تعطى عند تدفق هواء أقل وعند الحاجة فقط.

3.2.2. النظام الثالث وحدة VAV مزودة بمروحة

حيث يمزج هواء الراجع الدافئ مع الهواء الأساسي البارد عن طريق مروحة تقوم بهذا المزج ولذلك تسمى هذه الطريقة بالطريقة القسرية.الشكل (2- 12).

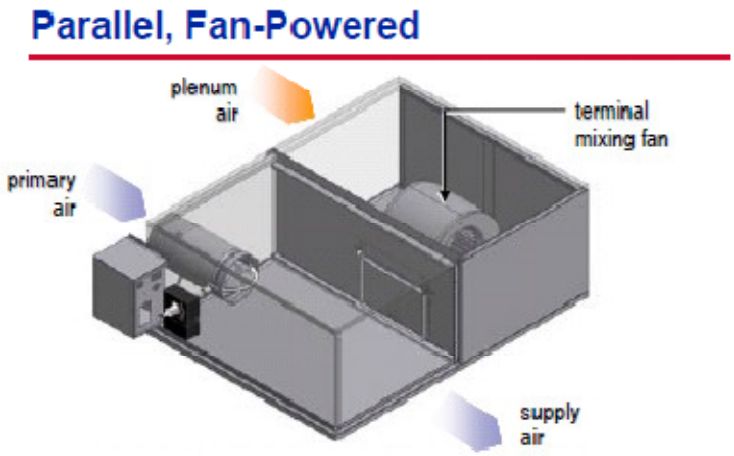


الشكل (2- 12) طرفية VAV مع مروحة

الصندوق القسري له نوعان:

أ - نوع متوازي الشكل (2 -13).

وفيه يكون تيار الهواء الراجع يسير بشكل موازي لتيار الهواء الأساسي.

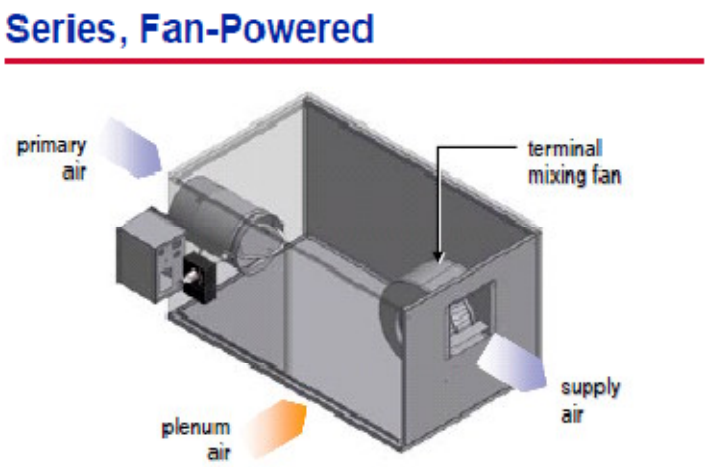


الشكل (2- 13) طرفية VAV مع مروحة على التوازي

ب - نوع تسلسلي

كما هو موضح في الشكل(2 14) حيث تكون كمية الهواء المزودة للمكان ثابتة طول الوقت.

معظم المصممين يرون أن الوحدات التسلسلية تعطي تشغيلا أكثر هدوء في المكان المكيف، حيث أن المروحة تعمل بشكل دائم ومستقر، بينما في حالة الوحدات التفرعية تعمل المروحة بشكل متقطع. طبعا هذا يؤدي الى استهلاك أكبر للطاقة ولكن تصاميم المحركات الحديثة قللت من هذا الفارق.



الشكل (2- 14) طرفية VAV مع مروحة على التسلسل

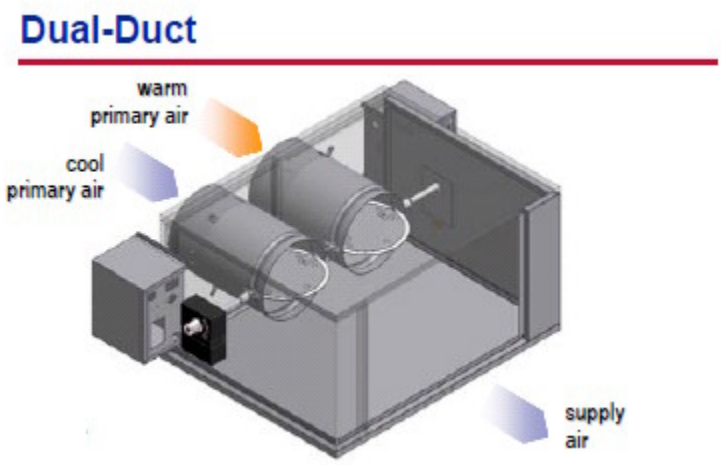
تستخدم وحدات VAV مع مروحة بدون وشيعة تسخين لتبريد الأماكن الداخلية التي تحتاج للتبريد صيفا و شتاءا و التي تتطلب معدلات تدفق هواء عالية مثل قاعات الاجتماع المكتظة.

تستخدم وحدات VAV مع مروحة والمزودة بوشيعة تسخين للأماكن ذات الجدران الخارجية التي تحتاج للتبريد صيفا والتسخين شتاءا وهي الوحدات الأكثر شيوعا واستخداما من هذا النوع من وحدات الـــ VAV.

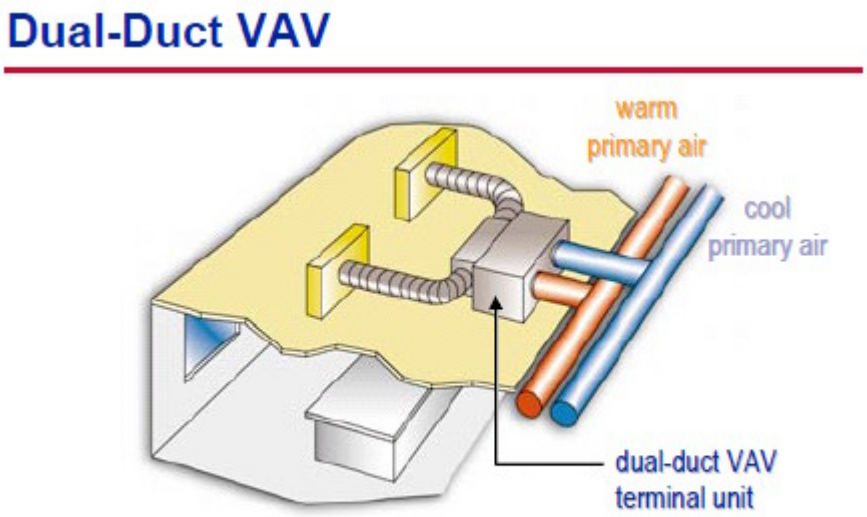
4.2.2. النظام الرابع وحدة VAV ثنائية المجرى

يوضح الشكلان (2-15) و (2-16) هذا النوع حيث يوجد مجريان للهواء أحدهما للهواء الساخن و الآخر للهواء البارد وهناك شفرة تعيير (دامبر) على كل مدخل ويجري المزج والتحكم بزاوية كل معير حسب حاجة الغرفة.

هذا النوع مكلف جدا من الناحية التأسيسية والتشغيلية ويستخدم في بعض التطبيقات الخاصة كالمخابر و المشافي التي تتطلب درجات حرارة متفاوتة للغرف خلال فصول السنة.



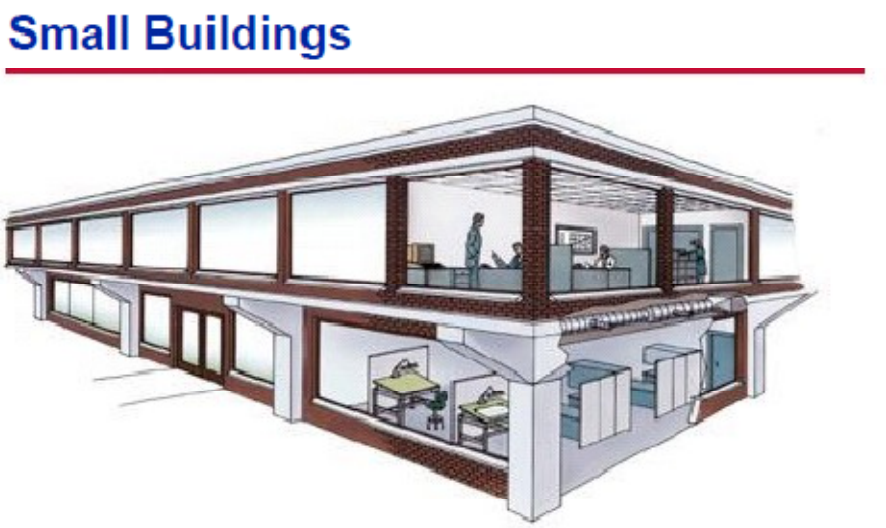
الشكل (2- 15) طرفية VAV ثنائية مجرى الهواء



الشكل (2- 16) طرفية VAV مع مجريي هواء دائريين

5.2.2. النظام الخامس وحدة VAV مع تفريعة رجوع Bypass

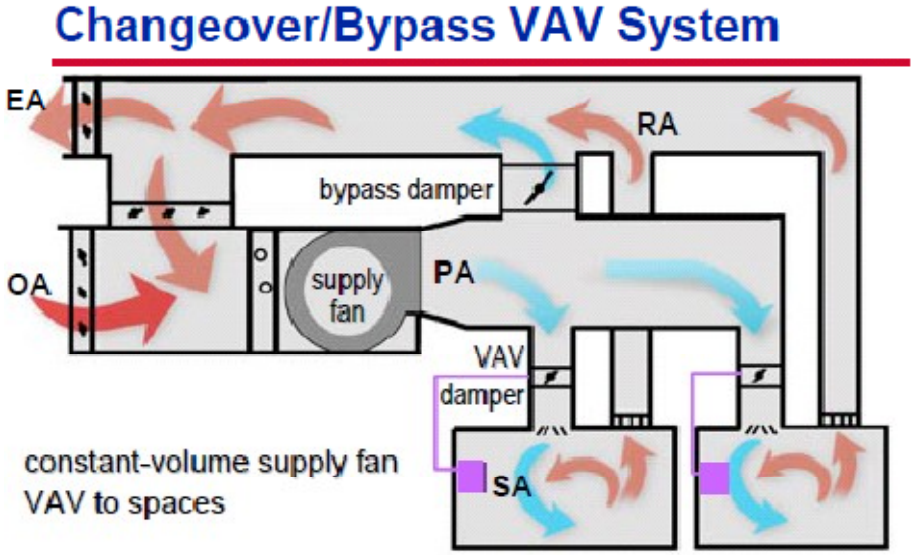
يفضل في أنظمة الأبنية الصغيرة مثل المبنى التجاري في الشكل (2-17) استخدام أنظمة الـــ VAV من نوع BYPASS وذلك لانخفاض الكلفة التأسيسية للنظام و لبساطته، كذلك يمكن تركيبه على أي نظام مركزي موجود دون أي تعديلات، في هذا النظام تكون سرعة مروحة وحدة المعالجة ثابتة دوما و يجري حرف جزء من هواء التغذية إلى مجرى الهواء الراجع حسب وضعيات متحكمات طرفيات الـــ VAV.



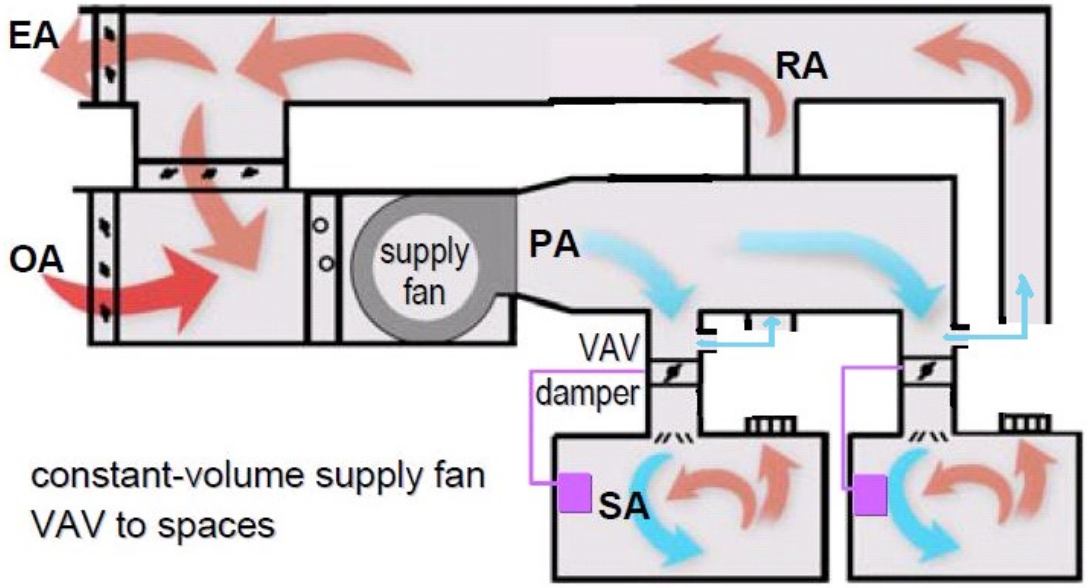
الشكل (2- 17) بناء تجاري متوسط يستخدم فيه نظام VAVمع تفريعة رجوع Bypass

يمكن أن يجري حرف جزء من هواء التغذية عن طريق دامبر بين خط السحب و الراجع بحسب الضغط السائد في مجرى التغذية، كما هو واضح بالشكل (2 18) و يمكن استخدام طرفيات مركبة بالسقف المستعار تقوم بحرف الهواء للسقف المستعار الذي يستخدم كحيز Plenum يسحب منه الهواء الراجع، وهذا الأسلوب مستخدم كثيرا في الخليج العربي والشكل (2-19) يوضح وحدة معالجة تزود الهواء لطرفيات ذات تفريعة رجوع مفتوحة على السقف المستعار مباشرة.

ويبين الشكل (2 -20) طرفية ذات تفريعة رجوع من انتاج مصنع HACE السعودي.



الشكل (2 -18) نظام VAVمع تفريعة رجوع Bypass



الشكل (2- 19) طرفيات VAV مع تفريعة رجوع Bypass للسقف المستعار

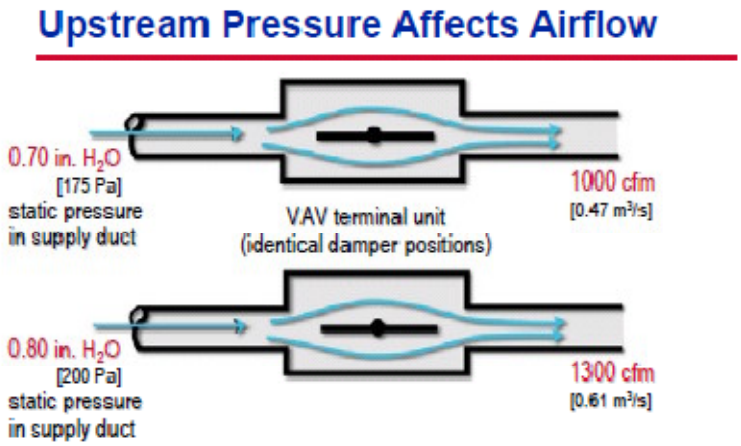
الشكل (2- 20) طرفية VAV مع تفريعة رجوع Bypass

3.2. أنظمة التحكم التابعة للضغط و المستقلة عنه

يوجد نوعان من أنظمة التحكم بالـــ VAV من حيث تعلق تدفق الهواء بالضغط: نوع تابع للضغط Pressure Dependent و نوع مستقل عن الضغط Pressure independent controller.

في النوع التابع للضغط يتحكم ترموستات الغرفة بوضعية الدامبر و ليس بتدفق الهواء حيث عند نفس الوضعية تختلف التدفقات حسب ضغط الهواء الستاتيكي الموجود في الدكت و الذي يختلف حسب سرعة المروحة و تغيرات الضغط نتيجة عمل وحدات الـــ VAV الأخرى في النظام.

يوضح الشكل (2 -21) نفس دامبر الهواء و عند نفس الوضعية و هي الفتح الكامل أن تدفق الهواء يختلف بحسب الضغط الستاتيكي المطبق على مدخل الوحدة.

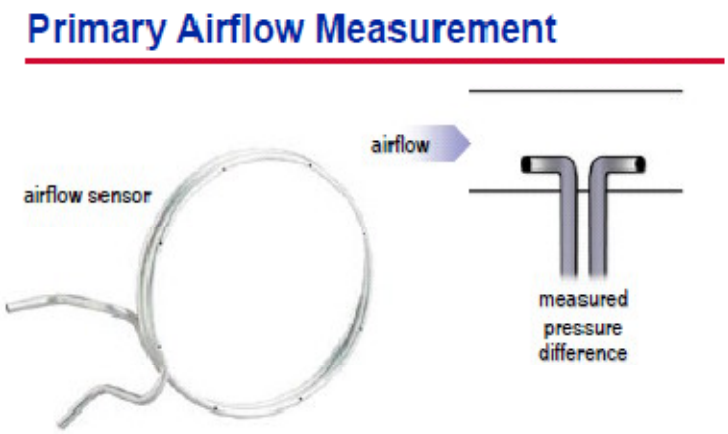


الشكل (2 -21) طرفية VAV مع تفريعة رجوع Bypass

في نظام التحكم المستقل عن الضغط يجري تصحيح وضعية الدامبر ليعطي التدفق المطلوب عن طريق دارة تحكم إلكترونية مثل تلك الموضحة بالشكل (2 -22).

الشكل (2- 22) دارة تحكم لطرفية VAV

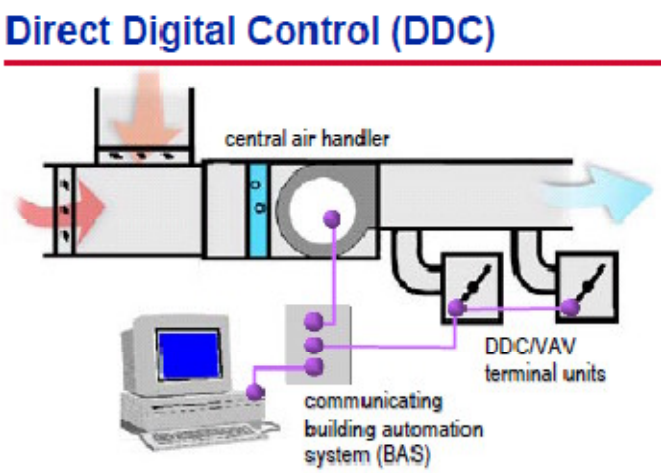
في نظام التحكم المستقل عن الضغط نستخدم طريقة لقياس الضغط مثل الموضحة بالشكل (2 -23) لتصحيح توضع الدامبر فنكون بهذه الحالة نتحكم بتدفق الهواء حسب المطلوب.



الشكل (2- 23) قياس فرق الضغط لتصحيح وضعية معير الهواء

4.2. الوحدة الطرفية المقادة رقميا Direct Digital Control (DDC)

الوحدة الطرفية المقادة رقميا يوجد فيها جهاز تعديل لتدفق الهواء، يعمل مع المحرك الكهربائي بنفس الطريقة للتحكم الإلكتروني. الفرق الرئيس بين التحكم الالكتروني والتحكم الرقمي المباشر هو أن وحدة التحكم الرقمية تستخدم المعالج الصغريmicroprocessor لقيادة الطرفية بذكاء صنعي من خلال برنامج معد مسبقا، هذا المعالج الصغري يمكن الاتصال بين متحكم الطرفية و نظام أتمتة البناء ككل. والنتيجة هي نظام مركزي يمكنه مراقبة وقيادة جميع مكوناته بمرونة، ويمكن من استخدام الاستراتيجيات الأمثل للنظام. يمكن بهذا النظام السيطرة على المباني بذكاء أكبر لأن البيانات (مثل تدفق الهواء ، ووضعية الدامبر، والمروحة، وحالة الحرارة) تكون متاحة لتنفيذ نظام معقد الاستراتيجيات ويوفر امكانية التشخيص من محطة القيادة المركزية.انظر الشكل (2 -24).

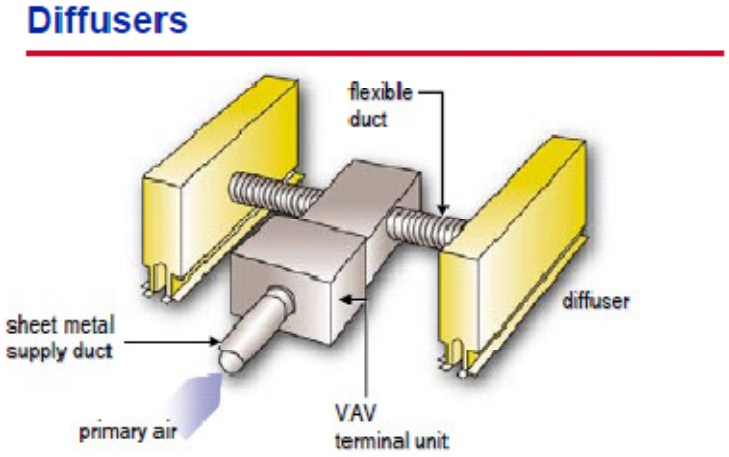


الشكل (2- 24) نظام تحكم رقمي مباشر DDC

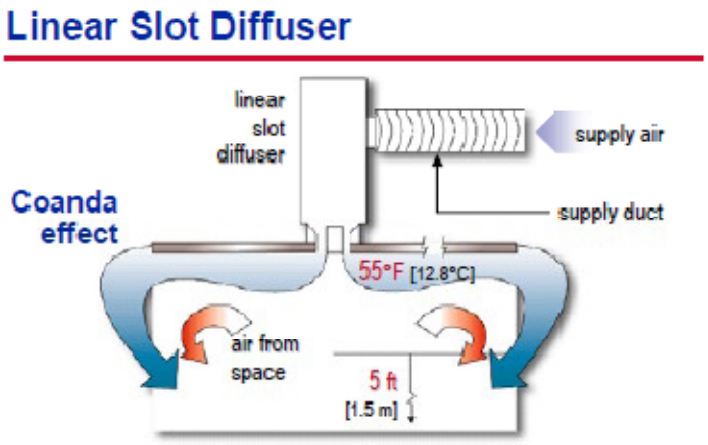
5.2. نواشر الهواء (الدفيوزرات) :

نتحدث أخيرا عن أحد عناصر نظام الــVAV وهو نواشر الهواء.

يبين الشكل (2 25) ناشر هواء طولي وهو من الأنواع التي يكثر استخدامها مع نظام الــ VAV وذلك لخاصية مهمة يتمتع بها وهي امكانية نشر الهواء لمسافات قذف جيدة حتى عندما يقل تدفق الهواء، وهذه الظاهرة تسمى تأثير كواندا الموضحة بالشكل (2-26)، حيث يجري الهواء مماسا للسقف لمسافة جيدة تختلف حسب أبعاد الغرفة و ارتفاع السقف و توزع نواشر الهواء بالغرفة. ينبغي أن يؤمن الناشر توزيعا جيدا لهواء التغذية داخل المكان المكيف حتى عند التدفق الأصغري للهواء.



الشكل (2 -25) وصل وحدة VAV مع ناشري هواء Diffusers

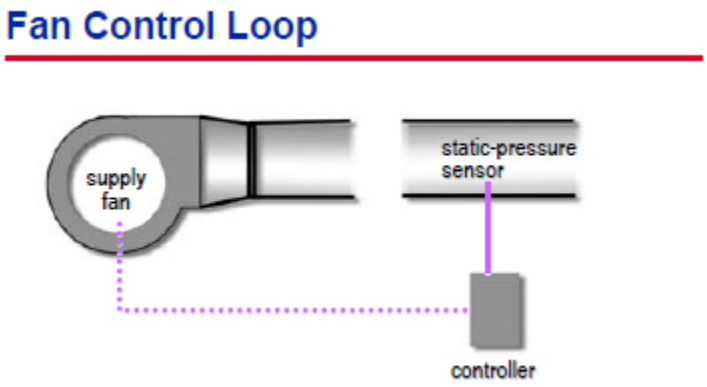


الشكل (2 -26) ناشر هواء من النوع الطولي وتوضيح تأثير كواندا

6.2. التحكم بمروحة وحدة المعالجة:

يتم التحسس بالضغط عن طريق وضع حساس ضغط في مجرى الهواء بعد المروحة بمسافة كافية ليكون الضغط متجانسا و هذا الحساس يتحكم بالمروحة.

ويبين الشكل (2 27) حيث نلاحظ أن حساس الضغط الستاتيكي يتحكم بمروحة وحدة التكييف المركزية مباشرة.

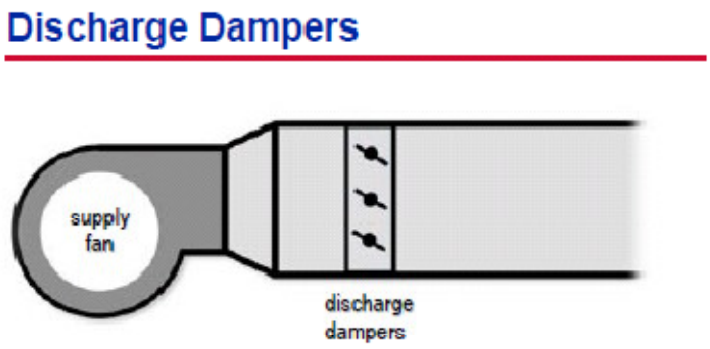


الشكل (2- 27) توضع حساس الضغط ليتحكم بالمروحة

طرق التحكم بتدفق هواء مروحة وحدة المعالجة

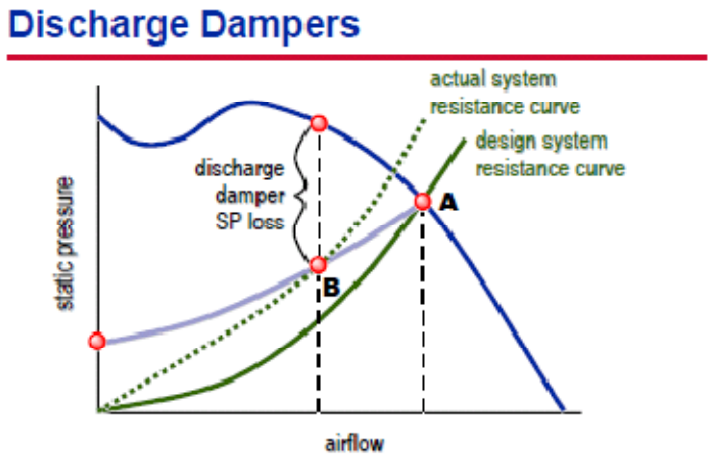
1.6.2.وضع دامبر على مخرج المروحة

وفيها يوضع دامبر خنق لجعل الضغط الستاتيكي الخارج من المروحة موافقا للضغط الستاتيكي المطلوب.وهذه الطريقة موضحة بالشكل (2 28).



الشكل (2- 28) وضع دامبر على مخرج المروحة

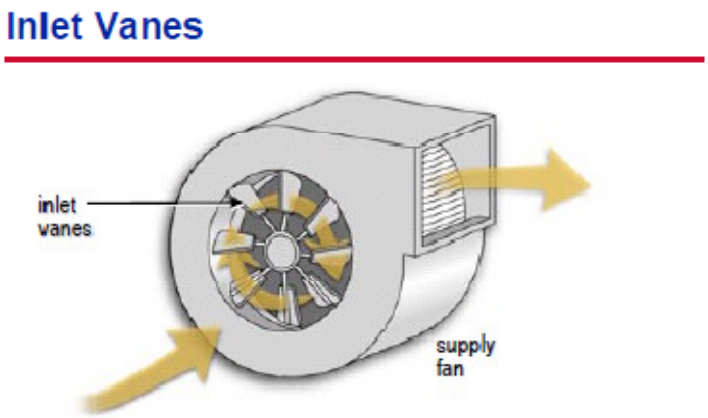
يبين الشكل (2 29) منحني عمل المروحة لهذه الطريقة و نلاحظ وجود ضياعات كبيرة في هذه الطريقة ولذلك فهي نادرا ما تستخدم.



الشكل (2- 29) منحني أداء المروحة عند وضع دامبر على مخرج المروحة

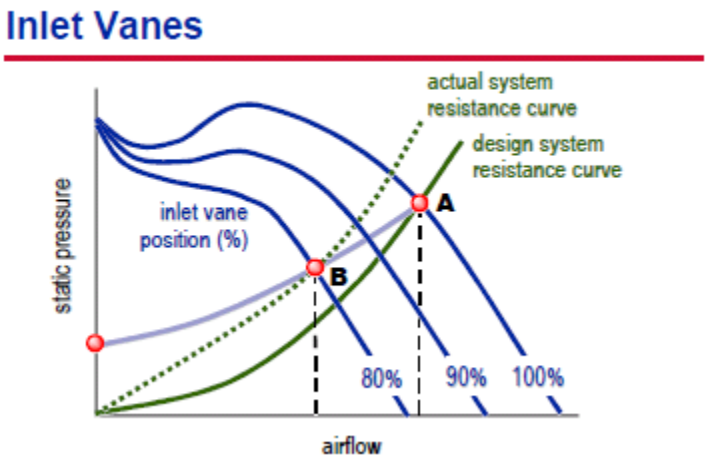
2.6.2.وضع دامبر على مدخل المروحة

وفيها توضع ريش توجيه للهواء على مدخل المروحة وحسب زاوية الدخول تتغير كمية الهواء و الضغط .وهذه الطريقة موضحة بالشكل (2 -30).



الشكل (2- 30) وضع دامبر على مدخل المروحة

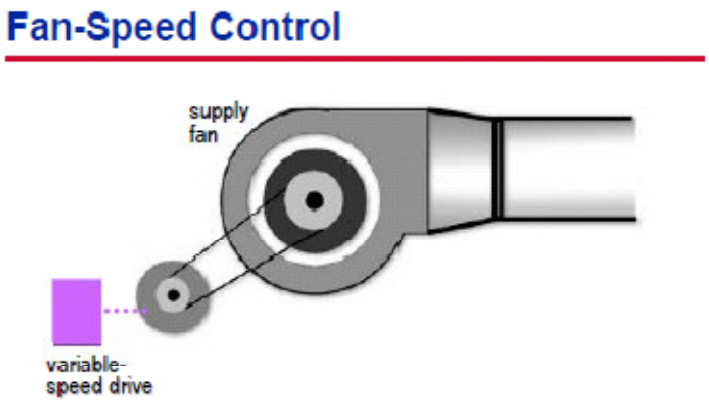
يبين الشكل (2 -31) منحني عمل المروحة لهذه الطريقة و في هذه الطريقة يوجد توفير بالطاقة لكنها مكلفة ولذلك فهي نادرا ما تستخدم.



الشكل (2- 31) منحني أداء المروحة عند وضع دامبر على مدخل المروحة

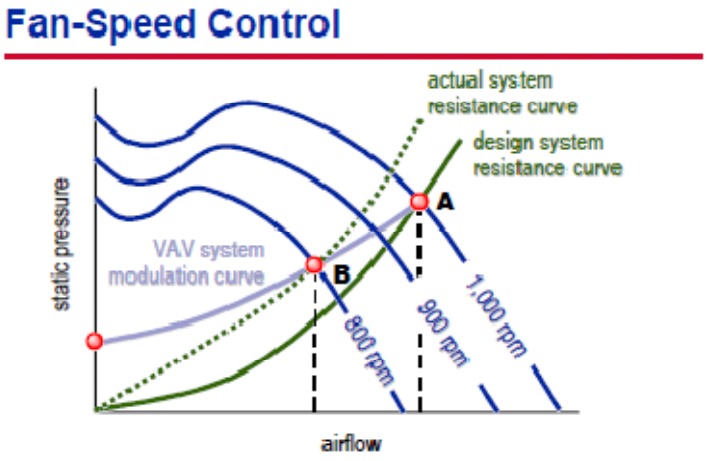
3.6.2.التحكم بسرعة المروحة

وفيها يتم التحكم بسرعة دوران المروحة عن طريق انفرتر .وهذه الطريقة موضحة بالشكل (2 -32).



الشكل (2- 32) التحكم بسرعة المروحة

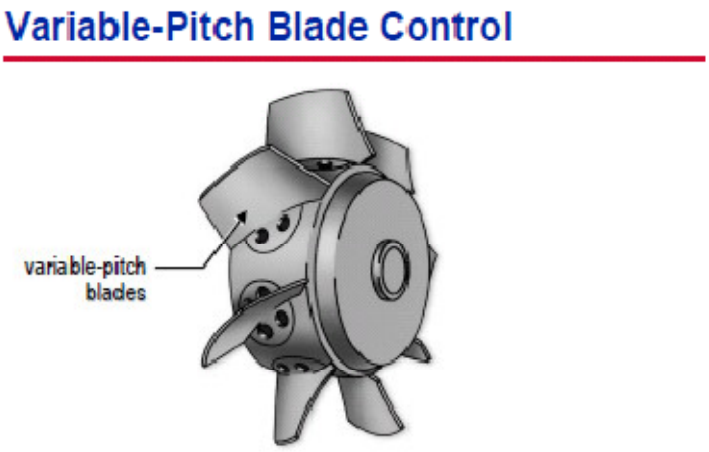
يبين الشكل (2 33) منحني عمل المروحة لهذه الطريقة و في هذه الطريقة يوجد توفير بالطاقة وهي طريقة غير مكلفة ولذلك فهي الأكثر استخداما.



الشكل (2- 33) منحني أداء المروحة عند التحكم بسرعة المروحة

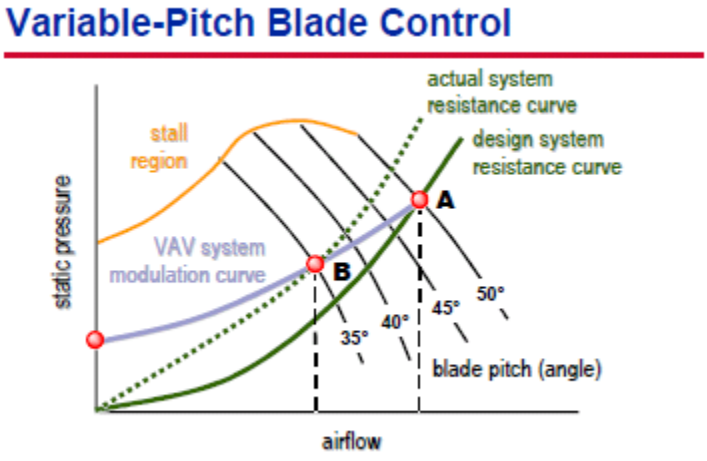
4.6.2.التحكم بزاوية ريش المروحة

وفيها تكون ريش المروحة قابلة لتعديل زاوية ميلها و بالتالي تغيير كمية الهواء والضغط .وهذه الطريقة موضحة بالشكل (2 -34).



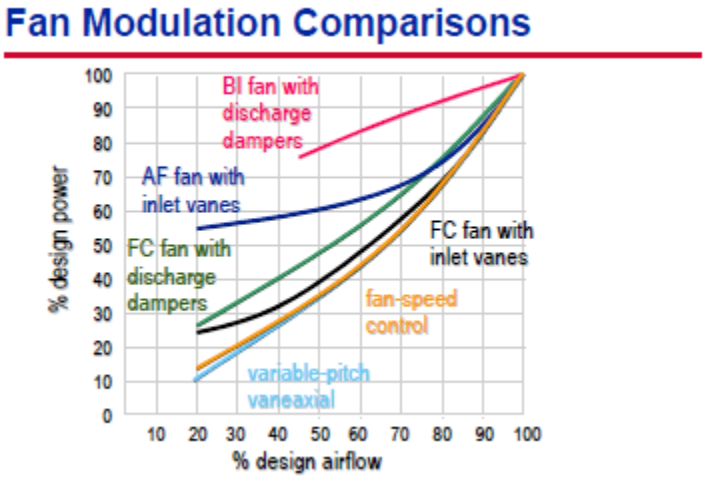
الشكل (2- 34) التحكم بزاوية ريش المروحة

يبين الشكل (2 35) منحني عمل المروحة لهذه الطريقة و في هذه الطريقة يوجد توفير بالطاقة لكنها مكلفة ولذلك فهي نادرا ما تستخدم.



الشكل (2- 35) منحني أداء المروحة عند التحكم بزاوية ريش المروحة

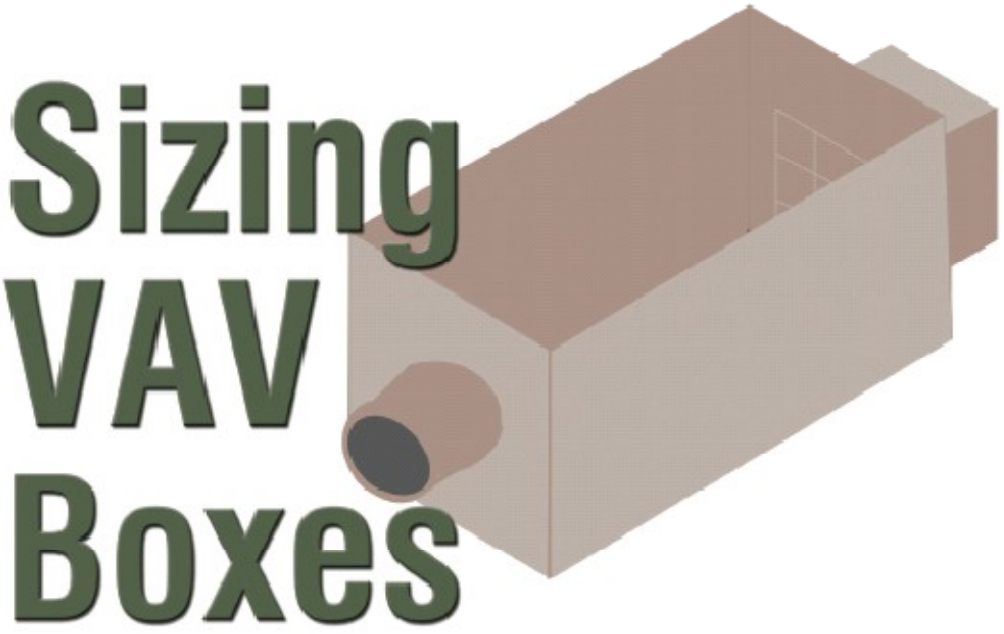
يبين الشكل (2 36) مقارنة الطرق الأربع السابقة، ونلاحظ أن الطرق الثلاث الأخيرة متقاربة بالمردود، ولكن تفضل الطريقة الثالثة بعد انخفاض أسعار الانفيرترات و تطورها بشكل كبير في السنوات الأخيرة.



الشكل (2- 36) مقارنة الطرق الأربع للتحكم بالمروحة

الفصل الثالث

اختيار حجم طرفيات الـــVAV



الفصل الثالث

اختيار حجم طرفيات الـــVAV

إن اختيار القياس الداخلي للصندوق الطرفي في نظام VAV يتطلب اعتبار خمسة عوامل[5]:

1 انخفاض الضغط خلال الصندوق.

2 قدرة نظام التحكم على قياس وضبط قيم جريان الهواء الأصغري والأعظمي المطلوبة.

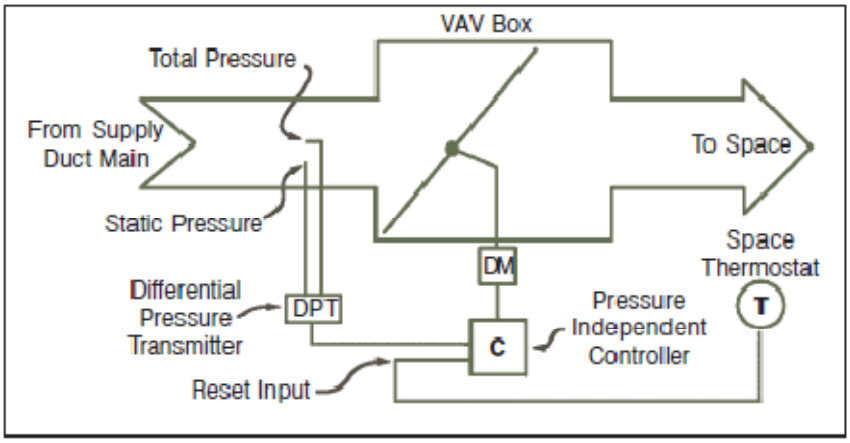
3 الكلفة الأولية لصندوق VAV وتركيبه والتحكم به.

4 الضجيج الناتج.

5 عوائق التركيب.

الاعتبارات الثلاثة الأولى تؤثر على تكاليف الطاقة والتأسيس، ونظرياً فإنها يجب أن توازن لتقليل تكلفة دورة التشغيل Life Cycle Cost LCC والاعتباران الأخيران يمثلان عوائق التطبيق والتركيب التي يمكن أن تحد الاختيار الأمثلي لـــ LCC .

نظام التحكم الخاص بالـــ VAV وضبط قيم جريان الهواء:



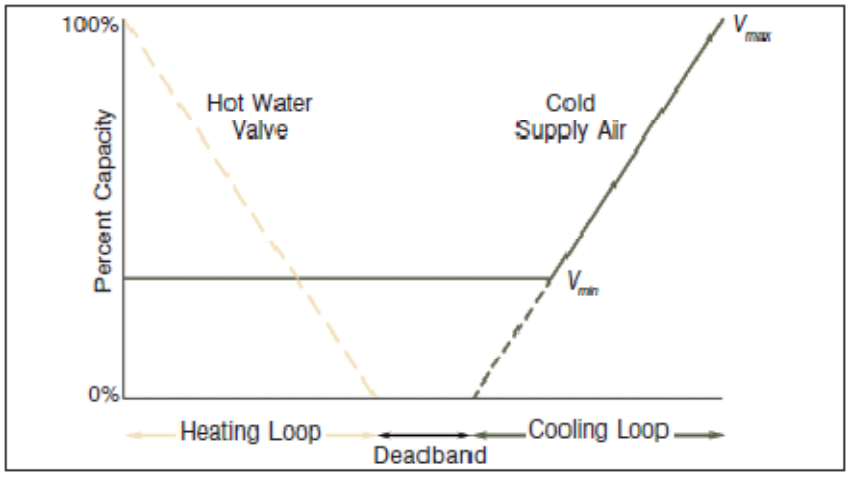
الشكل (3- 1) طرفية VAV مع نظام تحكم مستقل عن الضغط

يظهر الشكل (3-1) صندوق VAVوحيد المجرى يستخدم فيه نظام تحكم منطقي مستقل عن الضغط.

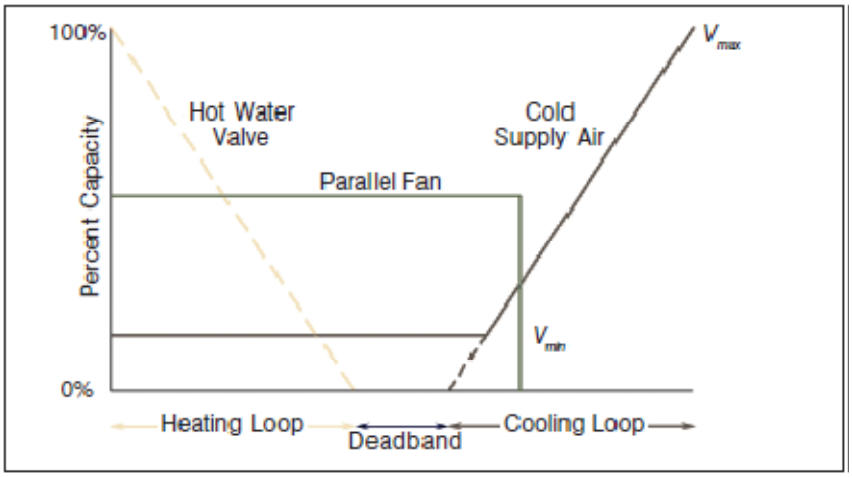
أنظمة التحكم المستقلة عن الضغط تستخدم حلقتي تحكم، الأولى تضبط درجة حرارة المكان، ويكون الخرج الصادر عنها ضبطاً لكمية جريان الهواء ما بين القيمة الدنيا Vmin والقيمة العظمى Vmax .هذا الضبط يتم إرساله إلى حلقة التحكم الثانية التي تتحكم بفتحة دامبر الصندوق لتحافظ على جريان الهواء عند القيم المطلوبة.

الشكل (3 2) يوضح عمل صندوق نظام VAV مع إعادة تسخين VRH.

الشكل (3 3) يوضح عمل صندوق نظام VAV مع مروحة موازية FPV.



الشكل (3- 2) نظام VAV مع إعادة تسخين VRH



الشكل (3- 3) نظام VAV مع مروحة موازية FPV

بالنسبة لصناديق VRH فإن V_{min} تحدد بحيث تكون القيمة الأكبر من القيم التالية:

1 تدفق الهواء اللازم للحمل الحراري التصميمي عند درجة حرارة التزويد والتي ليست دافئة كثيراً أي أقل أو تساوي 32مْ) درجات الحرارة الأعلى يصبح عندها التحكم بالحرارة أقل دقة بسبب قصر دورة العمل.

2 تدفق الهواء اللازم لمنع سوء توزيع الهواء .هذا الحد يعتمد على نموذج وحجم الدفيوزر. القيمة 30% هي القاعدة العامة المعتمدة rule-of-thumb ولكن بعض الأبحاث أظهرت أن معدلات أقل يمكن أن تكون كافية أيضا.

3 القدر الأدنى اللازم للتهوية. اعتماداً على المواصفات المحلية والعالمية مثل

.[6](ANSI/ASHRAE standard 62)

بالنسبة لصندوق FPV فإن النقطة الأخيرة فقط هي التي تنطبق عليه لأن العمل المتوازي للمروحة يؤمن معدلات عالية لتدفق هواء التغذية.

العوامل الثلاثة أعلاه تحدد القيمة الدنيا المطلوبة من V_{min}. وبالنسبة لوحدة المعالجة على الجانب العالي فإن V_{min} محدودة بشروط الطاقة لتقليل ضياعات إعادة التسخين. مواصفة الـــ ASHRAE Standard 90 [7]تحدد V_{min} بالقيمة الأكبر من :

- 30% من قيمة V_{max}.
- الحد الأدنى اللازم للتهوية.
- 2 l/sec لكل m^2 من المساحة المكيفة.
- 142 l/sec.

V_{min} يمكن أن يكون لها تأثيراً على اختيار حجم صندوق VAV ،لأن المتحكمات المستقلة عن الضغط لها حدود فيما يتعلق بقيمة الضبط الدنيا الممكنة.

انخفاض الضغط والطاقة المستهلكة في المروحة:

انخفاض الضغط في صندوق VAV عند معدل جريان الهواء اللازم سيؤثر على الضغط التصميمي المطلوب تحقيقه من المروحة، وكلما كان انخفاض الضغط أكبر في الصندوق كلما كانت الطاقة أكبر للمروحة. صناديق VAV ذات المداخل الأصغر ينخفض الضغط فيها بشكل أكبر وبالتالي استهلاك الطاقة فيها يكون أكثر.

انخفاض الضغط يمكن أن يعبر عنه بانخفاض الضغط الكلي وانخفاض الضغط الستاتيكي وفق المعادلة التالية [5]:

$$\Delta TP = \Delta SP + \Delta VP$$
$$= \Delta SP + \left[\left(\frac{v_{in}}{4005}\right)^2 - \left(\frac{v_{out}}{4005}\right)^2\right]$$
$$= \Delta SP + \left[\left(\frac{4Q}{4005\pi D^2}\right)^2 - \left(\frac{Q}{4005WH}\right)^2\right]$$

حيث WوH هما العرض والارتفاع الداخليان لمخرج الصندوق.

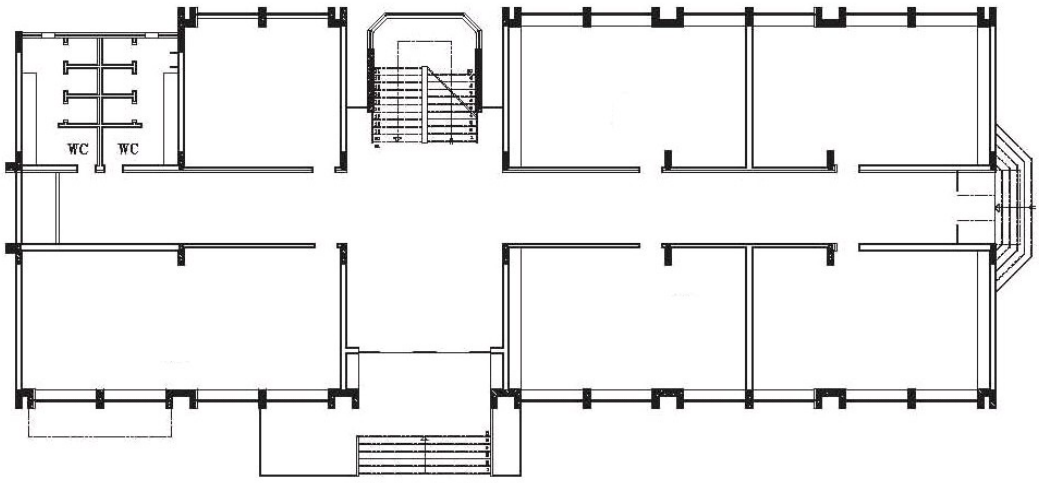
انخفاض الضغط الستاتيكي عبر الصناديق التجارية القياسية يكون أقل دائماً من انخفاض الضغط الكلي لأن السرعة عند مدخل الصندوق أعلى منها عند المخرج مما ينتج عنه ربحاً في الضغط. لكن انخفاض الضغط الكلي هو المؤشر الحقيقي للطاقة اللازمة للمروحة لتزويد كمية الهواء التصميمية عبر الصندوق. لذلك فإن انخفاض الضغط الكلي وليس الستاتيكي هو الذي يجب اعتباره لتقييم واختيار صناديق VAV. ولكن مع الأسف فإن معظم مصنعي صناديق VAV لا يذكرون انخفاض الضغط الكلي في المواصفات لذا يمكن الاعتماد على المعادلة السابقة لحسابه.

لقد أثبتت العديد من التجارب أن الحمل الحراري وبالتالي كمية الهواء اللازمة لمبنى ما مؤلف من عدة غرف أو مكاتب يختلف حسب الأوقات فالمكان الذي يحتاج لتدفق هواء عال في ساعة ما لا يكون هو نفسه المكان ذو الحمل الأكبر في وقت آخر وبالتالي فإن الطاقة اللازمة للمروحة تختلف حسب شروط التصميم.

لقد لوحظ أن تكاليف التشغيل عبر مجال واسع من حالات التشغيل يمكن تخفيضها للحد الأدنى عبر تصميم صناديق VRH بانخفاض ضغط كلي في المجال 125 – 150 Pa وبشكل مشابه فإن صناديق FPV يمكن تخفيض تكاليف تشغيلها بتصميمها بانخفاض ضغط كلي في المجال 150 – 175 Pa .

الفصل الرابع

مقارنة وتحليل الكلفة التأسيسية والتشغيلية ودورة الحياة لأنظمة تكييف الهواء ذات حجم الهواء الثابت CAV والمتغير VAV لمبنى يقع في دمشق



مقارنة وتحليل الكلفة التأسيسية والتشغيلية ودورة الحياة لأنظمة تكييف الهواء ذات حجم الهواء الثابت CAV والمتغيرVAV

1.4. مقدمة

في هذه الدراسة أجرينا تحليلا لتكاليف التأسيس والتشغيل وتقييم دراسة الجدوى الاقتصادية لأنظمة تكييف الهواء ذات حجم الهواء الثابت (CAV) والمتغير (VAV) لتحليل تكاليف دورة الحياة لبناء يقع في دمشق ونقوم بحساب تكييفه بنظام CAV مرة ومرة بنظام VAV.

اعتبرنا استخدامين مختلفين للمبنى (كمدرسة أو كمكاتب تجارية) وقد وجدنا أنه بالنسبة لجميع الاحتمالات التي نظرنا فيها ، أنه على الرغم من أن التكلفة الأولية لنظام VAV هي أعلى من نظام CAV، فإن القيمة الحالية للنظام VAV أقل من ذلك للنظام CAV في نهاية العمر الافتراضي نظرا لانخفاض تكاليف تشغيل المروحة وتوفير الطاقة.

إن اختيار نظام تكييف الهواء الأنسب والأكثر اقتصادية من بين البدائل العديدة المتاحة هي واحدة من أهم المشاكل التي يواجهها المهندسون عادة. فنظام تكييف الهواء الذي يوفر تكاليف التشغيل عادة ما يتطلب استثماراً أولياً أعلى. وفي هذه الحالة، ينبغي أن يقرر المهندسون ما إذا كان هذا النظام يستحق دفع هذه التكلفة الأولية الإضافية لتخفيض تكلفة التشغيل [8] .

يمكن تصنيف أنظمة تكييف الهواء وفقا لنقل طاقة التدفئة والتبريد بين المحطة المركزية وبين مساحات البناء المكيفة بأربع فئات أساسية : أنظمة الهواء الكلية all-air systems ، وأنظمة الهواء -المياه air- and water-systems ، وأنظمة المياه الكلية all-water systems وأنظمة التجهيزات المستقلة المجمعة packaged unitary equipment systems. [9] أنظمة الهواء الكلية مستخدمة على نطاق واسع في تطبيقات تكييف الهواء. وفي هذه الأنظمة تكون طاقة المراوح المحركة للهواء واحدة من أكبر مستهلكات الطاقة.

هناك نظامان رئيسان لتوزيع الهواء في نظم الهواء الكلية وهي ذات حجم ثابت CAV أو متغيرVAV . وهناك أنواع مختلفة متوفرة من هذين النهجين ، مثل أنظمة مجاري الهواء الأحادية single duct أو الثنائية dual-duct أو وحدات مع اعادة تسخين reheat أو أنظمة المناطق متعددة multi-zone systems وقد تناولناها باسهاب في الفصل الثاني.

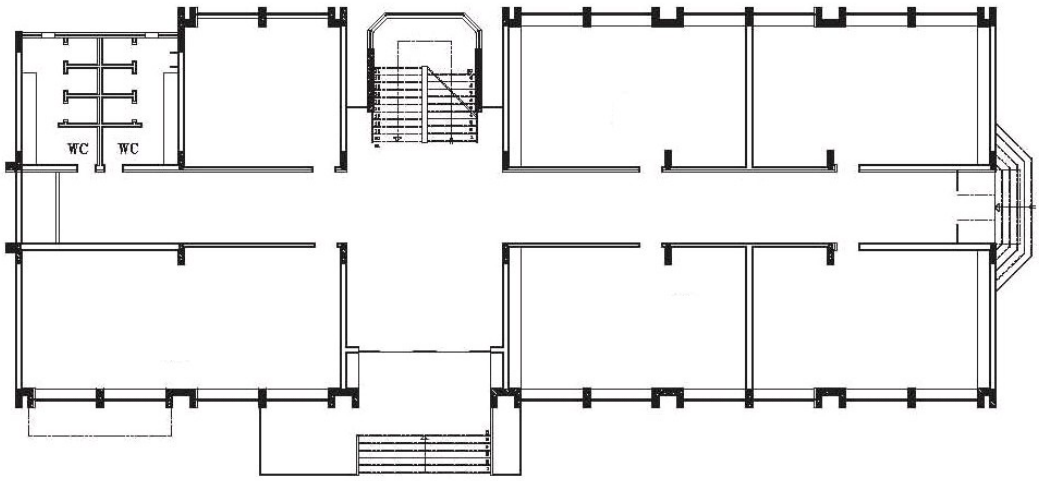
لقد استخدمت أنظمة تغذية بتدفق هواء ثابت CAV منذ بداية أنظمة تكييف الهواء ، بينما استخدمت أنظمة VAV منذ عام 1960. و توفير الطاقة هو واحد من أهم الأسباب الأساسية التي هي جعلت أنظمة الـــVAV شعبية جدا اليوم بالنسبة لبعض المباني التجارية والعديد من التطبيقات الصناعية.

في هذه الأنظمة ، يتم تقليل تغذية الهواء كلما نقصت أحمال العمل operating loads عن الأحمال التصميمية design loads.

الهدف من هذه الدراسة هو مقارنة CAV ونظم VAV باعتبار التكاليف الأولية والتشغيلية معا Initial and operating costs ولهذا الغرض ، تم اختيار عينة مبنى يقع في دمشق ، جرى دراسة تكييفه بنظام CAV وVAV. وتم اعتماد استخدامين مختلفين للمبنى (كمدرسة أو كمكاتب تجارية). وقت التشغيل للمبنى ونظام تكييف الهواء هو 8:00 حتى 17:00 للفرضية (1) وبين الساعة 8:00 و24:00 للفرضية 2. تم تنفيذ تكاليف دورة الحياة (LCC) باستخدام تحليل مفصل للأحما ، وتكاليف التشغيل والتكاليف الأولية وتقييم الجدوى الاقتصادية لنظام CAV ونظام VAV.

2.4. وصف للبناء المدروس

ويقع المبنى المدروس في دمشق وله 3 طوابق متماثلة.انظر الشكل (4-1).



الشكل (4- 1) المخطط المعماري للبناء المدروس

الشكل (4-1)يبين المخطط المعماري من الطابق الأول من المبنى المدروس. الجوانب الطويلة للبناء الى الشمال والجنوب. تم دراسة استخدام البناء كمكاتب تجارية أو كمدرسة.

حسب كود العزل الحراري للأبنية في الجمهورية العربية السورية [10]

المتطلبات التصميمية:

(U-value):معامل الانتقال الحراري الكلي

بموجب هذا الكود يجب أن لا تتجاوز قيمة معامل الانتقال الحراري الكلي لكل عنصر من عناصر البناء القيم المذكورة في الجدول (4 -1) التالي:

الجدول (4 -1) معامل الانتقال الحراري لعناصر البناء وفق الكود السوري

العنصر الانشائي	معامل انتقال الحرارة الكلي الأعظمي ($W/m^2.K$)	
السقف الأخير	U_{roof}	0.5
الجدران الخارجية بدون فتحات	U_{ow}	0.8
الفتحات الزجاجية عندما تكون: $A_{Win} \leq 0.2A_{facade}$	U_{win}	5.2
الفتحات الزجاجية عندما تكون: $A_{Win} > 0.2A_{facade}$	U_{win}	3.5
الواجهات الخارجية شاملة جميع الفتحات	U_{facade}	1.5
الأرضيات الملاصقة للتربة	U_G	1
الأرضيات ما بين الطوابق	U_F	1
الأرضيات المكشوفة	U_F	0.5
حيث : A_{facade} : مساحة الواجهة A_{win} : مساحة النوافذ و الأبواب		

القيم العظمى المسموح بها لمعامل انتقال الحرارة الكلي لعناصر البناء

3.4. وصف لنظام تكييف الهواء

الخطوة الأولى في تصميم أنظمة تكييف الهواء هي حساب الأحمال التبريدية للمبنى التي تعتمد على خصائصه، الشروط الداخلية التي يجب ان نحافظ عليها وتعتمد كذلك على الظروف الجوية الخارجية.

1.3. حمل التبريد

في هذه الدراسة، تم استخدام أسلوب سلسلة زمـــن الإشـــعاع (RTS) Radiant Time Series method لحساب حمل التبريد.

طريقة RTS التي عرضها Spitler وآخرون. [11] و2001 ASHRAE - كتاب الأساسيات [12] هي وسائل جديدة مبسطة لتنفيذ حساب الأحمال التبريدية وهي مستمدة من " طريقة التوازن الحراري".

وتم استخدام برنامج CHVAC [13] من انتاج شركة ELITE

برنامج حساب حمل التدفئة والتهوية وتكييف الهواء الاقتصادي

لمحة عن البرنامج

برنامج حساب الأحمال التدفئة والتهوية وتكييف الهواء هـ و من البرامج الرائدة حساب الأحمال وذلك بشكل اقتصادي وسريع ودقيق في نفس الوقت حيث بدء أول مرة عام1979 وذلك من قبل شركة Elite الأمريكية حيث أن معظم المهندسين المختصين في مجال التكيف يستخدمون هذا البرنامج.

ميزات البرنامج

1 .حساب حمولة الذروة للتبريد والتسخين

2 .تحديد حـ مل المبنى والغرف ومتطلبتها من كميات الهواء اللازمة بشكل علمي ودقيق وحساب أبعاد

مجاري الهواء .

3. طريقة الحساب المستخدمة إما (RTS) أو (CLTD)

4 .ادخال الأبعاد بشكل يدوي أو بشكل مباشر مخطط البناء عن طريق برنامج ملحق اسمه لوح الرسم.

5 .ارتباط البرنامج بكل من برنامج تحليل الطاقة Energy Audit وبرنامج الشروط التصميمية الجوية

EZDOE

6 .السماح بإدخا حتى 30 جدار 30 نافذة و 12سقف في المنطقة الواحدة.

7 .البرنامج يعتمد على ASHRAE

8 .الحساب بكلا الواحدات البريطانية والدولية.

9 .إمكانية الحساب بالواحدات البريطانية ومن ثم التحويل بشكل مباشر إلى الواحدات الدولية وبالعكس.

10 .تمكين حسابات التهوية والتسرب بشكل آني.

11 .حساب أبعاد مجاري الهواء الفرعية والرئيسية.

12 .اختيار الأجهزة المناسبة لتغطية الحمل المحسوب.

13 .السماح بتعداد المناطق بشكل غير محدود حتى 1000 منطقة .

14 .إمكانية عزل كـ منطقة على حدا وجعلها ضمن مجموعة خاصة بها وجعل نظام تكيف خاص بها مثل
VAV Boxes

15 .طباعة المخططات الخاصة بحمل المبنى ولكل غرفة على حدة.

يستخدم برنامج حساب الأحمال لحساب حمل التدفئة والتهوية وتكييف الهواء للأبنية التجارية طريقة طريقة فرق درجات حرارة حمل التبريد (CLTD) أو بطريقة سلسلة أوقات الإشعاع (Radiant Time Series) وهي طريقة جديدة تختصر 30 % من الحمل المحسوب بطريقة(CLTD).

يسمح البرنامج بحساب الحمل لـــــــ 1000منطقة ضمن أي ظروف جوية وأنظمة تكييف مختلفة ويسمح البرنامج باستخدام حتى 100وحدة معالجة.

في البرنامج يوجد نظام مراقبة آلي للقيم المدخلة وذلك ضمن المنطق والقيود والجداول القياسية المدخلة حيث يتم التصحيح تلقائيا وذلك لتفادي زيادة الحمل بشكل كبير أو العكس وذلك من خلال عوامل الأمان بالإضافة لاحتواء البرنامج على شروط التصميمية الجوية لأكثر من 2000 مدينة في العالم كما يتضمن إمكانية إضافه بيانات الطقس والشروط التصميمية للمدن الأخرى غير المدرجة في البرنامج.

ويعطي البرنامج في التقرير أحمال المناطق والمبنى وتقرير عن حالة المبنى بشكل عام وبيانات المشروع العامة وتفصيل أحمال المناطق وحالة وحساب وحدة المعالجة.

بالإضافة لتحليل ظروف المعيشة والمبنى ومتطلبات الحمولة وكمية الهواء اللازمة للمبنى وحساب استطاعة المروحة وكسب الحراري للمبنى المتنوع والكسب والفقد الحراري من خلال مجاري الهواءو البيانات الكاملة للدارة على الخريطة السايكومترية وحساب استطاعة المسخنات والمزج والمبردات.

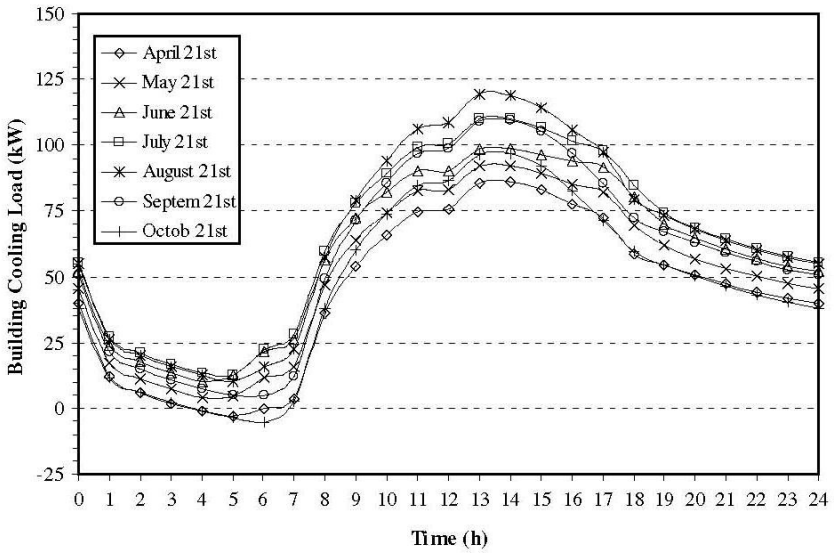
وكذلك إمكانية تحديد اتجاه الأسقف والجدران وتدويرها من خلا 360 درجة وتحديد ميولها وتحديد نوع النوافذ أهي سقفية أم جداريه أو مائلة وهل هي مظللة من الداخل أو الخارج كما يتم تحديد كـ من أوقات تواجد الأشخاص وأوقات عمل الأجهزة الكهربائية والإنارة

وتحديد معدل تغير درجة الحرارة اليومي والموسمي ونسب التهوية وتحديد التهوية اللازمة للمبنى والتسرب وإمكانية نظام إعادة التسخين بالنسبة للهواء الفائض أو تخزينه أوإعادته إلى وحدة المعالجة.

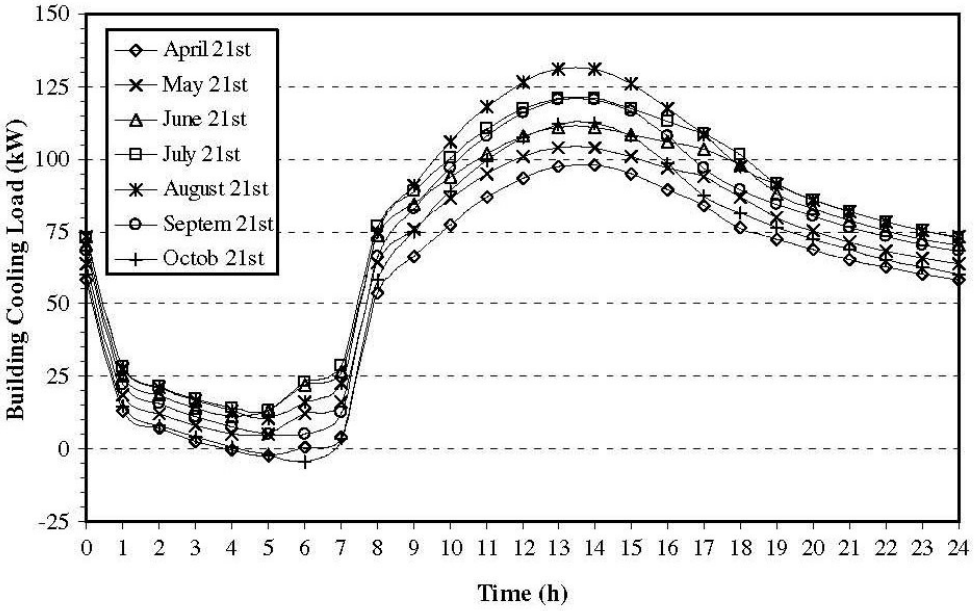
وتمكين استخدام مجاري الهواء السقفية التي تستخدم للهواء الراجع والتي تكون من تأسيسات المبنى

حسبت أحمال التبريد الساعية للمبنى العينة لتحديد استطاعة نظام تكييف الهواء باستخدام معطيات الجو الخارجي الساعية.

أحمال التبريد الساعية للمركز التجاري وبناء المدرسة معطاة في الشكل 2 و3 على التوالي. من خلال الارقام نجد أن الحمل الأعظمي للمبنى يكون في آب. ولذلك، ينبغي تصميم نظام التبريد باستخدام أحمال التبريد التي تم الحصول عليها في آب. الزيادات الحادة في حمل التبريد في الساعة 8:00 والانخفاض الحاد في الساعة 24:00 يرجع إلى التغيير في عدد شاغلي المكان.



الشكل (4- 2) أحمال التبريد الساعية للمركز التجاري

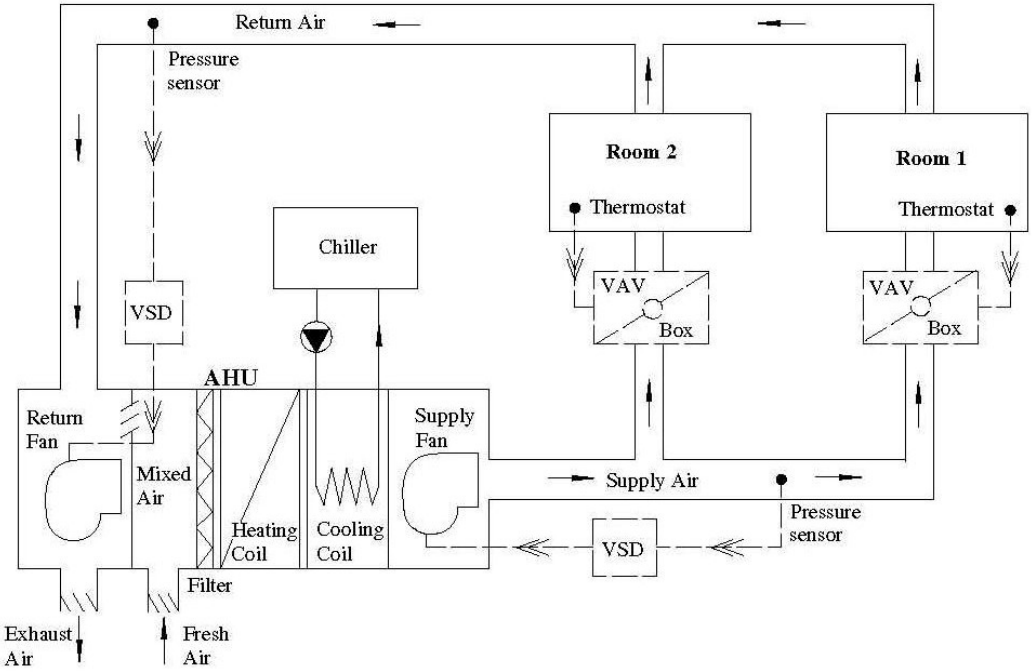


الشكل (4- 3) أحمال التبريد الساعية لبناء المدرسة

3.2. نظام تكييف الهواء

الشكل. 4 يبين مخطط نظامي الهواء المعتمدين . بما أن الهدف من الدراسة هو مقارنة نظامي CAV وVAV فقد تم تمثيل كلا النظامين في الشكل.

يمكن أن يرى من الشكل. 4 أن أنظمة CAV وأنظمة تكييف الهواء VAV تتألف في العادة من وحدة معالجة الهواء (AHU) ومبرد ماء (شلر) ذو تبريد هوائي ومروحة تغذية ومروحة هواء معاد ووحدات التحكم. ويتضمن نظام الـVAV وحدتي تغيير سرعة (VSD) لمروحة التغذية والطرد و27 صندوق VAV بالإضافة إلى الوحدات المعروفة الأخرى . ويستخدم صندوق VAV واحد لتنظيم كمية أو حجم الهواء البارد الداخل للمكان المكيف من أجل المحافظة على ظروف الراحة المطلوبة لكل غرفة في المبنى.



الشكل (4- 4) مخطط نظامي الهواء المعنمدين في الدراسة لمقارنة نظامي CAV وVAV الخطوط المتقطعة تشير للاضافات اللازمة لنظام الـــVAV

و يجب وفقا لمعيار ASHRAE62 لمعدلات التهوية [6] توريد 28 متر مكعب من الهواء الجديد النقي بالساعة في غرف المكاتب والفصول الدراسية للشخص الواحد. معدل الهواء الجديد في المختبرات والممرات 36 m^3 بالساعة للشخص الواحد و1.8 m^3 / ساعة للمتر المربع الواحد، على التوالي.

معدل تدفق الهواء لهواء التغذية هو ثابت في نظام CAV ، في حين أنه متغير لنظام VAV. يعمل نظام VAV كنظام CAV في أوقات الذروة مع تشغيل وحدة المعالجة AHU على معدل التدفق الأعظمي.

وتجدر الإشارة إلى أنه تم استخدام معامل تحميل جزئي متشابه في كل من نظامي CAV ونظم VAV عندما تم حساب أحمال التبريد بسبب الربح الحرارة الداخلي. أخطر مشكلة عند حساب الربح الداخلي للحرارة هو نقص المعلومات بشأن الجدول الزمني الدقيق للاستخدام ، والإشغا الخفيف وتشغيل المعدات. على سبيل المثال ، فإنه قد لا يكون من المعقول أن نفترض أن جميع الشاغلين موجودون ، وجميع الأنوار مضاءة ، وجميع المعدات عاملة. عامل الحمل الجزئي يعكس وجود عدد أقل من الأشخاص أو استخدام أقل للإضاءة والمعدات.

وقد تم اختيار وحدة معالجة الهواء والمبردات والتحكم حسب الأسعار العالمية من مصادر تركية وخليجية ومحلية.

4 تحليل تكاليف أنظمة تكييف الهواء

من أجل إجراء مقارنة عادلة بين نظامي تكييف الهواء المفترضين فستؤخذ بعين الاعتبار جميع التكاليف (التكاليف الأولية والتشغيلية) التي سيتم تكبدها على مدى عمر الأنظمة.

4.1. التكاليف الأولية Initial costs

التكاليف الأولية لنظام الـ CAV والـ VAV تشمل وحدات معالجة الهواء AHU ، ونظام تبريد الماء (الشلرات) chiller، ومجاري الهواء ducts ، ووحدات التحكم control units . ويبين الجدول 4 التكاليف التقديرية الأولية للأنظمة المعتبرة.

كما يمكن أن يرى من الجدول (4-2) ، التكلفة الأولية لبناء المدرسة حوالي 10 ٪ أعلى من ذلك للمركز التجاري. عند مقارنة التكاليف الأولية لل CAV ونظام VAV ، نجد أن التكلفة الأولية للنظام VAV هو 7 و8 ٪ أعلى من نظام CAV لبناء المدرسة والمركز التجاري ، على التوالي.

الجدول (4-2) التكاليف الأولية للتجهيزات بالدولار الأمريكي

	المدرسة		مركز تجاري	
	CAV	VAV	CAV	VAV
وحدة المعالجة	20,000	20,000	20,000	20,000
مجاري الهواء	20,000	20,000	20,000	20,000
مبرد الماء (شلر)	50,000	50,000	40,000	40,000
تحكم	7,000	9,000	7,000	9,000
تحكم بسرعة المروحة	0	1,000	0	1,000
صناديق VAV	0	4,000	0	4,000
المجموع	97,000	104,000	87,000	94,000
الزيادة التأسيسة للـVAV	0	7,000	0	7,000

4.2. تكاليف التشغيل والصيانة Operating and maintenance costs
وتشمل تكاليف التشغيل كلفة الكهرباء وأجور الموظفين ، واللوازم ، والمياه والمواد. حسبت تكاليف الكهربائية بشكل منفصل في حالة نظام CAV ونظام VAV.

تكاليف الصيانة تعتمد على الكثير من العوامل ، مثل أسعار العمالة المحلية ، وخبرتهم ، وعمر النظام ، وطول وقت الاستثمار ، وبالتالي ، يصعب تحديدها بشكل دقيق . تعقيد نظام تكييف الهواء يلعب دورا هاما في تكاليف الصيانة. ويمكن اعتبار تكاليف الصيانة لنظام CAV ونظام VAV متساوية. في الحسابات ، ولذلك ، تم نجاهل تكاليف الصيانة وتكاليف التشغيل الأخرى مثل أجور الموظفين ، واللوازم ، الخ.
أحد أهم استهلاكات الكهرباء في أنظمة تكييف الهواء هي المراوح والمبردات. واستهلاك الكهرباء في مضخات المياه المبردة وتكون هي نفسها لكلا النظامين ، وبالتالي ، فهي تهمل في تحليل التكاليف.
لنظام CAV يبقى معدل تدفق الهواء ثابتاً خلال تشغيل النظام ، وبالتالي حتى بالنسبة للأحمال الجزئية فان المروحة تستهلك الطاقة القصوى عند ظروف الذروة ، يكون عمل نظام الـــ VAV مماثلاً لنظام CAV عند ظروف التدفق الاعظمي واستطاعة وشيعة التبريد الأعظمية . لكن عند أحمال التبريد الجزئية يتم تخفيض تدفق الهواء من خلال العمل المشترك بين نظام الـــ VAV ونظام التحكم في سرعة المروحة.
لذا يكون استهلاك الكهرباء في المراوح مختلفا اختلافا كبيرا خلال اليوم أو الفصل حسب الحمل التبريدي. لتحديد تكلفة التشغيل الإجمالية للمراوح لموسم واحد في نظام الـــ VAV ، تم حساب قوة المحرك الكهربائي تحت ظروف التشغيل الحقيقي (P fan) باستخدام المعادلة التالية :

$$P_{\text{fan}} = P_{\text{fan,dsg}} \left(\frac{M/\rho}{M_{\text{dsg}}/\rho_{\text{dsg}}} \right)^3, \qquad (1)$$

حيث M هو معدل تدفق الهواء الشامل تحت ظروف التشغيل الحقيقية ، و**P**fan, dsg ، و**M**dsg هي الاستطاعة الحقيقية للمروحة و ρ هي كثافة الهواء. حيث كثافة الهواء ستكون تقريبا ثابتة في ظروف التشغيل الفعلية والتصميمية فتصبح المعادلة على النحو التالي :

$$P_{\text{fan}} = P_{\text{fan,dsg}} \left(\frac{M}{M_{\text{dsg}}} \right)^3. \qquad (2)$$

كما يتضح من المعادلة (2) ، الطاقة المطلوبة لتشغيل مروحة متناسبة مع مكعب معدل تدفق الهواء الكلي. في هذه الدراسة ، تم تحديد طاقة المروحة الساعية في حالة الحمل الجزئي (**P**fan) لبناء مدرسة والمركز التجاري خلال موسم التبريد باستخدام المعادلة(2).

في الدراسة ، تم اعتماد فرضيتين للتشغيل مختلفين (8:00 حتي 17:00 ساعات التشغيل للفرضية (1) وساعات العمل 8:00 -24:00 للفرضية 2).

الجدول (4-3)يبين تكاليف التشغيل السنوية التقديرية من المراوح لـ VAV CAV ونظام في مبنى المدرسة وفقا للفرضيات المعتبرة. كما يتضح من الجدول ، فإن تكاليف التشغيل السنوية للمراوح في النظام VAV هي 56 ٪ أقل من نظام CAV للفرضية 1. في حالة فرضية 2 وتوفير أعلى (66) ، نظرا لأن ساعات التشغيل أطول.

الجدول (4 -3) تكاليف التشغيل السنوية التقديرية من المراوح لـ VAV CAV

Annual operating costs of the fans for the school building

Scenario[a]	System	Operating time	Power (kW)	Electric consumption (kWh/year)	Operating cost ($/year)
I	VAV	08:00–09:00	2.59	475.98	52
		09:00–10:00	5.12	942.75	104
		10:00–11:00	8.34	1535.41	169
		11:00–12:00	11.72	2156.62	237
		12:00–13:00	14.71	2706.39	298
		13:00–14:00	16.78	3087.82	340
		14:00–15:00	16.77	3085.19	339
		15:00–16:00	14.85	2733.10	301
		16:00–17:00	12.33	2268.29	250
		Total operating cost of the fans ($/year)=			2089
	CAV	08:00–17:00	26	43056	4736
		Total operating cost of the fans ($/year)=			4736
II	VAV	08:00–09:00	2.59	475.98	52
		09:00–10:00	5.12	942.75	104
		10:00–11:00	8.34	1535.41	169
		11:00–12:00	11.72	2156.62	237
		12:00–13:00	14.71	2706.39	298
		13:00–14:00	16.78	3087.82	340
		14:00–15:00	16.77	3085.19	339
		15:00–16:00	14.85	2733.10	301
		16:00–17:00	12.33	2268.29	250
		17:00–18:00	10.04	1846.70	203
		18:00–19:00	7.65	1407.53	155
		19:00–20:00	5.71	1049.99	115
		20:00–21:00	4.59	844.48	93
		21:00–22:00	3.80	699.56	77
		22:00–23:00	3.26	600.52	66
		23:00–24:00	2.85	523.66	58
		Total operating cost of the fans ($/year)=			2856
	CAV	08:00–24:00	26	76544	8420
		Total operating cost of the fans ($/year)=			8420

[a] Operating time of the air-conditioning system is between 8:00 and 17:00 for scenario 1 and between 8:00 and 24:00 for scenario 2.

كما يتضح من الجدول ، فإن تكاليف التشغيل السنوية للتبريد للفرضية 2 هو 70 ٪ أعلى من الفرضية 1 نظرا لساعات التشغيل الأطول.

وقد أجريت حسابات مماثلة للمركز التجاري.
أظهرت أيضا هي التكلفة السنوية لتشغيل وفورات نتيجة لاستخدام نظام VAV. لبناء المدرسة ، وتوفير السنوية الإجمالية لنظام VAV هو 21 و25 ٪ للفرضيات 1 و2 على التوالي. في حالة من المركز التجاري ، تم الحصول على وفورات أعلى بقليل (24 ٪ للفرضية 1 و30 ٪ للفرضية 2).

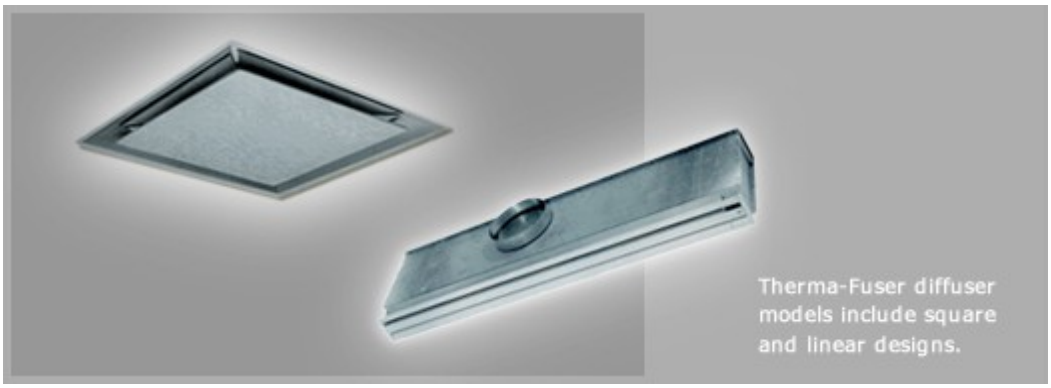
5. الاستنتاجات

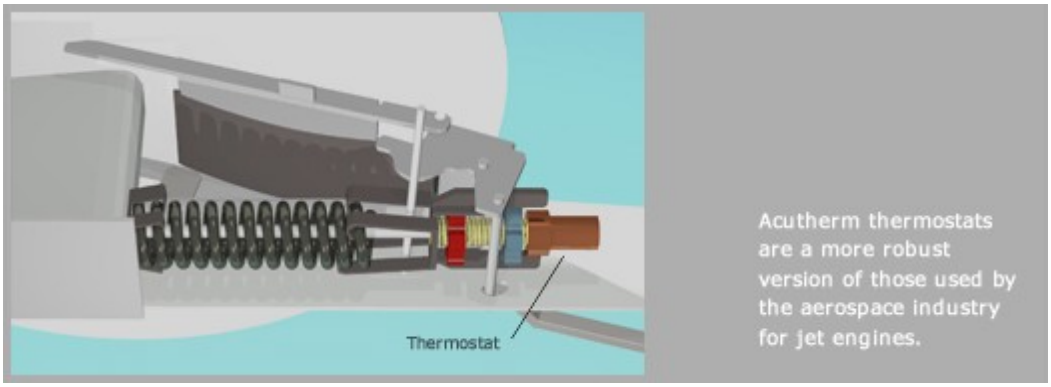
في هذه الدراسة ، تمت مقارنة نظامي تكييف ثابت ومتغير حجم الهواء وحساب تكاليف التشغيل الأولية لنموذج لمبنى يقع في دمشق وعلى سبيل المقارنة ، تم استخدام تحليل دورة الحياة من حيث التكلفة مع أسلوب التكلفة الحالية . وقد وجد أن التكاليف الحالية قيمتها لنظام VAV دائما أقل منها للنظام الثابت في نهاية العمر الافتراضي.

إذا كان عدد ساعات التشغيل في المبنى أطول (الفرضية 2) فإن نظام VAV مقارنة مع نظام CAV يغطي ثمنه بعد حوالي 4 سنوات ويعتبر نظام VAV هنا خيارا مناسبا جدا لتكييف الهواء. ولكن نظام الـVAV ليس بديلا اقتصاديا عند تقليل عدد ساعات التشغيل (الفرضية 1). ففي هذه الحالة ، فترة الاسترداد لنظام VAV بالنسبة للنظام CAV تكون أعلى من 10 سنوات.
طبعا الدراسة أعلاه اعتبرت أننا سنشتري نظام VAV متكامل من مصدر مستورد خليجي أو تركي، بينما لو أدخلنا في الحساب كلفة الطرفيات المصنعة محليا فمعامل استرداد رأس المال سيكون أقل من سنة حتماً للفرضية 2 و أقل من سنتين للفرضية الأولى.

الفصل الخامس

نواشر هواء بنظام VAV





انتشرت أنواع متعددة من نواشر الهواء (الدفيوزرات) ذات نظام VAV ومنها الميكانيكي البحت الذي يحوي آلية ميكانيكية لتعديل الفتحة و بالتالي تدفق الهواء حسب درجة حرارة الغرفة و منها الذي يحوي محركا كهربائيا يقاد بواسطة ترموستات الغرفة.

تتميز هذه الطريقة بنوعيها الميكانيكي و الكهربائي بامكانية تطبيقها مباشرة على أي نظام تكييف قائم.

وهناك دراسة تطبيقية [15] أعدت لتحويل نظام تكييف هواء لبناء عمره 40 عاماً وبمساحة قدرها 5000 م2 من نظام CAV إلى نظام VAV.المشروع عبارة عن بناء قديم عمره 40 سنة موجود في السويد وقد أعيد وضعه في الخدمة عام 2003 وتمت مراقبته لدراسة الجو الداخلي ومصروف الطاقة. النتائج الأولية أظهرت الحصول على جو داخلي مريح مع انخفاض كبير في مصروف الطاقة وانخفاض مستوى الضجيج.

لقد أظهرت النتائج أن الطاقة الحرارية اللازمة للتدفئة قد انخفضت بأكثر من 90% والطاقة الكهربائية لمراوح توزيع الهواء قد انخفضت حوالي 50%.

مقدمة:

في الأبنية التجارية تشكل الطاقة اللازمة لتكييف الهواء جزءاً مهماً من مصروف الطاقة. في السويد مثلاُ هناك أبنية مكاتب عمرها ما بين 20 30 سنة مزودة بأنظمة تكييف CAV مهمتها المحافظة على حرارة الغرفة عند مستوى مقبول صيفاً وشتاءً. في أوقات الذروة نحتاج إلى معدلات عالية لتدفق الهواء للتغلب على الأحمال من الإشعاع الشمسي والمعدات الكهربائية والأشخاص. لكن هذه الأحمال الحرارية تكون في أوقات قليلة عند مستواها الأقصى، مما يعني أنه في نظام CAV تدفق الهواء العالي ليس ضرورياً في معظم الأوقات، وبالتالي فالحاجة للطاقة لتوزيع وتسخين الهواء تصبح أعلى.

إذا تم تغيير النظام إلى VAV فإن معدل تدفق الهواء سيصبح أقل والحاجة للطاقة الكهربائية لتوزيع الهواء والحرارة اللازمة للتدفئة ستنخفض. مع انخفاض تدفق الهواء فإن معدل الفعالية لاسترجاع الحرارة سيتحسن والذي سيؤدي لتخفيض الحاجة لتسخين الهواء.

على كل حال إن تغيير نظام CAV قائم إلى نظام VAV هو معقد قليلاً من وجهة النظر الفنية والمالية أيضا.

إن تغيير المراوح ذات السرعة الثابتة إلى مراوح ذات سرعة متغيرة مهمة بسيطة ورخيصة نسبياً حاليا باستخدام انفرتر يتحكم بتردد التيار الكهربائي بينما التغييرات الأخرى في النظام قد تكون معقدة ومكلفة معاً. إن إمكانية الحصول على فتحات هواء بمواصفات مناسبة أمر معقد حيث أنها يجب أن تتمتع بمواصفات تدفق هواء متغير مناسبة:

- إمكانية التحكم بناء على درجة حرارة الغرفة، أو نوعية هواء الغرفة ، أو مجموع هذين الشرطين يجب أن تكون متوفرة
- إمكانية تشكل فرق ضغط عالٍ على الأقل 100 باسكال - يجب أن يكون متوفراً بدون مشاكل ضجيج
- نموذج توزع الهواء في الغرفة يجب أن يكون ثابتاً بمعزل عن معدل تدفق الهواء الداخل.
- الكلفة يجب أن تكون معقولة حسب معامل استرجاع رأس المال.

توفير الطاقة:

إن نظام VAV يغير معدل تدفق الهواء بناء على حاجة الغرفة أو المنطقة. وبسبب انخفاض متوسط الهواء الجاري فإن الحاجة للطاقة الكهربائية اللازمة لتزويد الهواء ستنخفض.

$$\dot{W}_e = \frac{\dot{V}_{VAV} \cdot \Delta p_{tot}}{\eta_{tot}} = \frac{\dot{V}_{VAV} \cdot k_1 \cdot \dot{V}_{VAV}^2}{\eta_{tot}} = \frac{k_1 \cdot \dot{V}_{VAV}^3}{\eta_{tot}} \qquad [\mathrm{W}]$$

طاقة محرك المروحة الكهربائي بالواط.

و حسب المعادلة السابقة نلاحظ أن الطاقة الكهربائية اللازمة للمروحة تتناسب مع مكعب تدفق الهواء.

أما الحاجة للطاقة الكهربائية لتزويد هواء التدفئة فيمكن تحديدها بالمعادلة التالية :

$$\dot{Q} = \dot{V}_{VAV} \cdot c_p \cdot \rho \cdot \Delta T \qquad [\mathrm{W}]$$

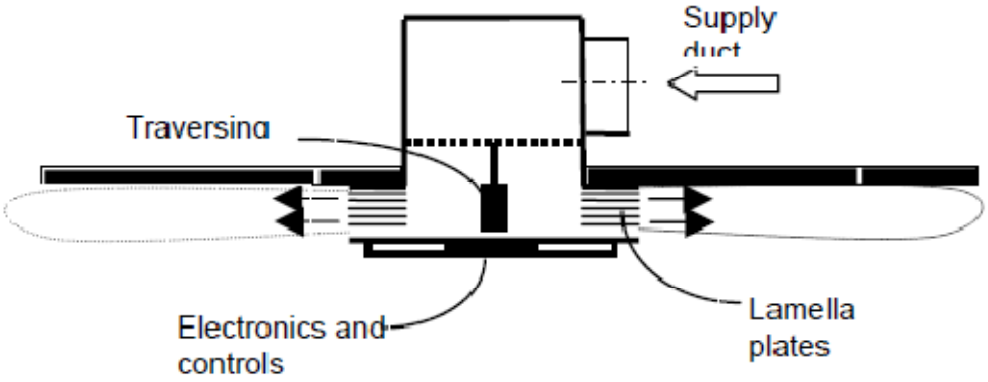
من هذه المعادلة نلاحظ أن انخفاض معدل تدفق الهواء يؤدي لانخفاض كمية الحرارة اللازمة لتسخين الهواء. وفي نفس الوقت الكفاءة الحرارية لاستعادة الحرارة ستزداد عند انخفاض تدفق الهواء عبر المبادل الحراري الخاص باستعادة الحرارة، مما يؤدي لتوفير إضافي في الطاقة.

إن درجة حرارة الهواء المزود لها تأثير كبير أيضا على توفير الطاقة. يمكن عن طريق تغيير التهوية بالإزاحة إلى أجهزة تزويد تسمح بتمرير هواء بدرجات حرارة منخفضة، عندها سنحصل على توفير معتبر للطاقة.

نوع جديد من أجهزة تزويد الهواء:

من أجل أداء جيد لنظام VAV فإنه يشترط تصميم واختيار مكوناته النظام المختلفة بشكل مناسب.من أجل تجنب معظم المشاكل المتكررة فإن اختيار جهاز تزويد الهواء يعتبر مهماً. إن

جهاز تزويد الهواء يجب أن يتمكن من المحافظة على سرعة عالية للهواء الخارج حتى في الحالات التي يكون فيها معدل تدفق الهواء منخفضاً ودرجة الحرارة منخفضة. تهدف هذه الدراسة لتقييم الدراسات المتعلقة بنوع جديد من ديفيوزرات الهواء الخاصة بأنظمة VAV ذات الضجيج المنخفض حتى عند مستويات ضغط مرتفعة في الدكتات بالإضافة لنموذج تدفق مستقر عند حالات متنوع لمعدلات تدفق الهواء. إن نموذجاً تخطيطياً لهذا الديفيوزر يمكن مشاهدته في الشكل التالي:



الشكل (5- 1) جهاز دفيوزر بنظام VAV

إن مبدأ عمل هذا الجهاز هو كالتالي:

يتم تزويد الهواء بين صفائح رقيقة تبتعد عن بعضها بمسافة تتغير وفقاً لمعدل تدفق الهواء المطلوب. يتم التحكم بوضعية الصفائح والمسافة بينها عن طريق محرك يدور في الاتجاهين ويأخذ إشارته من الحساس المتحكم الذي يمكن أن يكون حساس حرارة أو حساس CO2 أو حساس يضبط وجود أشخاص في الغرفة أو مجموعة من إشارات هذه الحساسات.

إذا ارتفعت درجة الحرارة فوق الدرجة المطلوبة يبدأ المحرك بفتح المسافة بين الصفائح ويعطي تدفق هواء إضافي للمحافظة على درجة الحرارة عند المستوى المطلوب. تغلق هذه الصفائح تقريباً عند المستوى الأدنى لتدفق الهواء.

كل جهاز يمكن برمجته لقيمتي تدفق أدنى ولقيمتي تدفق أعظمي. التدفق الأدنى للحالة التي لا يكون فيها أحد في الغرفة. إذا دخل أحد الغرفة فإن تدفق الهواء يزداد إلى الحد الأدنى المطلوب وبعدها يزداد وفقاً للرغبة. نظام التحكم والحساسات تكون موجودة في نفس الجهاز.

نتائج العمل في المبنى قيد الدراسة:

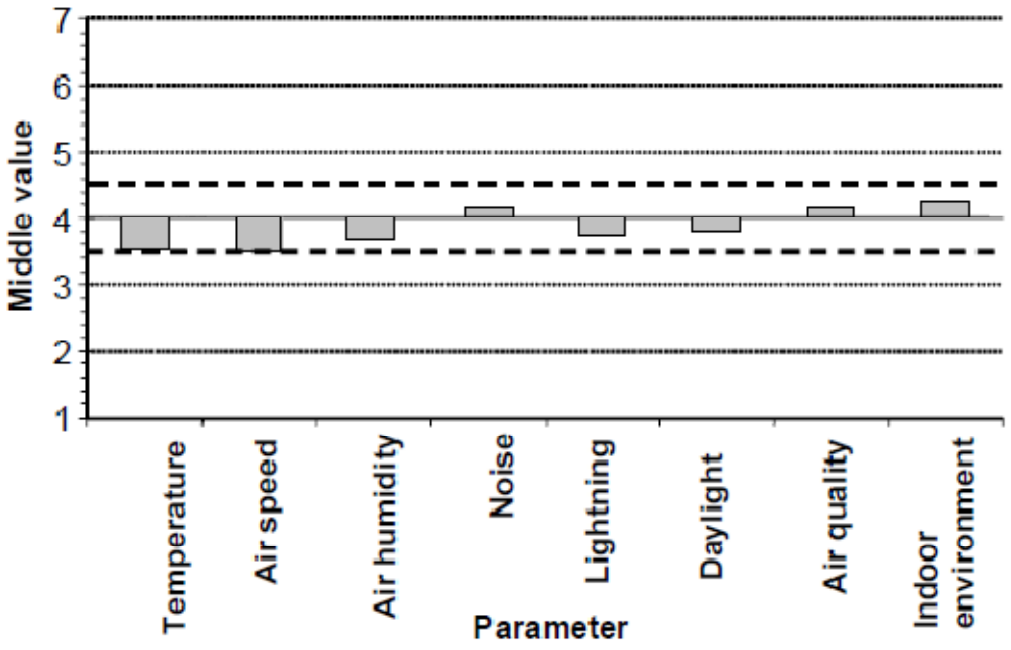
لقد تم استخدام الجهاز الموصوف أعلاه في المبنى قيد الدراسة مع المحافظة على كل من وحدة معالجة الهواء والدكتات، لكن تم تزويد المراوح بأجهزة إنفرتر للتحكم بسرعتها بهدف المحافظة على ضغط ثابت في الدكتات الرئيسية ، كما تم تركيب أجهزة للتحكم بتوازن معدل تدفق الهواء الداخل والخارج في كل طابق.

القياسات والنتائج:

تم دراسة الجو داخل الغرف عن طريق القياس وسؤال الأشخاص المتواجدين فيها (150 شخص) وتم التركيز على الحالات التي يكون فيها درجة حرارة الهواء الداخل منخفضة جداً (حوالي 15 مْ) ومعدل تدفق الهواء عالياً (40 /ثا) ، كما تم دراسة مستويات الصوت عند معدلات تدفق عالي مع انخفاض عال للضغط عبر الديفيوزر (110 باسكال).

تم سؤال الأشخاص عن درجة الحرارة وحركة الهواء ورطوبة الجو والإضاءة وجودة الهواء والبيئة الداخلية عموماً، وتم تكرار في الشتاء والصيف.

نتائج الاستطلاع أظهرت أن معظم الآراء كانت مجمعة على أن طبيعة الجو جيدة (المستوى ما بين 3.5 4.5) .



الشكل (5- 2) نتائج الاستطلاع بعد تركيب النظام

الجدول **(5 -1)** يوضح بعض المعلومات المتعلقة بأداء نظام تكييف الهواء قبل وبعد التعديل.

الجدو (5 -1) بأداء نظام تكييف الهواء قبل وبعد التعديل

System parameter	Before rebuilding CAV system	After rebuilding VAV system
Heat recovery- temperature efficiency	75%	av 78%
Operation time	3500 h/year	3500 h/year
Supply air temperature	18°C	15°C
Exhaust air temperature	21°C	21°C
Specific fan power- SFP	2,5 $kW/m^3/s$	av 1,2 $kW/m^3/s$
Necessary annual heat energy	12,5 MWh_{heat}	0 MWh_{heat}
Necessary annual electric energy	57 MWh_{el}	21 MWh_{el}

مناقشة النتائج :

عند تصميم نظام VAV من الضروري فهم عمل أجزائه المختلفة لأن أداء كل منها يؤثر على عمل كامل النظام. إن تركيب مراوح مزودة بأجهزة تحكم بالتردد لتغيير سرعتها هو أبسط وأرخص جزء من نظام VAV .أما بالنسبة لبقية أجزاء النظام من دكتات ودامبرات وفتحات الهواء فإن الأمر أكثر تعقيداً ويشكل جزءاً مهماً من الكلفة الكلية. كما يستتبع ذلك أن هذه الأجزاء يجب أن تحقق متطلبات محددة مثل توفير جواً مريحاً باستخدام طاقة أقل وبكلفة معقولة.

الفصل السادس

جودة الهواء الداخلي

جودة الهواء الداخلي[15]

INDOOR AIR QUALITY

متطلبات التهوية : (Ventilation requirements)

من أجل تحقيق احتياجات التهوية لكل مكان يجب تجديد الهواء لتوفير الهواء النقي اللازم للتنفس حيث يحتاج الشخص بحدود 5 ليترات من الهواء النقي في الثانية ويتم ذلك عن طريق تجديد الهواء.

طريقة تغييرالهواء. (Air changes method)

في هذه الطريقة يتم تجديد الهواء داخل الأماكن المكيفة لعدد من المرات كل ساعة وهذا ما يطلق عليه [(Air changes per hour (ACH] وهو عبارة عن قسمة معدل التهوية في الساعة على حجم الحيز المراد تهويته. تتوقف معدلات التهوية على نوعية الاستخدام، مساحة وحجم الحيز المخصص لكل شخص. الجدول (6 - 1) يوضح عدد مرات تغيير الهواء في الساعة (ACH) للاستخدامات المختلفة.

تلوث الهواء (Air contamination)

يعتقد الكثيرون أن تلوث الهواء الخارجي هو الذي يؤثر على صحة الانسان ولكنهم لا يعلمون أن الهواء الداخلي يمكن أيضا أن يؤثر بصورة كبيرة على صحتهم.

أثبتت الدراسات التي تقوم بها الوكالة الأمريكية لحماية البيئة American Environmental [Protection Agency (EPA)] أن تأثير مستويات ملوثات الهواء الداخلي يمثـ من (5 - 2) أضعاف ذلك الذي يحدث بواسطة الهواء الخارجي.

من المعلوم أن الهواء الجوي يحتوي على نسب ثابتة تقريبا من النتروجين (الآزوت) (78%) الأوكسجين (21%) ، الأرجون (0.9%) ونسب متغيرة من ثاني أكسيد الكربون(0.03%) وبخار الماء % 3.5بالاضافة إلى الغازات الخاملة مثل الهليوم والكربتون .

ملوثات الهواء هي عبارة عن أي غازات أخرى غيرتلك المذكورة أعلاه. بالرغم من أن تركيزها يكون عادة صغيرا إلا أن تأثيرها يكون خطيرا على الأشخاص ومواد البناء وعليه فإن التخلص منها يصبح ضرورياً.

جدول (6 - 1) عدد مرات تغيير الهواء في الساعة (ACH) للاستخدامات المختلفة

م	المكان	ACH
١.	مكاتب	1.5-3
٢.	سينما -مسرح	5
٣.	مطابخ	10-20
٤.	مدارس	20
٥.	صالات اجتماع	5
٦.	معامل	5
٧.	مطاعم	4
٨.	دورات مياه	5
٩.	حمامات	4
١٠.	منازل	1-2
١١.	مصانع	2-4
١٢.	محلات تجارية	0.5-1

الملوثات الغازية :(Gaseous contaminants)

التأثيرات الضارة للملوثات الغازية هي:

1

- السمية (Toxicity)

يجب على مهندس التكييف الأخذ في الاعتبار درجة السمية للغازات عند تحديد كمية الهواء الراجع الآمنة ويجب أن تكون كمية هواء التهوية كافية بحيث لا يزيد تركيز تلوث الغاز عن المستويات المسموح بها والمحددة بواسطة المعهد القومي للسلامة والصحة المهنية.

[National Institute for Occupational Safety & Health (NIOSH)]

مثال للغازات السامة غاز أول أكسيد الكربون وغاز الرادون [(Radon (Rn] الذي يتسبب في آلاف الوفيات بسبب سرطان الرئة الذي يعتبر الرادون المسؤول الثاني عنه في الولايات المتحدة حسب التقارير الصادرة من الأطباء الجراحين.

2 - الروائح: (Odors)

تكون الروائح دائما مصدرا للإزعاج للكثيرين. كل شخص له حساسية مختلفة ضد الروائح. زيادة الرطوبة النسبية تعمل على زيادة الروائح . في الواقع يكون من الأفضل أن تظل عتبة الرائحة للمادة السامة أو القابلة للانفجار أقل بكثير من معدلات السمية مما يساعد على تحذير الأشخاص بوجود الملوث في هذا المكان.

عند وجود تركيز قليل لبعض الروائح قد لا يستطيع شخص إدراك وجودها .تبحث الدراسات في هذا الصدد عن تحديد المستوى الذي يكون فيه نسبة 50 % من الأشخاص لا يستطيعون إدراك رائحة المركب الذي تتم دراسته وهذا ما يعرف بعتبة الرائحة لهذا المركب.

3 - الاستجابة للتهيج و الحساسية: (Irritation & allergic response)

التعرض لبعض الملوثات الغازية يسبب التهيج، الحساسية الربو، السعال، حساسية (العين، الحلق، الجلد) ضيق التنفس، الدوخة، الصداع والكآبة وهذه الأعراض قد تظهر عند بعض الأشخاص ولا تظهر عند البعض الآخر مما يجعل التشخيص في غاية الصعوبة والمشكلة تكمن في تركيزالغازات الملوثة ولكنها بالطبع أي الأعراض السالفة الذكر لا تحدث عند حد عتبة الرائحة. اقترح العالم راسك في عام 1988 م بأنه عندما يشكو (20 %) من الأشخاص في مبنى معين فإن المبنى يعتبر (متلازم المرض) (Sick building syndrome)

4 - تلف المواد : (Damage of materials)

الغازات الملوثة قد تسبب تلف المواد مثـ الصدأ الهشاشة فقدان اللون وذلك نتيجة للتفاعلات الكيميائية التي تحدثها الغازات في وجود بخار الماء.

مصادر الغازات الملوثة الداخلية (Indoor gaseous contaminants sources)

1 - دخان السجاير (Tobacco smoke)

2 - المنظفات (Cleaning agents)

مثل الشمع المطهرات مواد التجميل

3 - مواد البناء والأثاث (Building materials & furnishings)

مثل الموكيت ورق الحائط الأخشاب مواد اللصق مواد الطلاء.

4 - المعدات (Equipment)

مثل ماكينات التصوير، طابعات الليزر، ماكينات الفاكس الطابعات المدافئ.

5 - الأشخاص: (Occupants)

تنبعث الكثير من الملوثات من الأشخاص والحيوانات عن طريق التنفس ، العرق ، الريح مثل غاز الأمونيا الميثان الميثانول البروبان ، أول أكسيد الكربون ، ثاني أكسيد الكربون.

6 - الهواء الخارجي: (Outdoor air)

التلوث في الهواء الخارجي يمكن أن يكون موضعيا كالذي يكون مصدره المطاعم المركبات، الأوزون الصرف الصحي أو ملوثات من المنطقة كثاني أوكسيد الكبريت الأوزون أكاسيد النترو جين. تركيز هذه الملوثات يختلف مع الزمن ومن موسم إلى أخر.

التحكم في جودة الهواء الداخلي Indoor air quality control

يتم التحكم بجودة الهواء الداخلي بأربع طرق وهي:

(أ) التخلص من مصادر التلوث

(ب) تنقية الهواء الراجع.

(ج) زيادة التهوية العامة.

(د) تنقية الهواء بزيادة أو بدون زيادة في معدلات التهوية.

تنقية الهواء: (Air cleaning)

تختلف طرق تنقية الهواء تبعا لنوعية المواد العالقة في الهواء.

للتخلص من المواد الصلبة العالقة مثـ الغبار، الرمال ، السخام وذرات الدخان تستخدم الطرق التالية :

- قوة الطرد المركزي لفصل الجسيمات الكبيرة.
- غسل الهواء لفصل الجسيمات القابلة للبلل.
- ستائر لحجز الجسيمات الكبيرة.
- مواد لاصقة لحجز الأتربة.
-الخاصية الإلكتروستاتيكية لشحن ذرات الأتربة كهربائيا ومن ثم جذبها إلى أسطح ذات شحنة مخالفة.

للتخلص من السوائل مثل الرذاذ والضباب تستخدم الطرق التالية:

السوائل الماصة.

- غرف الترسيب (الترقيد).

للتخلص من الغازات والأبخرة تستخدم الطرق التالية:

-عمليات التكثيف للأبخرة

- التفاعل الكيميائي للغازات.

بالنسبة لأنظمة التسخين والتهوية وتكييف الهواء (HVAC systems) تستعمل معدات التحكم في تنقية الغازات الملوثة لتخدم ثلاث اغراض :

1 - معالجة الهواء الخارجي: (Outside air treatment)

جهاز تنقية الهواء يتم وضعه خارج مدخل الهواء الخارجي ليقوم بمعالجة الهواء الخارجي فقط.

2 - المعالجة الجزئية لهواء التغذية (Partial supply air treatment)

يتم وضع خوانق إمرار جانبي أو تركيب جهاز تنقية الهواء ليسمح بمعالجة جزء من الهواء وذلك عندما يكون تركيز الملوثات الداخلية والخارجية معلوماً.

3 - المعالجة الكلية للهواء: (Full supply air treatment)

المعالجة الكلية توفر أفضل تحكم للملوثات ولكنها بالطبع مكلفة وتستخدم غالبا في استراتيجيات التهوية التي تقلل الهواء الخارجي من اجل الحصول على جودة ممتازة للهواء الداخلي.

تعقيم الهواء (Air sterilization)

يتم تعقيم الهواء وقتل البكتريا باستخدام أحد الطرق التالية :

(آ) مصابيح الأشعة فوق البنفسجية

تنتج الأشعة فوق البنفسجية غاز الأوزون الذي يمكنه القضاء على البكتريا . اللمبة ذات الطاقة (14000ميكروواط يمكنها القضاء على معظم البكتريا خلال جزء من الثانية.

(ب) رش الهواء بمحلول ثلاثي ايثلين الجليكول ليقضي على البكتريا في الهواء.

مرشحات الهواء (Air filters)

يمكن تصنيف مرشحات الهواء المستخدمة في مجال تكييف الهواء إلى ثلاثة أنواع رئيسة :

(أ) مرشحات جافة (Dry filters)

(ب) مرشحات لزجة (Viscous filters)

(ج) مرشحات إلكترونية (Electronic filters)

(أ) المرشحات الجافة: (Dry filters)

تتكون المرشحات الجافة من مواد مثل السيليلوز، الإسبستوس، الورق المسامي المعالج القماش، الصوف الزجاجي أو خيوط القطن مجمعة في إطار معدني. عند مرور الهواء خلال وسائط الترشيح تتعلق ذرات الأتربة بمادة الترشيح وبالتالي يصبح الهواء الخارج من المرشح خاليا من الأتربة وذرات الرمال.

يؤثر على أداء المرشحات أقطار الألياف، سمك المرشح ونسبة مساحة أسطح الترشيح إلى مساحة واجهة المرشح (Filter face area) .

يمكن تصنيف المرشح الى:

- مرشحات ثابتة يتم تغييرها عند اتساخها.

- مرشحات متحركة على هيئة شريط يتحرك ببطء بواسطة بكرتين عند اتساخ الشريط بكامله يتم تغييره بشريط آخر جديد.

يمكن تصنيف المرشحات الجافة إلى ثلاثة درجات حسب أنواع المواد المستخدمة في التوشيح:

مرشحات تستخدم ماد ة السلولوز لترشيح الأتربة الكبيرة ذات الأقطار الأكبر من 7 ميكرون.

مرشحات تستخدم الألياف الصناعية لترشيح الأتربة المتوسطة ذات الأقطار الأقل من 7 ميكرون والأكبر من (0.7) ميكرون.

مرشحات تستخدم الألياف الزجاجية لترشيح التربة الدقيقة ذات الأقطار الأقل من (7) ميكرون .

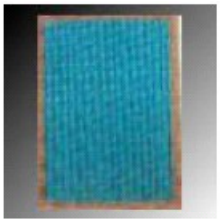
تتراوح كفاءة المرشحات الجافة بين (% 95) ، (% 84) . تنتج الشركات المرشحات الجافة بأبعاد قياسية :

(12.5 x 62.5 cm) , (50X 50 cm) , (40x 62.5 cm) , (40x 50 cm) , (25 x 50 cm)

وبسمك (25, 50, 100 mm)

يبين الشكل (6 ـ1) مرشحات جافة: (أ) ذات كفاءة عالية ، (ب) ذات كفاءة متوسطة ، (ج) متحركة أتوماتيكيا.

(أ): كفاءة عالية



(ب): كفاءة متوسطة

(ج): متحرك أتوماتيكياً

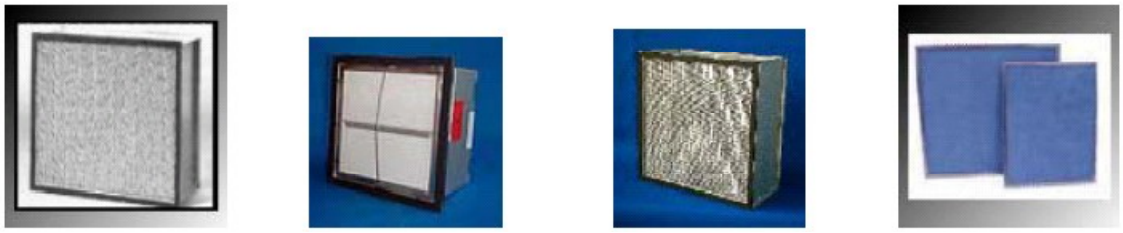
الشكل (6 ـ1) مرشحات جافة

المرشحات الدقيقة. (Fine filters)

المرشح الدقيق عبارة عن نوع من المرشحات الجافة التي فيها المسافة بين الألياف دقيقة جدا مما يساعد على تنقية الهواء المار خلال المرشح من الأتربة الغازات، الكائنات الدقيقة والبكتريا بكفاءة تصل إلى حوالي (99.9%) عند مرور هواء يحتوي ذرات أقطارها (0.3) ميكرون وفيروسات (0.05) ميكرون ويطلق عليها مرشحات الهيبا [High Efficiency Particulate Air (HEPA) Filters].

يستخدم المرشح الدقيق لتنقية الهواء قبل دخوله إلى غرف العمليات، معامل الأبحاث، مصانع الأمصال والأدوية وغرف الأجهزة الدقيقة التي تتطلب هواء ذا درجة عالية من النقاوة.

تركب المرشحات الدقيقة بعد المروحة أي بعد معالجة الهواء خلال المرشح الأولي لنظام تكييف الهواء. المرشح الأولي يمكن أن يكون من النوع المعدني القابل للغسيل أو من النوع اللزج المتحرك. يعمل المرشح الأولي على المحافظة على المرشح الدقيق من الاتساخ وبالتالي زيادة فترة تشغيله وعمره الافتراضي.الشكل (6 -2) يبين مرشحات دقيقة من نوع هيبا.



الشكل (6 -2) مرشحات دقيقة من نوع هيبا

(ب) المرشحات ذات الارتطام اللزج: (Viscous impingement filters)

تعتمد نظرية المرشحات اللزجة على استعمال مادة لزجة تعمل على حجز الأتربة والميكروبات. يتكون المرشح اللزج من ألياف الصوف الزجاجي، ألياف اصطناعية ، ألياف الألمنيوم أو شعر الحيوانات على هيئة تجاويف متعاقبة وراء بعضها ومشبعة بمادة لزجة (زيت أو شحم) تقوم باستخلاص الأتربة من الهواء المار خلالها نتيجة تغييراتجاه حركة الهواء وسرعته خلال المرشح . المرشحات اللزجة يمكنها التخلص من حوالي (90%) من الأتربة العالقة بالهواء بكفاءة تتراوح بين 65% و 80 %

تصنف المرشحات اللزجة إلى ثلاثة أنواع :

- مرشحات قابلة للغسيل: (Washable filters)

هذا النوع من المرشحات يمكن غسله بمحلول منظف ، بعد انسداد ه بالأتربة ، وتجفيفه واعادة ملأه بالمادة اللزجة لإعادة استخدامه .

مرشحات قابلة للتغيير (Changeable filters)

هذا النوع من المرشحات يتطلب تغيير المادة المرشحة بمادة جديدة بعد انسداده بالاتربة.

مرشحات ذاتية التنظيف (Self-cleaning filters)

تعتمد نظرية هذه المرشحات على استخدام ستارة دائرية من الريش محملة بمادة لزجة يتم ادارة هذه الستارة بواسطة ترسين ومحرك، جزء من الريش يغمر بشكل دائم في حوض مملوء بمادة لزجة (زيت) تعمل على غسل الريش المتحركة من الأتربة العالقة بالمادة اللزجة علاوة على تحميل الريش بمادة لزجة جديدة. مرور تيار الهواء خلال الستائر يعمل على تنقية الهواء من الأتربة التي تتجمع على أسطح الريش. يجب تجديد المادة اللزجة المتجمعة في قاع الحوض عندما تصبح المادة اللزجة على هيئة طينية.

المرشحات اللزجة مناسبة في حالة التركيز العالي للمواد العالقة.

الشكل (6 3)يبين مرشحات ارتطام لزجة: (أ) قابلة للتنظيف (ب) ذاتية التنظيف.

(أ): قابل للتنظيف (Washable)

(ب): ذاتي التنظيف (Self-cleaning)

الشكل (6 -3) مرشحات ارتطام لزجة

(ج) المرشحات الإلكترونية. (Electronic filters)

تعرف المرشحات الإلكترونية بالمرسبات (Precipitators) وتصنف إلى نوعين: النوع المتأين والنوع ذي الأوساط المشحونة (Charged media type)

تعتمد نظرية المرشحات على شحن جزيئات المواد العالقة بشحنة الكتروستاتيكية ثم جذبها إلى ألواح ذات شحنة كهربائية مخالفة لجزيئات المواد العالقة.

يتكون المرشح الإلكتروستاتيكي من شبكتين مشحونتين بشحنة كهروستاتيكية بجهد عال يتراوح بين (1000إلى 13000فولت). كافية لجذب أي ذرة من الأتربة أو الميكروبات. تجهز المرشحات الإلكترونية بأجهزة لفصل التيار عنها قبل الكشف عليها حتى لا تسبب أخطار لمن يلمسها . تتراوح كفاءة المرشحات الإلكترونية بين (70% و% 90) . عادة يستخدم مرشح جاف مع المرشحات الإلكترونية وذلك للتخلص من الجسيمات الكبيرة.

يتراوح استهلاك الطاقة للمرشحات الإلكترونية بين (240) و(300 وات لكل متر مكعب ثانية من الهواء.

حاليا تستخدم المرشحات الإلكترونية بدلا من المرشحات الجافة الدقيقة ذات الكفاءة العالة للتخلص من الجسيمات ذات الأقطار الأقل من الميكرون. يمكن تركيب المرشحات الإلكترونية في مجاري هواء التغذية أو مجاري الهواء الراجع. من مزايا المرشحات الإلكترونية العمل على تعقيم الهواء عن طريق قتل الميكروبات والجراثيم التي يحملها الهواء علاوة على التنقية.

الشكل 6 -4 يبين مرشحات إلكترونية: (أ) النوع المتأين ، (ب) النوع ذو الأوساط المشحونة

(أ): النوع المتأين (Ionizing type)

(ب): النوع ذو الأوساط المشحونة (Charged media type)

الشكل(6 -4) مرشحات إلكترونية

معيار أداء المرشحات (Filters performance criteria)

يمكن بيان أداء المرشحات بدلالة كل من : كفاءة المرشح ، مقاومة الهواء خلال المرشح وفترة تشغيل المرشح قبل الإحلال والتجديد .

كفاءة المرشح (Filter efficiency)

تعتبركفاءة المرشح من خلال إمكانياته على حجز الأتربة من الهواء . المعادلة الرياضية لكفاءة المرشح هي

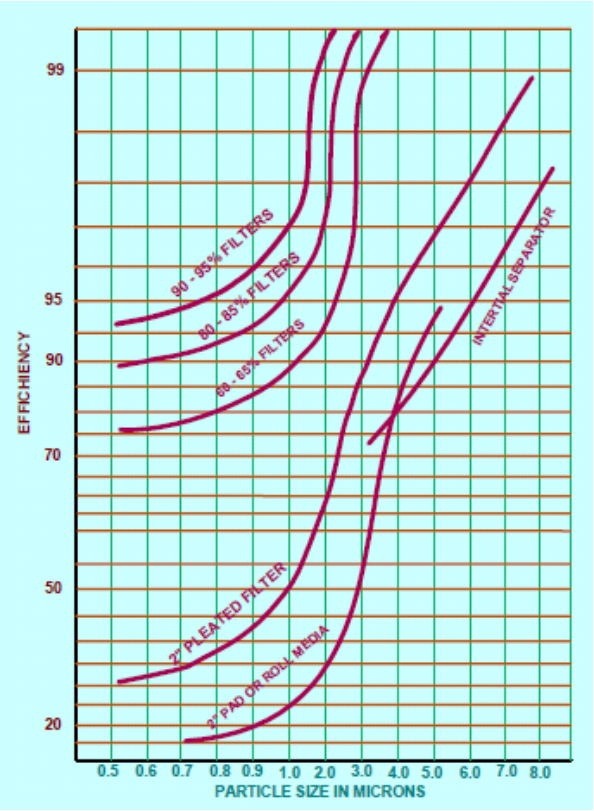
$$\eta(filter) = \frac{C_1 - C_2}{C_1}$$

عبارة عن نسبة تركيز الأتربة قبل المرشح = C1

عبارة عن نسبة تركيز الأتربة بعد المرشح = C2

تتوقف كفاءة المرشح على قطر جسيمات الأتربة وعددها لوحدة الحجم للهواء. تؤثر العوامل التالية على كفاءة المرشح: سرعة الهواء خلا المرشح، نسبة تركيز الأتربة ، حجم الجسيمات، شكلها قطرها ثقلها النوعي وخصائصها الطبيعية والكيميائية.

الشكل (6 5) يوضح العلاقة بين كفاءة المرشح وأبعاد الجسيمات.



الشكل (6 -5) يوضح العلاقة بين كفاءة المرشح وأبعاد الجسيمات

يلاحظ أنه من الاستحالة التخلص من كافة المواد العالقة في الهواء لضخامة التكاليف. يتم عادة التخلص من (90%) إلى (95%) من الجسيمات العالقة في الهواء.

يمكن تعيين كفاءة الترشيح بدلالة:

- الوزن الكلي للأتربة المجمعة في وحدة الزمن.
- حجم أصغر جسم يتم التخلص منه بواسطة المرشح.

الجدول (6 -2) فرق الضغط للمرشحات النظيفة الجديدة وفرق الضغط الذي عنده يجب تغيير أو تجديد المرشحات حسب معطيات مكتب القياسات القومي الأمريكي NPS

الكفاءة (%)	فرق الضغط (N/m^2)	
	الابتدائي	النهائي
40	37.5	175
60	62.5	200
85	87.5	225
95	100	250

- تحديد إزالة اللون (Discoloration) للهواء على جانب الطرد للمرشح.

المقاومة Resistance)

مقاومة المرشح عبارة عن انخفاض الضغط الاستاتيكي خلال سمك المرشح.

عند تصميم أنظمة تكييف الهواء يجب أن لا يزيد انخفاض الضغط خلال المرشح عن ربع فرق الضغط خلال المروحة.

الجدول (6 -2) يبين فرق الضغط للمرشحات النظيفة الجديدة وفرق الضغط الذي عنده يجب تغيير أو تجديد المرشحات حسب معطيات مكتب القياسات القومي الأمريكي NPS

طرق اختبار المرشحات (Methods of testing filters)

الطرق التالية تستخدم عادة في اختبار المرشحات وهي:

- طريقة الوزن: (Weight method)

يتم قياس وزن الغبار الذي تم التخلص منه بواسطة المرشح ومقارنته بوزن قياسي لمادة الغبار ذات تركيز وأحجام معروفة. هذا الاختبار مفيد لمقارنة قدرة المرشح على حجز الأجسام الكبيرة ولكنه لا يبين مقدرة المرشح على التخلص من الأجسام الصغيرة حيث أن الأجسام الصغيرة تشكل نسبة صغيرة من الوزن الكلي لغبار الهواء الجوي.

2 طرق إزالة اللون الموضعي للغبار: (Dust spot discoloration method)

في هذا الاختبار يتم تمرير الهواء أولا على المرشح ثم على ورق ترشيح . الدرجة التي يزال فيها لون ورق الترشيح تعتبر مؤشرا لكمية أجسام الغبار الصغيرة التي لم يتم التخلص منها بواسطة المرشح . هذا الاختبار هام لأن هذه الأجسام تسبب اتساخ أسطح الغرفة .

3 طرق اختراق الـ DOP: (Di-octyl-phthalate penetration method)

يستخدم هذا الاختبار لقياس مقدرة المرشح على التخلص من الأجسام الصغيرة جدا. حيث يتم تمرير سحب من مادة (DOP) الكيميائية في خط الهواء عبر المرشح. تركيز الأجسام التي لم يتم حجزها يتم قياسه عند مخرج الهواء باستحدام ضوء مستطير(Scattered light). بهذه الطريقة يتم اختبار فعالية المرشح في التخلص من الأجسام الصغيرة مثل البكتريا بقطر (1- 0.01) ميكرون ودخان السجاير بقطر (50 - 03) ميكرون .هذا الاختبار يستخدم كما هو واضح فقط للمرشحات ذات الكفاءة العالية في التخلص من الأجسام الصغيرة.

قدرة المرشح على حمل الغبار (Filter dust holding capacity)

الاختبارات الثلاثة أعلاه تستخدم في قياس كفاءة المرشح في التخلص من الأجسام ولكنها لا تقيس كيف تزيد مقاومة الهواء للمرشح مع تراكم الغبار. المرشح الذي يحمل كمية معتبرة من الغبار قبل أن تزيد المقاومة بصورة كبيرة يفضل على ذلك الذي له قدرة قليلة على حمل الغبار قبل أن تزيد المقاومة عن حد معين. هذه الطريقة تعمل على مقارنة وزن الغبار المتجمع مع زيادة مقاومة الهواء خلال المرشح.

اختيار المرشحات (Selection of filters)

عند اختيار المرشحات يجب أن نوازن بين متطلبات الترشيح وتكاليف التشغيل.

أسس اختيار المرشحات هي:

(أ) حجم الأتربة نوعيتها وكثافتها .

(ب) نوع عملية التكييف درجة النقاوة ، ونسبة تركيز الأتربة المطلوبة.

(ج) طريقة تنظيف المرشحات بعد انسدادها بالأتربة.

(د) كفاءة المرشحات المطلوبة.

(ه) تكلفة العمالة الطاقة وساعات تشغيل المرشح.

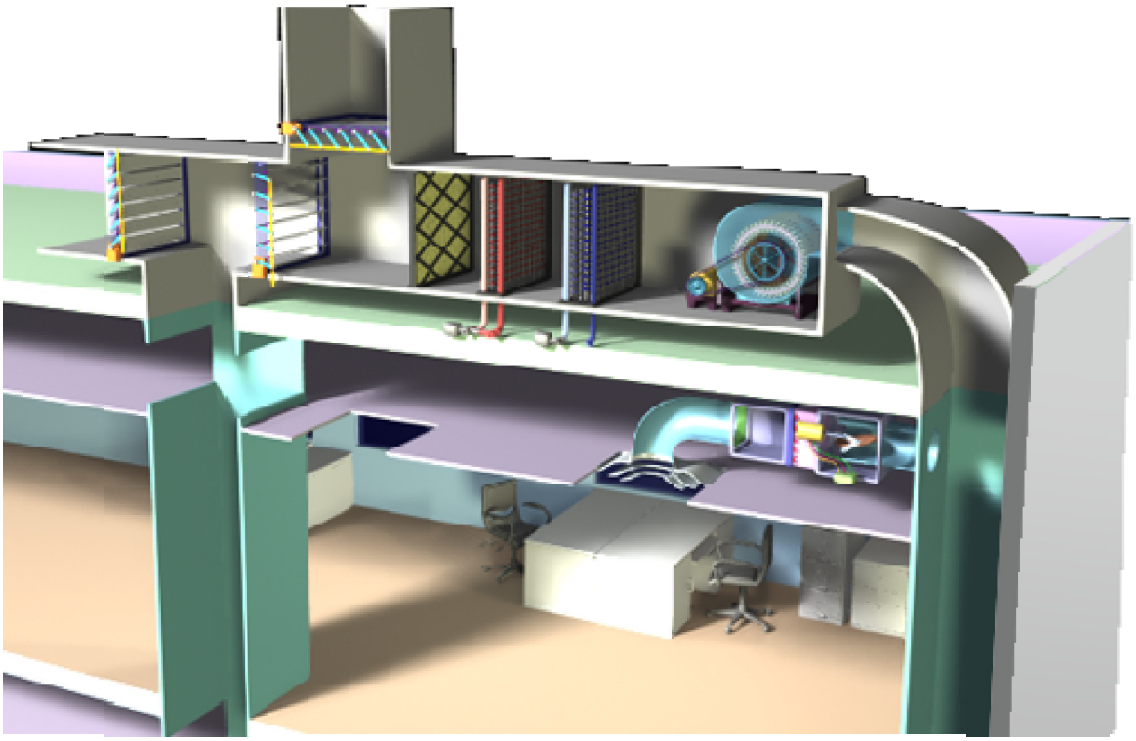
جدول (6 - 3) مقارنة بين المرشحات الجافة اللزجة والإلكترونية

عنصر المقاومة	جاف	لزج	إلكتروني
الكفاءة	عالية	منخفضة	عالية جدا
التكلفة	عالية	بسيطة	بسيطة
فرق الضغط	كبير	كبير	صغير
العمر الافتراضي	صغير	متوسط	طويل

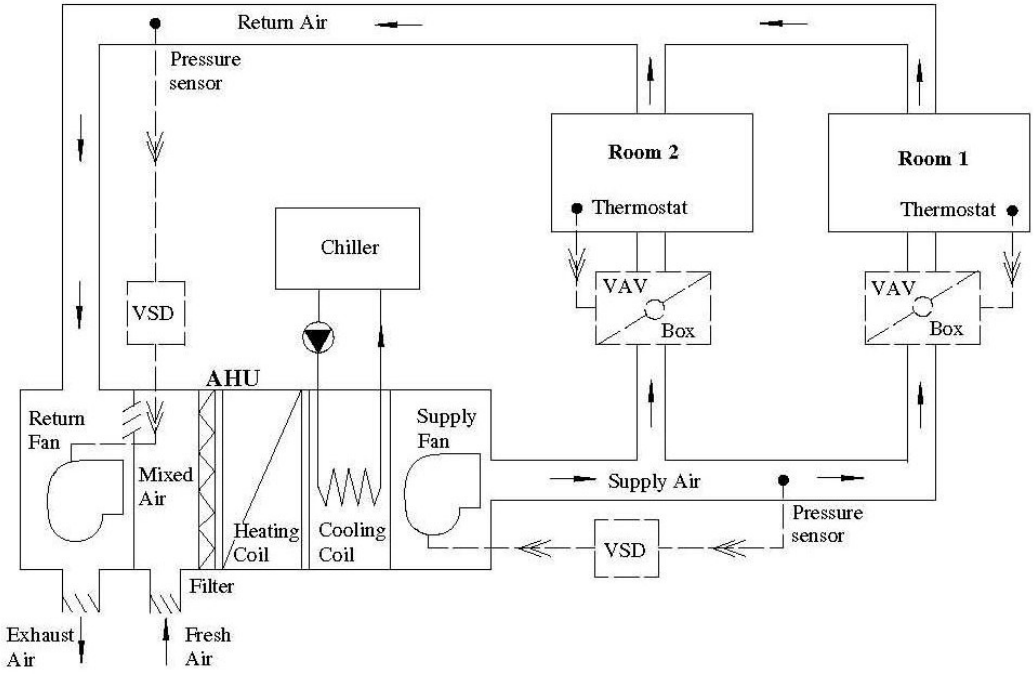
يتم تنظيف المرشحات بواسطة نافورة هوائية مائية أو بخارية كما يمكن غسل المرشحات بالزيت أو الكيروسين. يفضل غسل المرشحات بالزيت لأنه يضيف طبقة لزجة للمرشحات. يوضع المرشح عادة على جانب السحب للمروحة قبل ملف التبريد وازالة الرطوبة. يفضل وضع المرشح بعد المروحة إذا كان من النوع زي الكفاءة العالية. بالنسبة للتطبيقات التي تحتاج إلى تنظيف قليل وتكلفة قليلة فيمكن اختيار النوع اللزج القابل للتغيير مثال المباني السكنية. بالنسبة للتطبيقات التي تحتاج إلى درجة كبيرة من النظافة حيث التلوث كبير يمكن اختيار المرشحات الجافة ذات الكفاءة المتوسطة أو المرشحات الإلكترونية عندما يكون الدخان كثيفا. المرشحات الإلكترونية تستخدم غالبا مع المرشحات اللزجة القابلة للغسيل للتخلص من الأجسام الكبيرة أولا حتى لا يحدث تراكم الأوساخ على سطح المرشح الإلكتروني بسرعة ويستخدم هذا الترتيب في المباني التجارية الكبيرة.

الفصل السابع

القسم العملي



مخطط توضيحي للمشروع وهو عبارة عن نموذج لغرفتين يتم تغذيتها بالهواء المعالج الناتج من وحدة معالجة موجودة في مخبر التكييف و التبريد في كلية الهمك والتحكم بكمية الهواء اللازم للتغلب على الحمل بموجب طرفيات VAV



1.7 تمهيد:

سنقوم في هذه التجربة باختبار مبادئ استثمار طرفيات الـــ VAV لمعرفة الطريقة الأفضل والأنسب للتطبيق في بلدنا لتحقيق التوفير في الطاقة الكهربائية ولمنع الهدر الناتج عن الاستخدام غير المبرر لأنظمة التكييف والتدفئة في قطاعات الدولة المختلفة.

إن الهدف النهائي هو الوصول إلى طريقة سهلة ورخيصة وغير مكلفة لتعديل أنظمة التكييف في المباني الحكومية بحيث يتم تخفيض استهلاك الكهرباء والطاقة واستثمار نظام التكييف بالشكل الأنسب بدون كلفة كبيرة حيثما كان ذلك ممكنا .

من أجل تحقيق هذا الهدف قمنا بتصميم منصة اختبار تشكل وحدة طرفية مستقلة Stand alone terminal يمكن وصلها على أي نظام تكييف مركزي موجود مسبقا .

هذه الوحدة الطرفية لنظام VAV مزودة بالتحكم اللازم لتحقيق درجة حرارة ورطوبة وجودة هواء داخلي ومعظم مكونات التحكم المركب هي من شركة SIEMENS الألمانية .

لاختبار هذه الوحدة يمكننا وصلها على وحدة معالجة الهواء الموجودة في مخبر كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية .

سوف نقوم باختبار الطرق الثلاث في وصل نظام الـ VAV (التحكم المستقل عن الضغط والمرتبط بالضغط و التمرير الجانبي bypass)وفي حالتي التشغيل الشتوي والصيفي في مدينة دمشق لمعرفة ميزات كل طريقة ودراسة مدى توفير الطاقة الذي نحصل عليه باستعمال نظام الـــ VAV بديلا عن النظام ذي حجم الهواء الثابت.

2.7 الوصف العام لنموذج الاختبار:

يتألف نموذج الاختبار من حجرتين مفصولتين بعازل حراري من الستيروفوم سماكة 2 سم مزودتين بباب زجاجي يسمح بالرؤية الجيدة من خلاله والغرفتان مزودتان بفتحات لدخول وخروج الهواء ومجهزة بالتجهيزات التالية :

1. مروحة تغذية هواء من النوع النابذي ذات محرك أحادي الطور متعدد السرع.
2. مروحة سحب الهواء ذات محرك أحادي الطور أحادية السرعة.
3. مفتاح تفاضلي لفرق الضغط للتحكم بسرعة مروحة التغذية.
4. مجاري هواء مرنة معزولة لنقل الهواء المعالج إلى حجرة الاختبار.
5. مجاري هواء غير معزولة لنقل هواء الطرد وهواء الراجع خارج حجرة الاختبار.
6. فتحات هواء لنشر الهواء داخل حجرة الاختبار.
7. معيرات هواء حجمية يتم التحكم بها آليا.
8. محركات كهربائية تناسبية للتحكم بالمعير الحجمي.
9. حساسات حرارة لقراءة الحرارة.
10. هيدروستات رقمي لقراءة الرطوبة و التحكم بالمرطبة و المجففة.
11. حساس جودة الهواء الداخلي CO_2

12. اللوحة الكهربائية للتحكم والتشغيل بخرج 24 فولت متناوب لتشغيل الترموستات و المحركات.

وفيما يلي شكل نموذج الاختبار

.

3.7 الشرح التفصيلي لمكونات منصة الاختبار

1 مروحة تغذية الهواء

من النوع النابذي أحادي السحب متعددة السرع يتم اعتماد سرعتين للاختبار سرعة عليا تقابل الحمل الكامل وسرعة دنيا تقابل حالة الحمل الأصغري وتكون المروحة ذات قطر خروج 10 سم وتدفق المروحة الأعظمي 1200 متر مكعب بالساعة.

مروحة تغذية الهواء

2 مروحة سحب أو طرد الهواء من النوع النابذي أحادية السرعة ذات سحب أحادي مدخلها و مخرجها دائري قطر 10 سم .

تكون كلا المروحتين من صناعة إيطالية وذات تشغيل هادئ

3 مفتاح تفاضلي للضغط للتحكم بسرعة المروحة

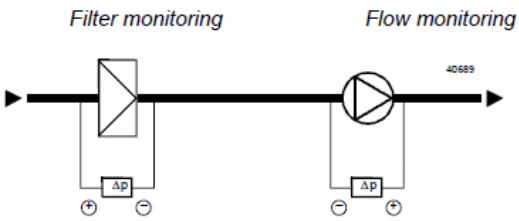
وهو من صناعة شركة سيمنس الألمانية SIEMENS ويستعمل لتحسس زيادة الضغط في الشبكة وتغيير سرعة المروحة إلى السرعة الدنيا في حال إغلاق الدنابر

مبدأ العمل:

إن فرق الضغط على مخرجي انابيب تحسس الضغط تؤدي إلى تغيير وضعية غشاء مرن مزود بنابض .

يمكن أن يستعمل نفس هذا الجهاز لتحسس حالة الفلاتر في حال اتساخها (زيادة فرق الضغط قبل الحساس وبعده عن القيمة التصميمية) ويمكن أن يستخدم أيضا للمراوح لبيان حالة المروحة (عمل أو توقف) نتيجة انقطاع السير الناقل للحركة أو وصل عكسي للمحرك كما في الشكل أدناه.

Application examples



+ Pressure upstream of filter
– Pressure downstream of filter

+ Pressure downstream of fan
– Pressure upstream of fan on inlet side or open to atmospheric pressure. WIth radial fans, locate at inlet centre.

يبين الشكل طريقة وصل الحساس في حالات التطبيقات المختلفة.

يقوم حساس فرق الضغط بقياس فرق الضغط ضمن ثلاث مجالات:

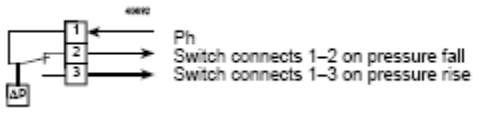
20 -300 باسكال

50 -500 باسكال

100 -1000 باسكال

إن الضغط في حالتنا هو ضغط منخفض وسنعمل على المجال الأدنى وهو من 20 -300 باسكال

طريقة عمل الحساس:



إن الحساس مزود بثلاثة تماسات

التماس 1 سوف يوصل بخط الكهرباء

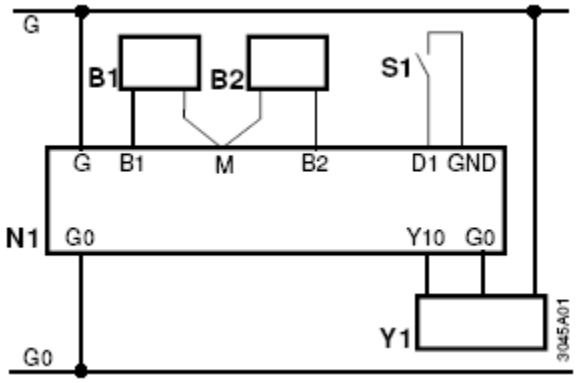
التماس 2 سوف يوصل بالسرعة العليا للمروحة

التماس 3 سوف يوصل بالسرعة الدنيا للمروحة

في حال كون الحمل كامل سوف يكون التماس 1 و2 متصلان والمروحة تعمل على السرعة العليا

في حال إغلاق الدنابر والحمل الجزئي سوف يفصل التماس 1 و2 ويوصل التماس 1 مع 3 مما يعني عمل المروحة على السرعة الدنيا

مخطط الوصل :



يتم وصل الحساس إلى محرك الدامبر عبر التماس Y1 .

4 ترموستات ديجتال تناسبي.

وهو من صناعة شركة سيمنس الألمانية SIEMENS يتمتع بالميزات التالية :

يمكن وصل حساس خارجي به Remote Sensor لتحسس درجة حرارة الهواء الراجع أو يمكن أن يتحسس بحساسه الداخلي درجة الحرارة داخل الغرفة .

يعطي إشارة تناسبية volt (0-10) للتحكم بالصمام الثلاثي لوشيعة التبريد أو التسخين أو لدامبر الهواء.

يمكن أن يبدل بين وضع التسخين ووضع التبريد أوتوماتيكيا عن طريق حساس خارجي اضافي يقيس درجة حرارة هواء التغذية و منها يحدد طور التبريد أو التسخين وهو ما يسمى Automatic Change over.

إظهار درجة حرارة الغرفة والتحكم بها عن طريق الترموستات.
يعمل على جهد 24 فولت متناوب.

عمل الجهاز:
يعطي الجهاز إشارة تناسبية 0 -10 فولت من أجل التحكم بسكر ثلاثي أو محرك دامبر بموجب درجة الحرارة لذلك يتم استخدامه في نظام VAV

تعطي الشاشة الرقمية على واجهة الحساس القراءات التالية:

1 Display of the room or return air temperature, setpoints and control parameters
2 Symbol used when displaying the current room temperature
3 Normal operation
Energy saving mode
4 Cooling valve open
Heating valve open
5 Buttons for adjusting the setpoints and the control parameters
6 Slider switch for manual heat-off-cool setting (RDU50.2 only)

يتم تركيب الترموستات ضمن الحيز المكيف ويوصل خرج الجهاز (التناسبي إلى محرك معير الهواء التناسبي للوحدة الطرفية لتعيير كمية الهواء).
بالنسبة لطور توفير الطاقة Energy saving mode فهو طور يعتبر أعلى درجة حرارة مقبولة في طور التبريد و أدنى حرارة مقبولة في طور التسخين و تكون القيمة الافتراضية لتوفير الطاقة 16 درجة مئوية للتسخين و 28 درجة مئوية للتبريد و هذه القيمة قابلة للعيار.

1 ترموستات ديجتال تناسبي مع مفتاح يدوي لتحديد طور التسخين أو التبريد

RDU50.2

وهو من صناعة شركة سيمنس الألمانية SIEMENS يتمتع بالميزات التالية :

يمكن وصل حساس خارجي به Remote Sensor لتحسس درجة حرارة الهواء الراجع أو يمكن أن يتحسس بحساسه الداخلي درجة الحرارة داخل الغرفة .

يعطي إشارة تناسبية 0 -10 فولت للتحكم بالصمام الثلاثي

يمكن أن نختار بين وضع التسخين ووضع التبريد يدويا بالمنزلقة.

إظهار درجة حرارة الغرفة والتحكم بها

يعمل على جهد 24 فولت

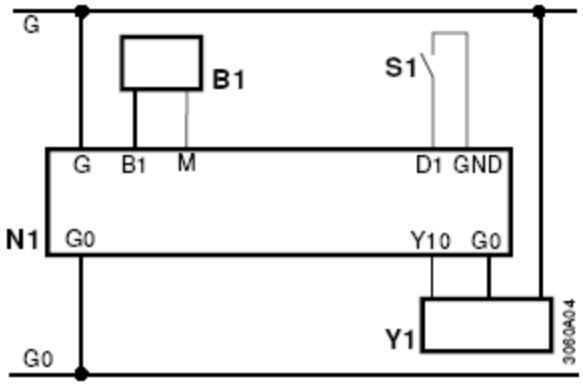
عمل الجهاز:

يعطي الجهاز إشارة تناسبية 0 -10 فولت من أجل التحكم بسكر ثلاثي أو محرك دامبر بموجب درجة الحرارة لذلك يتم استخدامه في نظام VAV

تعطي الشاشة الرقمية على واجهة الحساس القراءات التالية:

1 Display of the room or return air temperature, setpoints and control parameters
2 Symbol used when displaying the current room temperature
3 Normal operation
Energy saving mode
4 Cooling valve open
Heating valve open
5 Buttons for adjusting the setpoints and the control parameters
6 Slider switch for manual heat-off-cool setting (RDU50.2 only)

يتم تركيب الحساس ضمن الحيز المكيف ويوصل خرج الجهاز (التناسبي إلى محرك معير الهواء الحجمي التناسبي لتعيير كمية الهواء)



يتم وصل الحساس إلى محرك الدامبر بواسطة التماس Y1

2 مقاييس حرارة رقمية لقياس درجة الحرارة :

تقوم فقط بقراءة قيمة درجة الحرارة داخل مجاري هواء التغذية والراجع وتكون عبارة عن شاشة رقمية مضيئة تظهر درجة الحرارة وتزود بمستشعر يتصل بالشاشة بسلك كهربائي.

Cable Temperature Sensors **QAH11...**

وحساس الحراة من نوع مقاومة كهربائية قيمتها

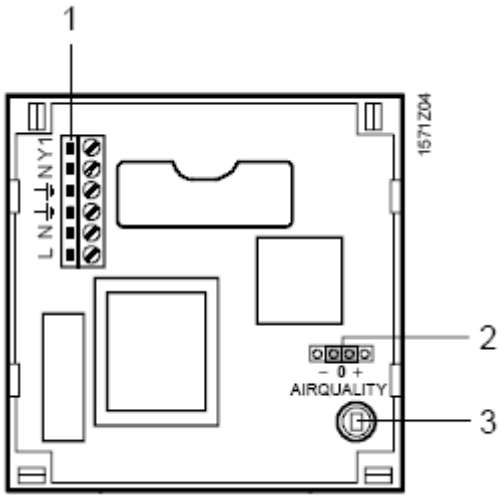
NTC resistor 3 kΩ at 25 °C

3 جهاز تحكم بجودة الهواء الداخلي حساس CO_2 :

وهو من صناعة شركة سيمنس الألمانية SIEMENS

يقوم الجهاز بتحسس الغازات والروائح الموجودة في الهواء مثل دخان السجائر الروائح البشرية ونواتج المطبخ وأول اكسيد الكربون الميثان والميثانول والأسيتون ويقوم بمقارنتها بقيمة مخزنة مسبقا وفي حال تجاوز نسبة هذه العناصر الغريبة للقيمة المخزنة يقوم الحساس بإعطاء أمر لمروحة الطرد أو محرك الدامبر لكي يفتح فيتجدد الهواء وتبقى الإشارة موجودة طالما بقيت نسبة العناصر الغريبة أعلى من القيمة المخزنة .و يتم ارسال اشارة إلى دامبر الهواء الجديد لزيادة تدفق الهواء الجديد.

طريقة الوصل



نقوم بوصل الحساس إلى واجهة الربط 1 وضبط نوعية الهواء من النقطة 2 ونوصل محرك الدامبر بالتماس Y1 والذي يعني أمر بتشغيل أو إيقاف مروحة الطرد في حال زيادة نسبة الشوائب في الهواء عن الحد المسموح.

4 جهاز التحكم الرقمي بالرطوبة :

يمكن استخدامه لتشغيل المرطبة أو المجففة في حال وجودهما.

المرطبة قد تكون من النوع الترذيذي أو من نوع الأمواج فوق الصوتية أو بخارية.

المجففة يمكن ان تكون من نوع دارة التبريد بحيث تبرد الهواء ليتكاثف الماء ثم يمر الهواء على المكثف فيسخن و يخرج بدرجة حرارة أعلى مما دخل و برطوبة نسبية أقل.

يقوم الجهاز بقراءة الرطوبة ومقارنتها بقيمة مخزنة في الجهازوإعطاء الأمر المناسب للمرطبة أو مجفف الرطوبة.يتم وضع الحساس في المكان المكيف ويمكن ضبطه وقراءة قيم الرطوبة مباشرة على الشاشة الرقمية.

5 معيرات الهواء الحجمية المستطيلة Volume Dampers

وتكون من صناعة محلية من الألمنيوم المبثوق على شكل بروفيلات بشكل حرف U مجمعة بحيث تشكل إطارا وترتبط ببعضها بواسطة براغي

وتكون شفرة معير الهواء من الألمنيوم أيضا مركبة على محاور من اللدائن المقساة لضمان العمل السلس وعدم وجود صعوبة في التحكم بدرجة فتح وإغلاق الدامبر.

الهدف من الشفرة تعيير كمية الهواء المارة عبر المعير الحجمي حسب وضعية الشفرة.

يتم وضع جوان على حواف شفرة الدامبر لضمان عدم تسرب الهواء من الجوانب

الهدف من هذا الدامبر توضيح التحكم التناسبي و شرح نظام التحكم التابع للضغط حيث تم وصله مع محرك تناسبي لا يحوي مدخلا لأنابيب ضغط الهواء.و هذا النموذج المكون من الدامبر المستطيل و المحرك قابل للنقل بسهولة لقاعة المحاضرات لتوضيح التحكم التناسبي و هناك تشابه بين الدامبر المستطيل ذي الريشة الواحدة و بين صمام الماء الدائري المسمى فراشة Butterfly Valve.

حيث راعينا في مكونات منصة الاختبار إمكانية استخدامها لتوضيح التحكم بالتكييف في عدة تطبيقات أخرى غير نظام الهواء المتغير.

6 معيرات الهواء الحجمية الدائرية Round Volume Damper

وهي مصنوعة من أسطوانة من الصاج المغلفن مع إطار مستطيل محيط بها وشفرتين من الصاج المغلفن لتعيير كمية الهواء المارة عبر المعير الحجمي حسب وضعية الشفرات.

الهدف منه توضيح التحكم التناسبي و شرح نظام التحكم غير التابع للضغط.

7 محركات الدنابر الآلية للدامبر المستطيل :

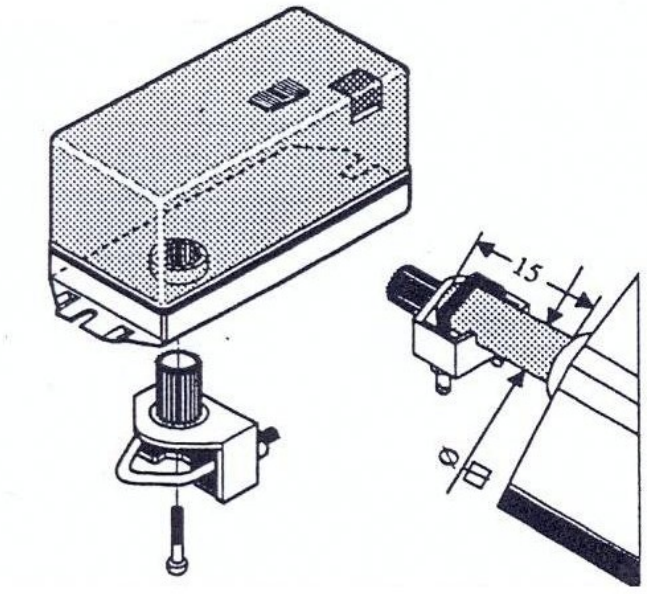
وهو من صناعة شركة سيمنس SIEMENS الألمانية ويتكون من محرك كهربائي تناسبي بعزم 5 نيوتن متر يحرك ذراع الدامبر بين زاوية 0 و90 درجة

يكون استجابة المحرك للإشارة في هذا الدامبر متناسبة مع الإشارة الواردة من حساس الحرارة .

يتم ربط محرك الدامبر على الدامبر المستطيل .

تتحرك شفرة الدامبر بين الوضعية الدنيا والقصوي لتسمح بمرور كمية الهواء اللازمة لإزالة الحمل الكامل أو الحمل الجزئي.

طريقة ربط محرك الدامبر مع الدامبر



8 محرك الدامبر للدامبرات الدائرية :

وهو من صناعة شركة بينار BINAR الألمانية ويتكون من محرك كهربائي تناسبي خطوي بعزم 5 نيوتن متر يحرك ذراع الدامبر بين زاوية 0 و90 درجة

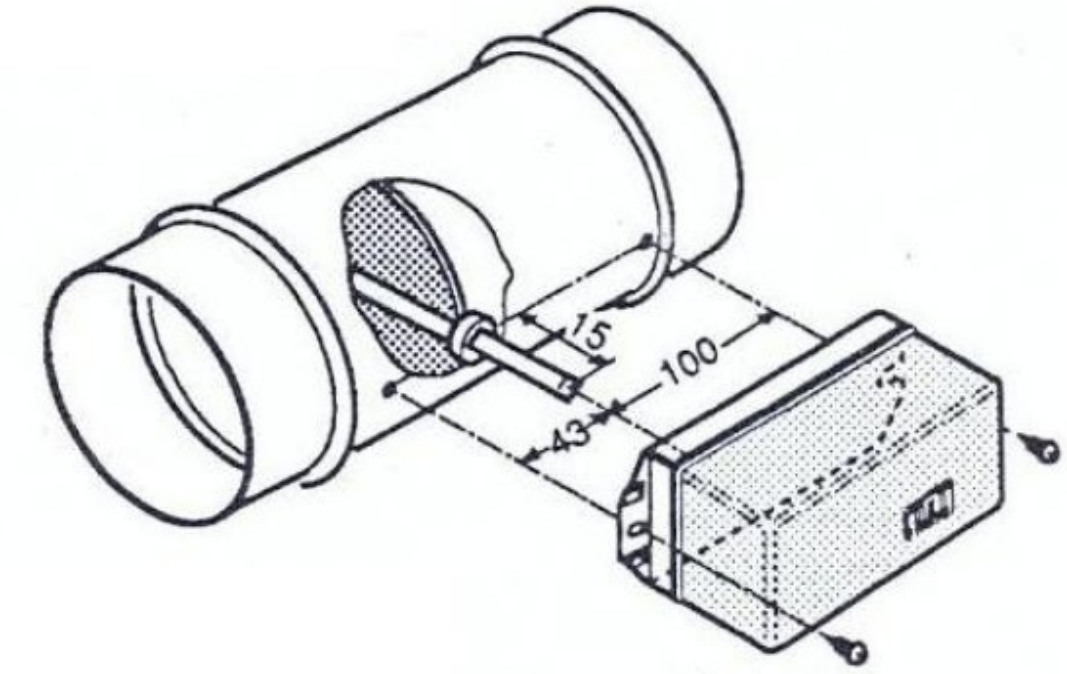
يمتاز هذا المحرك بكونه يحوي دارة تصحيح مدمجة تصحح وضعية الدامبر حسب فرق الضغط بين الضغط السكوني و الكلي أي حسب الضغط الحركي.

يكون استجابة المحرك للإشارة في هذا الدامبر متناسبة مع الإشارة الواردة من حساس الحرارة .

يتم ربط محرك الدامبر على الدامبر الدائري .

تتحرك شفرات الدامبر بين الوضعية الدنيا والقصوى لتسمح بمرور كمية الهواء اللازمة لإزالة الحمل الكامل أو الحمل الجزئي.

طريقة ربط محرك الدامبر مع الدامبر



9 فتحات الهواء للتغذية والطرد

وتكون مصنوعة من اللدائن على شكل فتحات دائرية بقطر 10 سم مزودة بشفرات لتوزيع الهواء ضمن الحيز المكيف

وتقوم بتوزيع الهواء بشكل متجانس ضمن المكان المكيف وفي حالتنا يتم تركيب الفتحات على مجرى السحب فقط .

إن قطر الفتحة 10 سم يكفي في حالتنا لتحقيق المطلوب حيث أن التدفق صغير.

10 - مجاري الهواء المعزولة المرنة

وهي مصنوعة من الألياف الصناعية مقواة بسلك حلزوني ومعزولة بطبقة من الفيبركلاس لمنع الضياع الحراري من مجاري التغذية

يتم وصل المجاري مع الفتحات ويتم إحكام وصلها بواسطة حباسات وجوانات لمنع التسرب وضياع الطاقة.

11 - مجاري الهواء غير المعزولة المرنة

وهي مصنوعة من الألياف الصناعية مقواة بسلك حلزوني ويستعمل لمجاري الطرد

يتم وصل المجاري مع الفتحات ويتم إحكام وصلها بواسطة حباسات وجوانات لمنع التسرب وضياع الطاقة.

12 - لوحة التشغيل والتحكم

وتقوم بتغذية عناصر التحكم والمراوح بالتغذية المناسبة وتتكون من محو 220 فولت إلى 24 فولت وساعة الفولت وهي صناعة محلية.

ويكون الشكل النهائي لمنصة الاختبار هو كالتالي:

طريقة عمل منصة الاختبار:

يعتمد مبدأ الدراسة على كون النظام متكامل مع مخبر التكييف في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية حيث يعمل الجهاز كوحدة طرفية Terminal مرتبطة بوحدة معالجة الهواء AHU الموجودة في المخبر .

يمكن تطبيق الدراسة على أي نظام تكييف موجود مسبقا حيث أن الربط مع النظام هو فقط ربط جزئي بهواء التغذية .

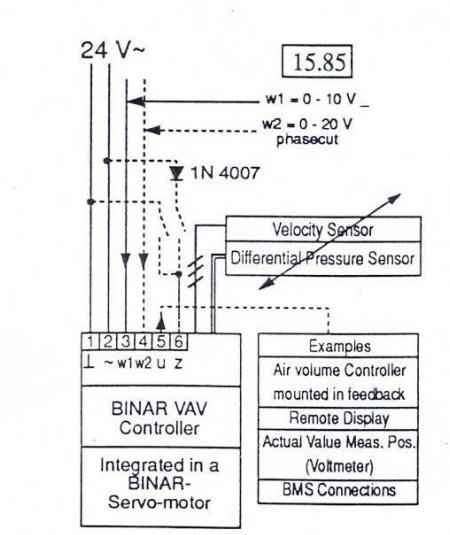
إن تحكم النظام بشكل عام مستقل عن تحكم وحدة التكييف المرتبطة به (وحدة معالجة الهواء) stand alone system حيث أن إشارة التيرموستات الموجود في منصة الاختبار لا ترتبط بوحدة المعالجة ولكن ترتبط بالمحرك الكهربائي الذي يحكم وضعية دامبر الهواء المغذي للمكان .

إن تغيير الحمل في منصة الاختبار ينتج إشارة تقوم بتغيير وضعية الدامبر بين وضعية الحمل الكامل وهي حالة الفتح الكامل للدامبر ومرور كمية الهواء الأعظيمة وبين وضعية الفتح الجزئي

لتغطية الحمل الجزئي في المكان المدروس وهناك وضعية ثالثة هي وضعية الإغلاق الكامل عند توقف النظام عن العمل نظرا لعدم استثمار المكان المكيف أو نظرا لوجود إنذار حريق عندها يتم إطلاق إشارة OVER RIDING THERMOSTAT SIGNAL تعطي أمرا بإغلاق كامل للدامبر حتى أثناء عمل النظام بشكل مستقر وهذه الميزة تكون متاحة فقط للمشرف على النظام حيث يستطيع من غرفة المراقبة غلق أو فتح الدنابر تبعا للحاجة الطارئة .

كأن تستعمل في حال وجود حمل كامل مفاجئ في مكان معين كغرفة اجتماعات بينما لا حاجة لوجود تكييف في باقي الغرف لعدم وجود موظفين فيها مثلا.

D) terminal 5: output signal 0...10 V–
E) terminal 6: "Override control fully closed and fully open."



إن مفتاح فرق الضغط التفاضلي يمكن أن يركب بين مدخل المروحة وبين مخرجها أو بين مجرى هواء التغذية ومجرى هواء الراجع أو بين طرفي فلتر لبيان وجود تغير في فرق الضغط

يتم وصل مجرى هواء التغذية لمنصة الاختبار إلى مجرى التغذية لوحدة معالجة الهواء في المخبر وتقوم مروحة التغذية بتغطية انخفاض الضغط ضمن منصة الاختبار وسحب الهواء من وحدة المعالجة.

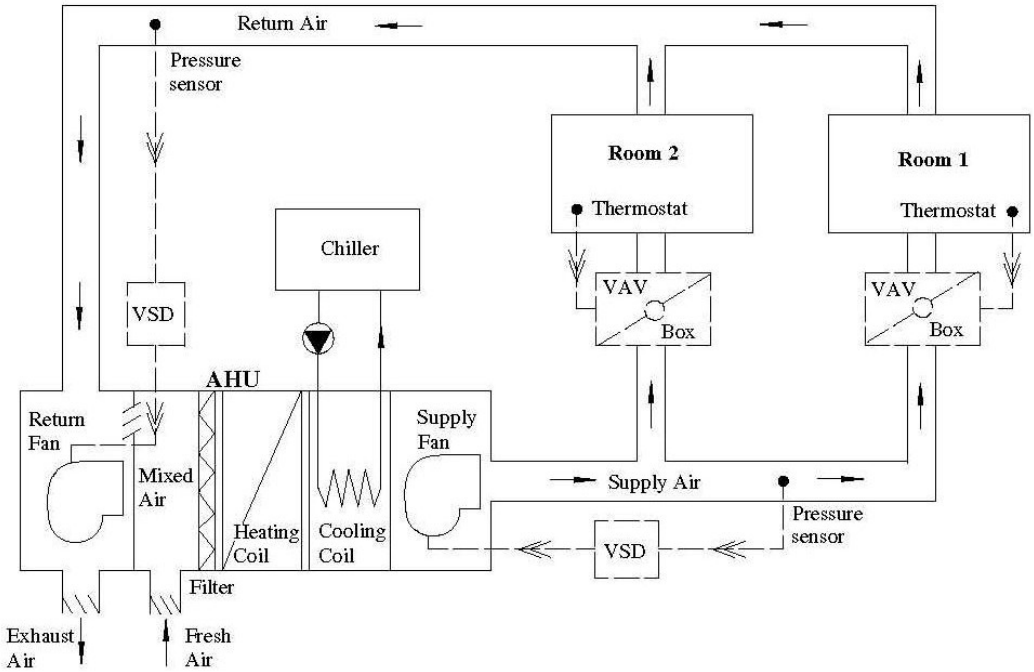
إن منصة الاختبار مكونة من حيزين مدروسين كل حيز مزود بتيرموستات خاص موصول بمحرك الدامبر الخاص به

نقوم بضبط التيرموستات على درجة الحرارة المطلوبة لكل حيز على حدة يتحرك الدامبر لتغطية الحمل الحراري المطلوب.

إن المنصة مزودة بحساسات لجودة الهواء الداخلي أولها لقياس مستوى الروائح والشوائب والذي يقوم بقياس نسبة الشوائب في هواء الغرفة الداخلي وفي حال زيادة نسبة هذه الشوائب عن حد معين يقوم الحساس بإعطاء إشارة تقوم بتشغيل مروحة الطرد لتبديل الهواء في الحيز المكيف وتبقى هذه الإشارة مؤثرة طالما بقيت نسبة الشوائب في الهواء الداخلي مرتفعة عن نقطة الضبط وأثناء ذلك يتم تعويض الفرق بين هواء التغذية والطرد بزيادة فتح دامبر هواء التغذية لتحقيق تدفق أكبر من التدفق اللازم لإزالة الحمل.

وفي يوجد حساس رطوبة يعطي إشارة في حال كون الرطوبة المطلوبة أقل من الشروط المطلوبة حيث تعطى الإشارة لمرطبة لضخ الرطوبة في المكان المكيف لتحقيق شروط الراحة وفي حال كانت نسبة الرطوبة مرتفعة يعطي الحساس إشارة لمجفف الرطوبة لسحب الرطوبة من المكان المكيف وتبقى الإشارة مؤثرة حتى تحقيق الرطوبة النسبية المطلوبة عندها تتوقف الإشارة.

مخطط توضيحي لطريقة عمل التجربة



سنبحث قبل كل شيء بمبادئ استثمار نظام الـــ VAV لمعرفة الأفضل والأنسب للتطبيق في بلدنا لتحقيق التوفير في الطاقة الكهربائية ولمنع الهدر الناتج عن الاستخدام غير المتزن لأنظمة التكييف في قطاعات الدولة المختلفة

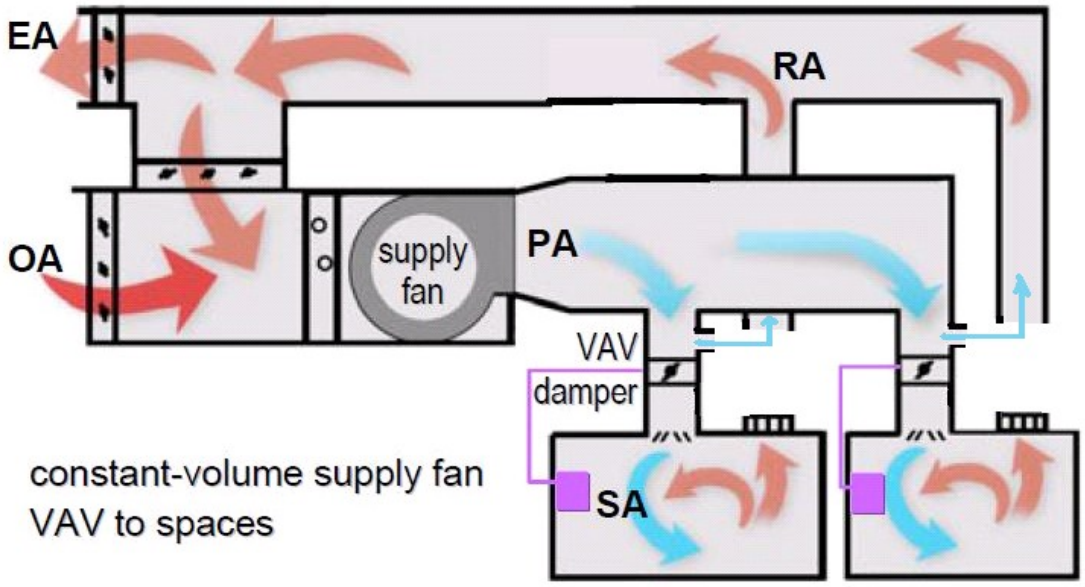
والطرق المختبرة هي:

طريقة التمرير الفرعي Bypass
طريقة التحكم التابع للضغط Pressure Dependent
طريقة التحكم المستقل عن الضغط Pressure Independent

وسنبحث في مزايا كل طريقة

طريقة التمرير الفرعي Bypass

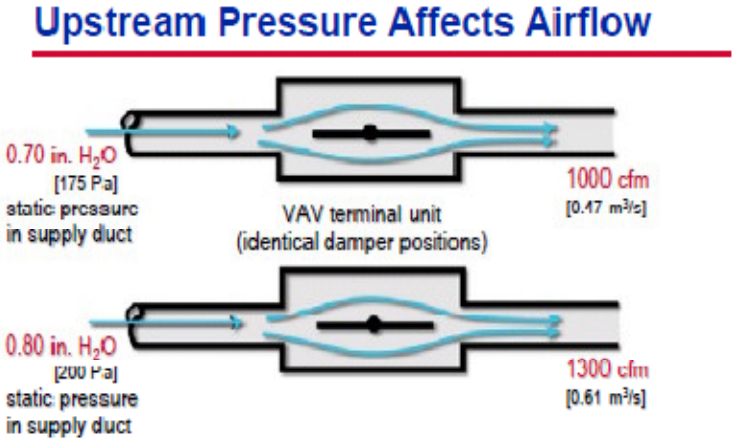
يقوم الثيرموستات بالتحكم بوضع دامبر هواء التغذية حسب درجة الحرارة في الحيز بحيث يغير وضع الدامبر حسب الحمل المطلوب ويوجد فتحات جانبية في مجرى التغذية على رقبة الدامبر تمرر الهواء للسقف المستعار. عند إغلاق الدامبرات يرتفع الضغط قليلا فيتسرب الهواء للسقف المستعار و منه لمجرى الهواء الراجع بحسب الضغط السائد في مجرى التغذية، كما هو واضح بالشكل .



في هذه الطريقة تبقى سرعة المروحة ثابتة مما يعني أنه لن يحدث توفير في طاقة المروحة ولكن يحدث التوفير في الطاقة نتيجة تغيير الاستطاعة المصروفة على التكييف أو التدفئة عند الحمل الجزئي.

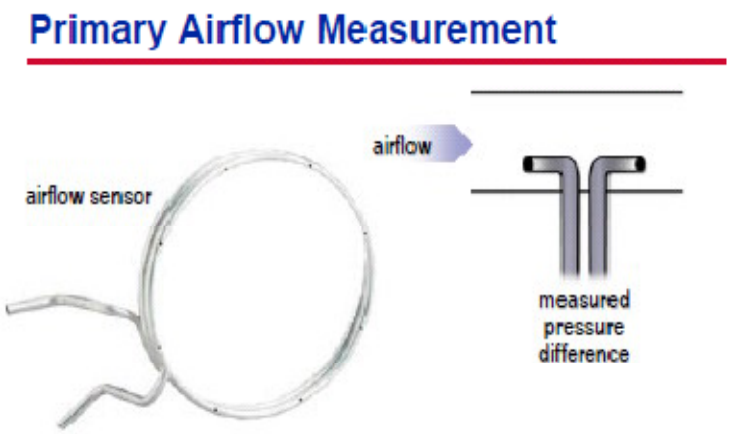
طريقة التحكم التابعة للضغط Pressure Dependent

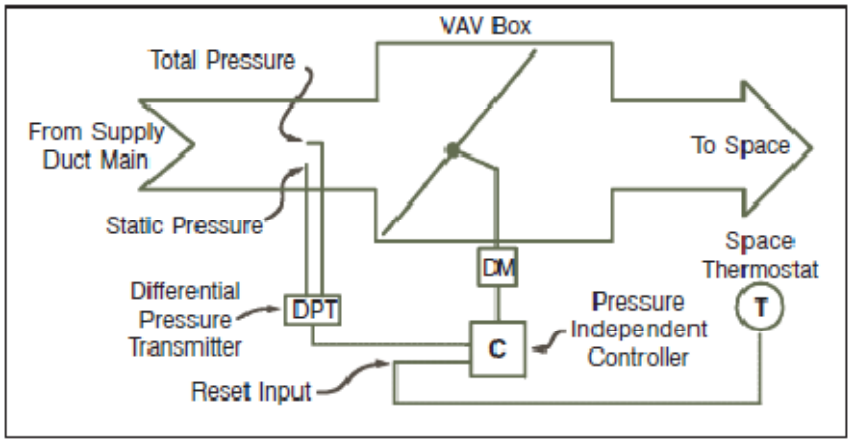
في النوع التابع للضغط يتحكم ترموستات الغرفة بوضعية الدامبر و ليس بتدفق الهواء حيث عند نفس الوضعية تختلف التدفقات حسب ضغط الهواء الستاتيكي الموجود في الدكت و الذي يختلف حسب سرعة المروحة و تغيرات الضغط نتيجة عمل وحدات الـــ VAV الأخرى في النظام.
في الشكل أدناه نفس دامبر الهواء و عند نفس الوضعية و هي الفتح الكامل نلاحظ أن تدفق الهواء يختلف بحسب الضغط الستاتيكي المطبق على مدخل الوحدة.



طريقة التحكم المستقل عن الضغط Pressure Independent

في نظام التحكم المستقل عن الضغط يجري تصحيح وضعية الدامبر ليعطي التدفق المطلوب دائما وفي حالة ارتفاع الضغط في مجرى التغذية يتم تخفيض سرعة المروحة يحدث وفر في الطاقة المستهلكة في المروحة بينما لا يحدث مثل هذا الوفر عندما تبقى سرعة المروحة ثابتة.





إجراء القياسات والاختبارات:

سوف تتضمن التجربة إجراء القياسات التالية:

درجة الحرارة الداخلية Tr

درجة حرارة هواء التغذية Ts

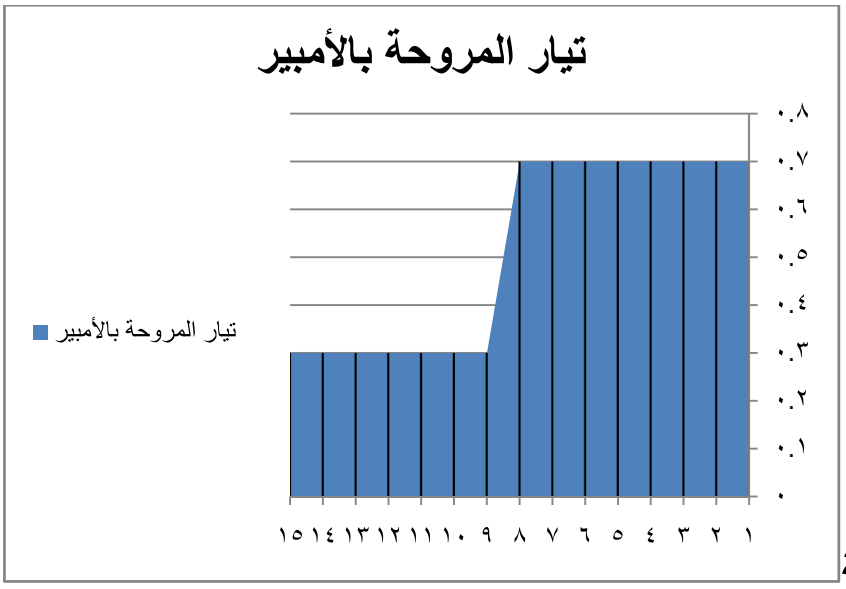
زمن القراءات D

زاوية فتح الدامبر عند قراءات مختلفة Y

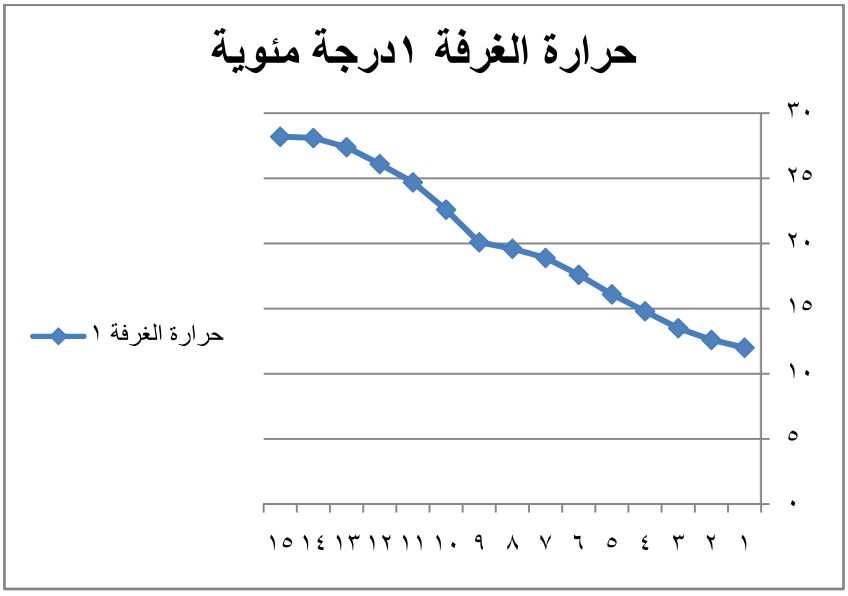
التيار المستهلك من قبل مروحة التغذية A

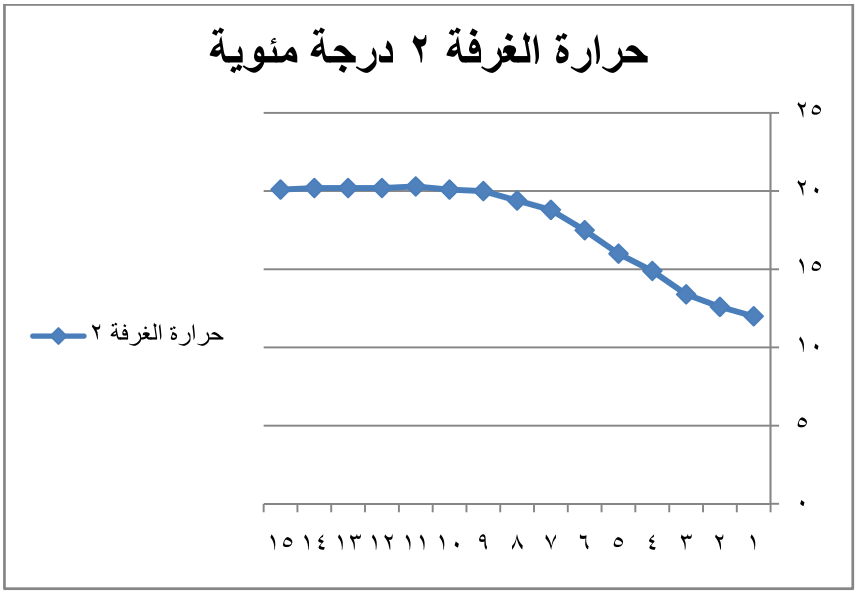
العمل بالنظام الشتوي (تدفئة) بدونBypass

الزمن دقيقة	الحرارة المضبوط عليها ترموستات الغرفة 1	الحرارة المضبوط عليها ترموستات الغرفة 2	حرارة الغرفة 1	حرارة الغرفة 2	حرارة هواء التغذية	زاوية الدامبر 1 (0 مغلق و 90 مفتوح بالكامل)	زاوية الدامبر 2 (0 مغلق و 90 مفتوح بالكامل)	سرعة المروحة	التيار المستهلك للمروحة
m	°C	°C	°C	°C	°C	°	°		A
1	28	20	12	12	35	0	0	عليا	0.7
2	28	20	13	13	35	90	90	عليا	0.7
3	28	20	14	13	35	88	88	عليا	0.7
4	28	20	15	15	35	82	82	عليا	0.7
5	28	20	16	16	35	78	78	عليا	0.7
6	28	20	18	18	35	72	68	عليا	0.7
7	28	20	19	19	35	65	50	عليا	0.7
8	28	20	20	19	35	60	25	عليا	0.7
9	28	20	20	20	35	54	0	دنيا	0.3
10	28	20	23	20	35	48	0	دنيا	0.3
11	28	20	25	20	35	42	0	دنيا	0.3
12	28	20	26	20	35	36	0	دنيا	0.3
13	28	20	27	20	35	30	0	دنيا	0.3
14	28	20	28	20	35	25	0	دنيا	0.3
15	28	20	28	20	35	20	0	دنيا	0.3

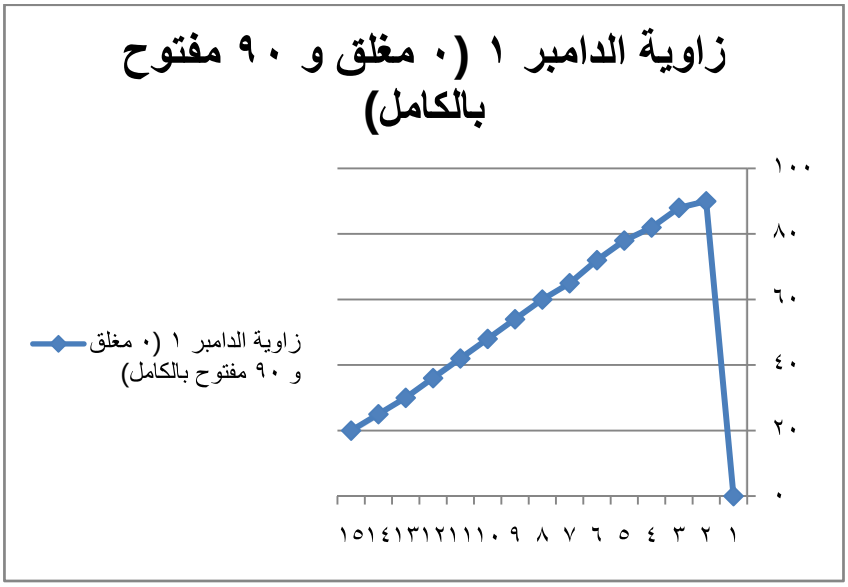


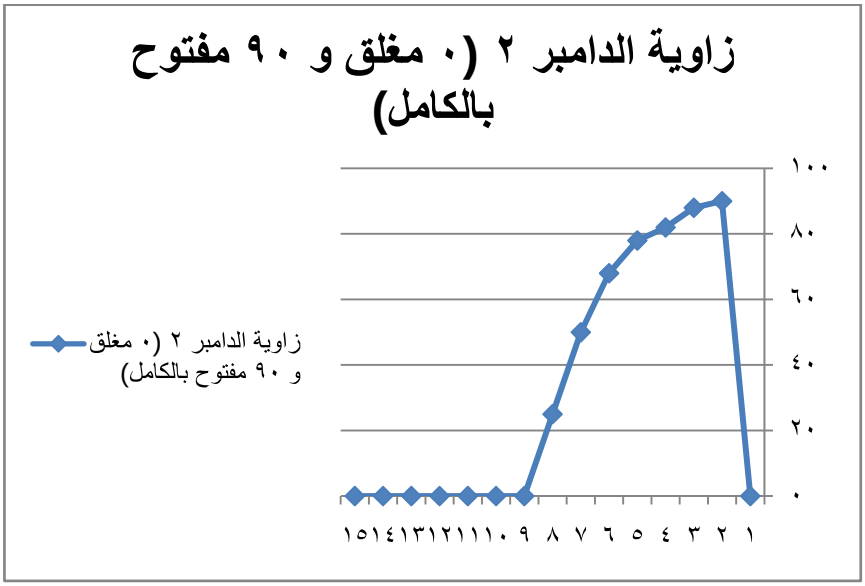
منحني تغير أمبير المروحة مع الزمن





منحني تغير درجة حرارة الغرفة مع الزمن



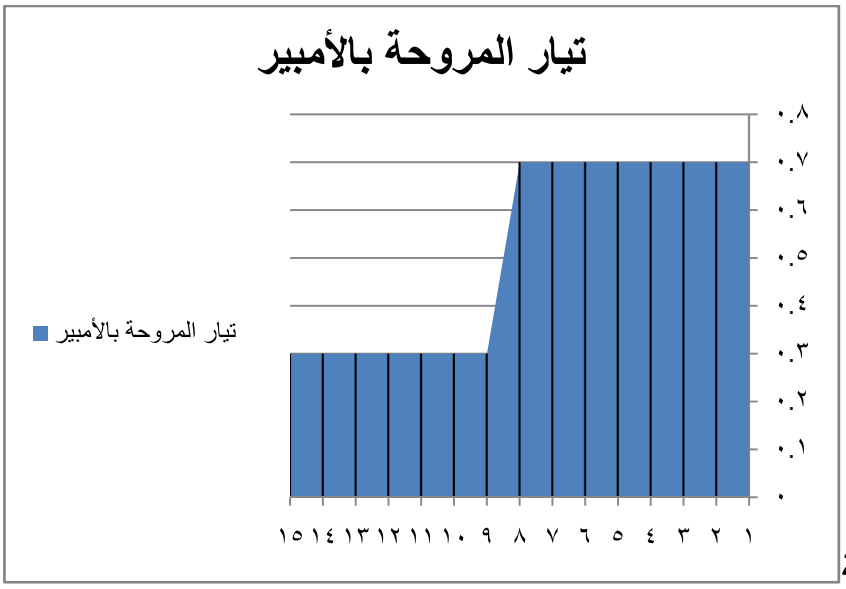


منحني تغير زاوية الدامبر مع الزمن

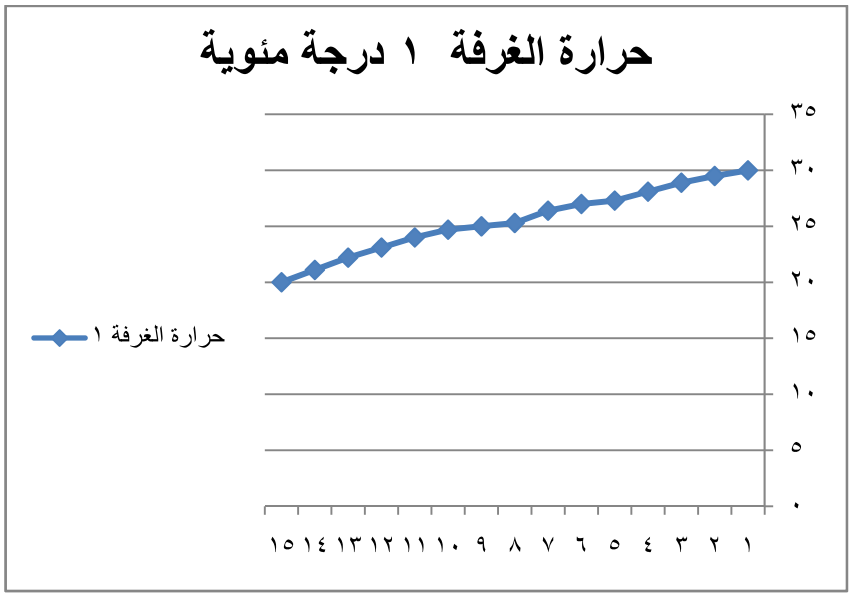
العمل بالنظام الصيفي (تكييف)

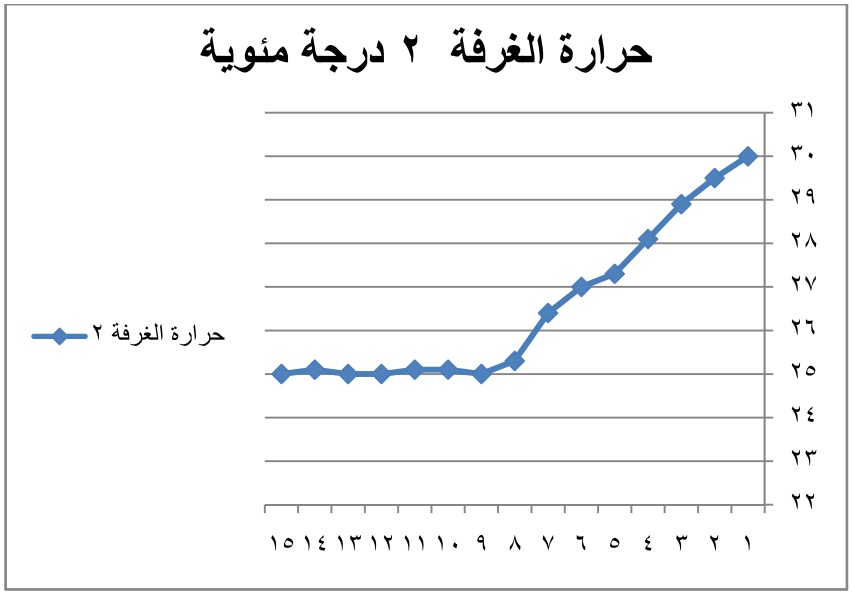
بدون Bypass

الزمن بالدقيقة	الحرارة المضبوط عليها الترموستات للغرفة 1	الحرارة المضبوط عليها الترموستات للغرفة 2	حرارة الغرفة 1	حرارة الغرفة 2	حرارة هواء التغذية	زاوية الدامبر 1 (0 مغلق و 90 مفتوح بالكامل)	زاوية الدامبر 2 (0 مغلق و 90 مفتوح بالكامل)	سرعة المروحة	التيار المستهلك للمروحة
m	°C	°C	°C	°C	°C	°	°		A
1	20	25	30	30	15	0	0	عليا	0.7
2	20	25	30	30	15	90	90	عليا	0.7
3	20	25	29	29	15	88	88	عليا	0.7
4	20	25	28	28	15	82	82	عليا	0.7
5	20	25	27	27	15	78	78	عليا	0.7
6	20	25	27	27	15	72	68	عليا	0.7
7	20	25	26	26	15	65	50	عليا	0.7
8	20	25	25	25	15	60	25	عليا	0.7
9	20	25	25	25	15	54	0	دنيا	0.3
10	20	25	25	25	15	48	0	دنيا	0.3
11	20	25	24	25	15	42	0	دنيا	0.3
12	20	25	23	25	15	36	0	دنيا	0.3
13	20	25	22	25	15	30	0	دنيا	0.3
14	20	25	21	25	15	25	0	دنيا	0.3
15	20	25	20	25	15	20	0	دنيا	0.3

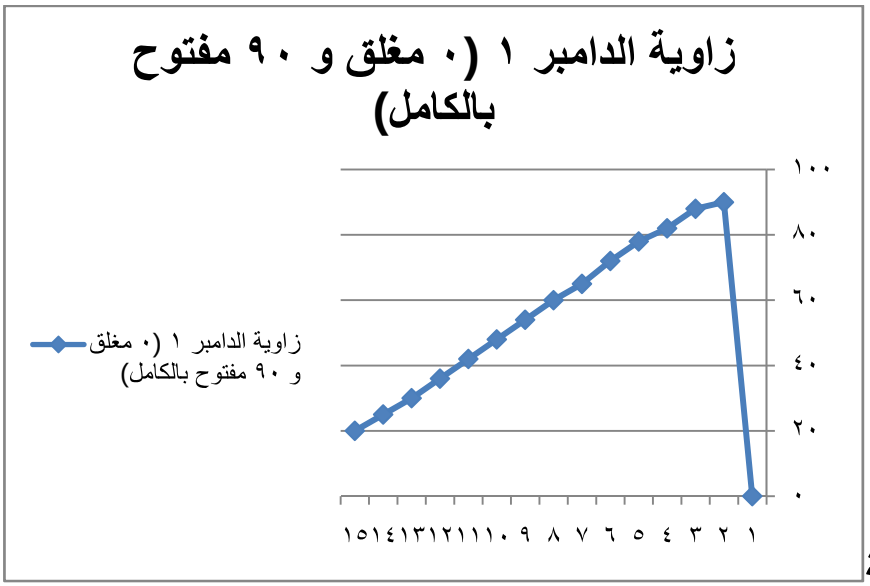


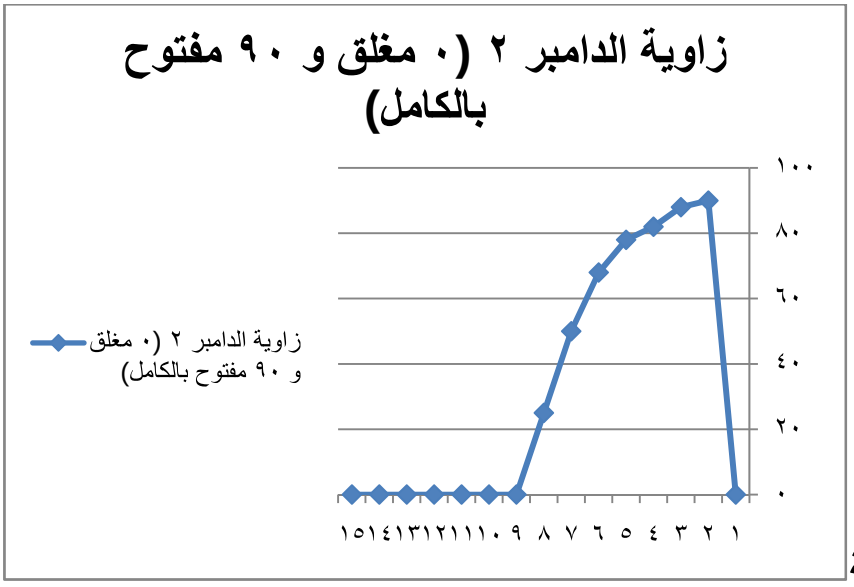
منحني تغير أمبير المروحة مع الزمن





منحني تغير درجة حرارة الغرفة مع الزمن



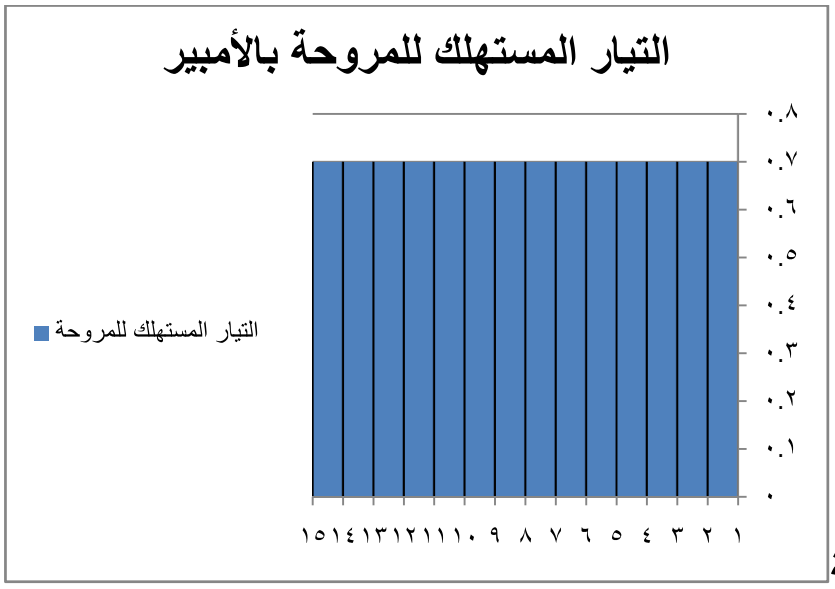


منحني تغير زاوية الدامبر مع الزمن

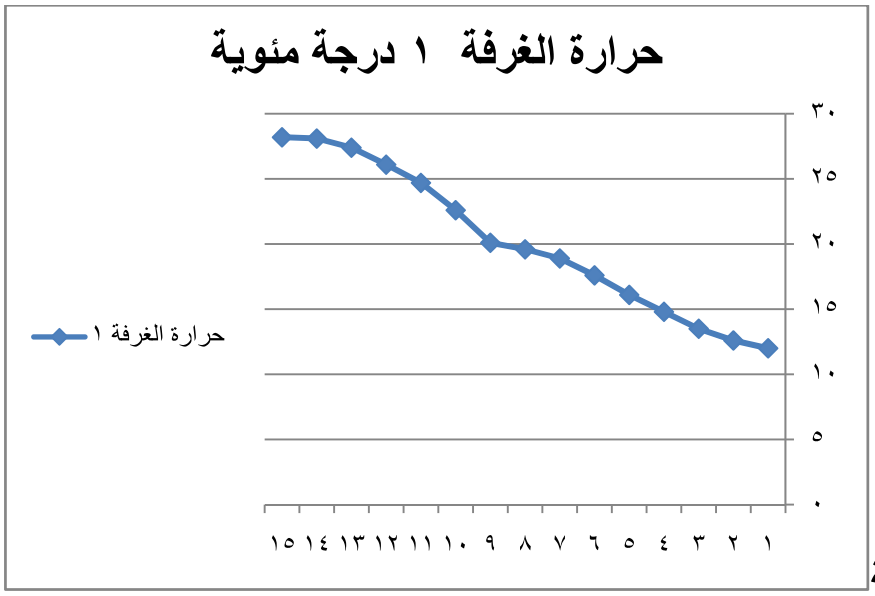
العمل بالنظام الشتوي (تدفئة)

مع Bypass

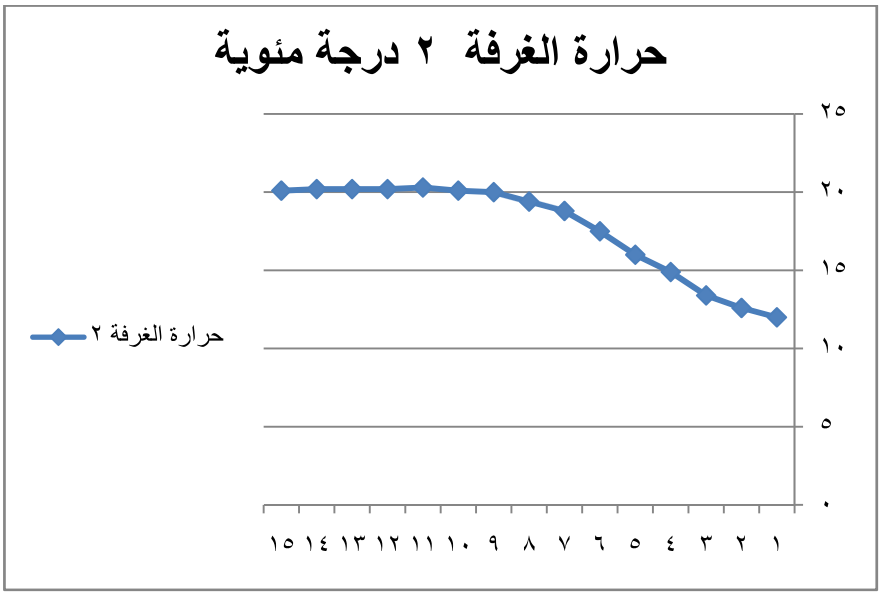
الزمن بالدقيقة	الحرارة المضبوط عليها الترموستات للغرفة 1	الحرارة المضبوط عليها الترموستات للغرفة 2	حرارة الغرفة 1	حرارة الغرفة 2	حرارة هواء التغذية	زاوية الدامبر 1 (0 مغلق و 90 مفتوح بالكامل)	زاوية الدامبر 2 (0 مغلق و 90 مفتوح بالكامل)	سرعة المروحة	التيار المستهلك للمروحة	وضعية مخرج الـ Bypass
m	°C	°C	°C	°C	°C	°	°		A	
1	28	20	12	12	35	0	0	عليا	0.7	مفتوح
2	28	20	13	13	35	90	90	عليا	0.7	مفتوح
3	28	20	14	13	35	88	88	عليا	0.7	مفتوح
4	28	20	15	15	35	82	82	عليا	0.7	مفتوح
5	28	20	16	16	35	78	78	عليا	0.7	مفتوح
6	28	20	18	18	35	72	68	عليا	0.7	مفتوح
7	28	20	19	19	35	65	50	عليا	0.7	مفتوح
8	28	20	20	19	35	60	25	عليا	0.7	مفتوح
9	28	20	20	20	35	54	0	عليا	0.7	مفتوح
10	28	20	23	20	35	48	0	عليا	0.7	مفتوح
11	28	20	25	20	35	42	0	عليا	0.7	مفتوح
12	28	20	26	20	35	36	0	عليا	0.7	مفتوح
13	28	20	27	20	35	30	0	عليا	0.7	مفتوح
14	28	20	28	20	35	25	0	عليا	0.7	مفتوح
15	28	20	28	20	35	20	0	عليا	0.7	مفتوح



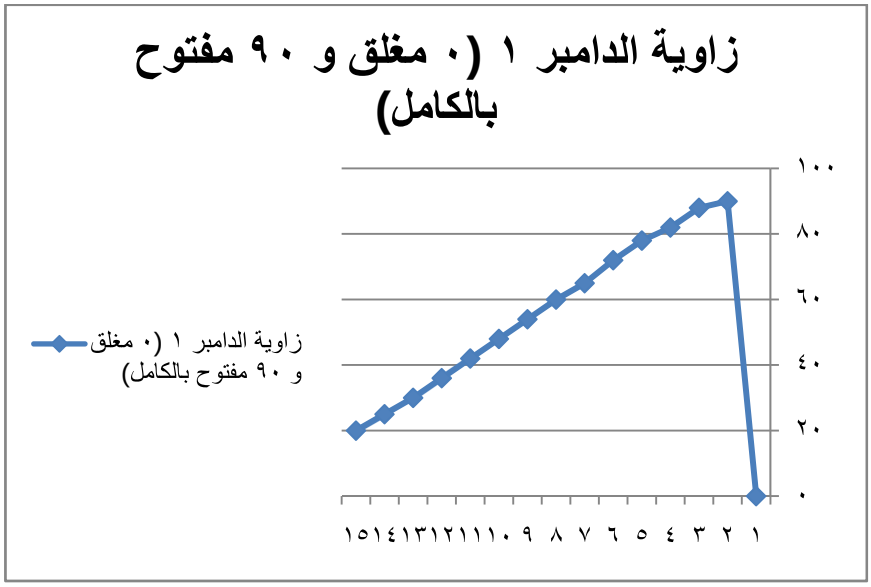
منحني تغير أمبير المروحة مع الزمن



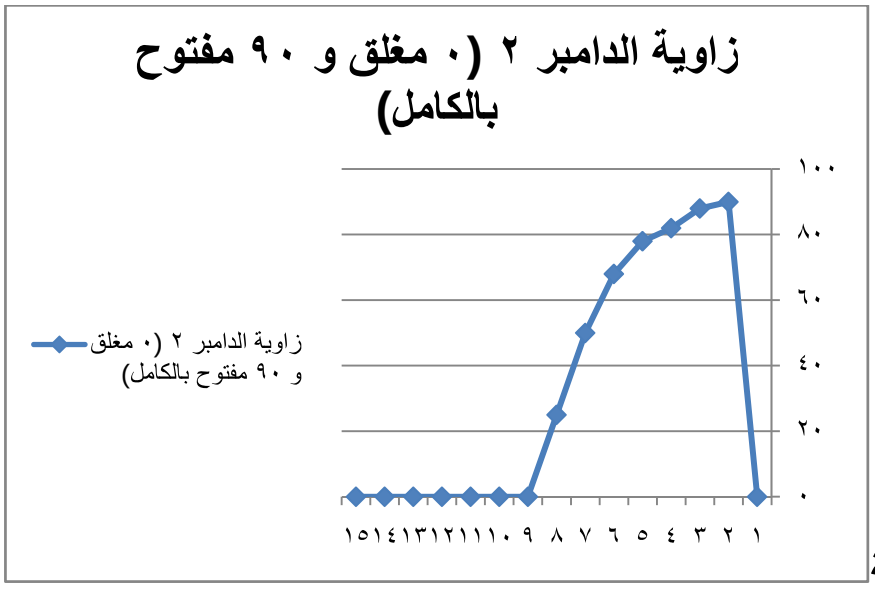
منحني تغير درجة حرارة الغرفة مع الزمن



منحني تغير درجة حرارة الغرفة مع الزمن



منحني تغير زاوية الدامبر مع الزمن



منحني تغير زاوية الدامبر مع الزمن

كلفة منصة الاختبار بالليرة السورية

الوصف	الكمية	السعر الافرادي	السعر الاجمالي
ترموستات رقمي مع حساس اضافي	1	6000	6000
ترموستات رقمي تناسبي	1	5000	5000
حساس CO2	1	3000	3000
محرك دامبر تناسبي سيمنز	1	5000	5000
محرك دامبر تناسبي بينار مع فرق ضغط	2	4000	8000
دامبر دائري قطر 10 سم	2	1000	2000
دامبرمستطيل 10 سم * 20 سم	2	1000	2000
دكت فليكسبل معزول 6 متر	1	1000	1000
دكت فليكسبل غير معزول 6 متر	1	500	500
هيغروستات ديجتال	1	5000	5000
مقاييس حرارة عشرية ديجتال	4	600	2400
متحكم ضغط هواء تفاضلي	1	2500	2500
وحدة تغذية 24 فولت مع مقياس فولت	1	1500	1500
أسلاك كهربائية وجنكسيونات و كبسات ومصابيح	1	1000	1000
مروحة تغذية 3 سرعات	1	2500	2500
مروحة هواء راجع	1	1500	1500
تابلو كهرباء	1	2500	2500
فتحات هواء بلاستيك	4	100	400

51800 ل.س.

الفصل الثامن

الاستنتاجات والتوصيات

Conclusions and Recommendations

8 -1. الاستنتاجات (Conclusions)

استناداً إلى النتائج التي تم الحصول عليها في هذا البحث يمكن الوصول إلى عدد من الاستنتاجات وفيما يلي أهمها:

1- هناك توفير كبير في الطاقة عند اعتماد نظام الـ VAV بكل أنواعه و يظهر هذا التوفير بشكل كبير عند الأحمال الجزئية و عندما يخدم النظام عدة مناطق مختلفة الأحمال و هذا الوفر يصل في بعض الأحيان إلى أكثر من 40% من الطاقة المصروفة على التكييف.

2- طرفيات الـ VAV التي تم التعامل معها في تجربتنا منخفضة الكلفة بشكل كبير، بل و يمكن أحيانا تعديل أي دامبر يدوي إلى آلي ووصله بمحرك تناسبي يأخذ اشارة من ترموستات تناسبي لتحقيق نظام هواء متغير بأقل كلفة .

3- للأبنية التجارية الصغيرة و المكاتب و المنازل المكيفة بوحدات مجمعة صغيرة استطاعة 5 و 10 طن تبريد ينصح بتركيب نظام BYPASS VAV وبحيث يكون السقف المستعار هو مجرى الهواء الراجع و هنا نضمن أبسط و أوفر أداء معا.

4- لايمكن تطبيق نظام طرفيات الـ VAV إلا عندما يسمح النظام و يكون التكييف عن طريق مجاري هواء و وجود سقف مستعار يسمح بامكانية التركيب و الصيانة.

8 -2. التوصيات (Recommendations)

استناداً إلى الاستنتاجات التي تم الحصول عليها يمكن الوصول إلى عدد من التوصيات وفيما يلي أهمها:

1 ينصح باعتماد النظام في الأبنية المجهزة بنظام تكييف مركزي ذي مجاري هواء حتى و لو لم يكن مجهزا لذلك من البداية فهناك طرفيات مختلفة يمكن اعتمادها.

2 ينصح باجراء دراسات مستقبلة موسعة عن النظام ككل و طرق التحكم و طرق الاستفادة من الموفر ECONOMIZER.

References

[1] **http://www.hvac.com.sa/**

[2] Engineering System Magazine Nov 2005

[3] Taylor Engineering ***Advanced Variable Air Volume System Design Guide.*** **2005**

[4] Trane Company.Clinic., ***VAV Systems.*** **2001.**

[5] ASHRAE, ***Sizing VAV Boxes.*** **ASHRAE Journal, , 2004. March**

[6] ASHRAE Standard 62, ***Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.*** **2004**

[7] ANSI/ASHRAE/IESNA, ***Standard 90.1 energy-efficient design of buildings.*** **2004.**

[8] Mehmet Azmi Aktacir, ***Life-cycle cost analysis for constant-air-volume and variable-air-volume air-conditioning systems*****. 2004.**

[9] ASHRAE handbook-HVAC applications. Atlanta (GA): American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc; 1999.

[10] كود العزل الحراري للأبنية في الجمهورية العربية السورية, 2007.

[11] Spitler JD, Fisher DE, Pedersen CO. The radiant time-series cooling-load calculation procedure.ASHRAE Trans 1997;103(2):503–15.

[12] ASHRAE handbook-fundamentals. Atlanta (GA): American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc; 2001.

[13] CHVAC Program manual from ELITE.

[14] VARIABLE AIR VOLUME SYSTEMS (VAV) FOR EXCISTING OFFICE BUILDINGS- A NEW SUPPLY AIR TERMINAL DEVICE CONCEPT MARI-LIIS MARIPUU 1*and LENNART JAGEMAR1

[15] التكييف المركزي رقم برد 212 الكتب الفنية السعودية

Catalogs

1- HACE
2- Zamil
3- Trox
4- Carrier
5- Trane
6- Belimo
7- Temp Master
8- York
9-SIEMENS PRODUCT CD 2004
10-BINAR

Abstract

This study “The Economical and Energy control of variable air volume (VAV) systems in air conditioning systems in Damascus city” deals with VAV terminals with stand alone control.

We built a small testing prototype for two rooms each having a digital modulating thermostat connected to modulating actuator installed on air damper to control air flow for each room.

We discussed all kind of VAV terminals as well as the advantages and disadvatges for them.

The Conclusion for this study is that using VAV terminals will reduce the power consuption in HVAC sytems.

Damascus University
Faculty of Mechanical &Electrical Engineering
General Mechanics Engineering Department

The Economical and Energy control of variable air volume (VAV) systems in air conditioning systems

A thesis submitted toobtain a master degree in mechanical engineering

By
Student ENG. Mhd. Khaldoun Bayazid

Supervised By
Dr. WAJEH NAEMA
Dr. NASR YASEEN

Academic Year
2010-2011