

## استخدام المتحكم العائم لتحسين التحكم بأنظمة التكييف متغير الحجم بهدف توفير الاستهلاك الكهربائي

الدكتور محمد صالح الأيوبي\*

عمران شقير\*\*

(تاريخ الإيداع 6 / 9 / 2015. قُبِلَ للنشر في 29 / 8 / 2016)

### □ ملخص □

شكلت الطاقة الكهربائية عنصراً هاماً في تطور البشرية، لكن ترافق استهلاكها مع تهديدات للبيئة بسبب الاعتماد على الوقود الأحفوري كمصدر أساسي لها. وفي حين مايزال استخدام الطاقات المتجددة محدوداً ونو تكلفة تأسيسية عالية، يجري التوجه بشكل واضح إلى الترشيد في استهلاك الطاقة الكهربائية بمراقبتها والتحكم بتجهيزاتها بحيث تحقق المطلوب بأقل استهلاك ممكن. من المعلوم أن الاستهلاك الأكبر للطاقة في الأبنية يجري في قطاع التكييف، وبالتالي فإن أي توفير في الاستهلاك الكهربائي في هذا القطاع سيؤدي إلى التوفير في الاستهلاك الكهربائي الإجمالي للبناء وذلك يتم من خلال منظومة التحكم به. أنظمة التحكم الكهربائي في تطور مستمر ويجب استغلالها والمساهمة في تطويرها لتحقيق وفراً في استهلاك الطاقة الكهربائية.

تم في هذا البحث إجراء دراسة التحكم في نظام تكييف ذو حجم هواء متغير مع تصميم متحكم عائم لقيادة مروحة التزويد المركزية بحيث يتم تخفيض استهلاكها مع المحافظة على دورها ، وقد تم ذلك من خلال تصميم نموذج فيزيائي مصغر لمروحة نظام التكييف مع الأدوات والبرمجيات المصممة لتبيان وفر الطاقة الكهربائية الذي نحصل عليه باستخدام المتحكم العائم المصمم.

**الكلمات المفتاحية:** إدارة الطاقة، متحكم عائم، تكييف متغير حجم الهواء، متحكم صغري، C# .

\* أستاذ مساعد - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق - سورية.  
\*\*طالب ماجستير - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق - سورية.

## Improving control in VAV systems using fuzzy logic controller to saving electrical energy

Dr. Mohammad ALaeobe\*  
Omran Shaker\*\*

(Received 6 / 9 / 2015. Accepted 29 / 8 / 2016)

### □ ABSTRACT □

As known the electric energy is one of the most important factor of development, but using it causes bad environmental impacts due to depending on fuel as the source of electrical generation. Using renewable energy is still limited and needs a huge fixed costs, so it is important to reduce electrical consumption by monitoring and controlling equipment to achieve its function with lower consumption. HVAC sector is the most consumption part in buildings, therefor any saving in this sector will affect manifestly on the total electrical consumption in the building and this is done by control system. Control systems are in continuous improving, so it is needed to exploit them in saving electrical energy.

In this research, studying control of VAV system and designing fuzzy logic controller to drive supply fan in order to reduce its electrical consumption, this is performed through designing practical prototype of the supply fan with its tools and software which are designed to view the electrical energy saving which we gain it by using fuzzy logic controller.

**Keywords:** microprocessor, VAV systems, fuzzy logic controller, energy management, C#.

---

\*Associate Professor, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University, Damascus, Syria,.

\*\*Postgraduate Student, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.

## مقدمة:

يشكل الاستهلاك المفرط للطاقة الكهربائية تهديداً للبيئة، وذلك لاعتماد توليد الكهرباء على الوقود الاحفوري ويضاعف من أثر هذه المشاكل في سورية تعثر الوضع الاقتصادي بسبب الأزمة الراهنة وصعوبة توفير الوقود. من المعروف أن الجزء الأكبر من الطاقة الكهربائية في سوريا يستهلك في المباني وهذا يوضح كمية الطاقة الكبيرة التي يمكن توفيرها إذا ما تم اعتماد التحكم الفعال و الاستراتيجيات الكفيلة في خفض الاستهلاك الناتج عن التبريد والتدفئة والتكييف والإضاءة في المباني، كما انه من المعروف أن معظم الاستهلاك الكهربائي في المباني يكون في التكييف لذا يجب دائماً السعي لتخفيض الاستهلاك الكهربائي الناتج عن التكييف حيث سينعكس ذلك بشكل كبير على الاستهلاك الاجمالي للطاقة.

يعتبر التحكم الكهربائي عنصراً ضرورياً في الحفاظ على الطاقة الكهربائية في المباني ويتم السعي دائماً لزيادة فعاليته ليحقق هذه الغاية ومع تطور أساليب التحكم وتقنيات التحكم، والتوجه دائماً للاستفادة منها وتطبيقها في مجالات الحياة المختلفة.

مع تطور البشرية وتراكم العلوم ظهرت أنواع عديدة للتحكم وهي دائماً في تطور، يرافق هذا التطور تعقيد في الأنظمة الكهربائية والميكانيكية المستخدمة حيث أصبح من الضروري الاعتماد على الخبرة البشرية ومحاكاة طريقة التفكير البشرية فظهرت أنظمة الذكاء الصناعي وتطبيقاتها على هذه الأنظمة. وقد أجريت دراسة في اليونان عن أمثلة المتحكم العائم عن طريق الخوارزمية الجينية لإدارة البيئة الداخلية في الأبنية باستخدام المتحكم المنطقي القابل للبرمجة وشبكة تشغيل محلية، تراقب شروط الراحة لشاغلي البناء عن طريق كرت ذكي وطبقت الخوارزمية الجينية لإزاحة توابع الانتماء للمتحكم العائم لتحقيق راحة شاغلي البناء وتوفير في القدرة الكهربائية [1]. وفي جامعة أننا الهندية تم دراسة التأثير المركب لحفظ الطاقة في الأبنية لأنظمة تكييف ذات تدفق هواء متغير VAV وتدفق مبرد متغير (VRV) Variable refrigerant volume وقد تم التحري عن النظام بشكل تجريبي وباستخدام الخوارزمية الجينية [2]. وفي دراسة أخرى تم استبيان تطبيق عدة طرق تحكم في الأبنية الذكية لرفع كفاءة الطاقة فيها وباعتبار أن النظام قادر على تعديل نفسه ليتناسب مع الظروف المحيطة وحسب شاغلي البناء، ويكون نظام التكييف يحتوي على عدة حلقات تحكم: حلقة الماء البارد، حلقة وسيط التبريد، حلقة الهواء الداخلية، حلقة الهواء الخارجية، حلقة ماء المكثف وهذا يجعل النظام معقد وغير خطي [3]. كما بينت دراسة أخرى أجريت في ماليزيا، بينت أن توقف الضاغط عن طريق الترموستات عند انخفاض درجة الحرارة عن حد معين ثم عمله عند ارتفاعها يجعل هنالك أثر تراكمي للتبريد وهذا قد يزيد من تبريد الغرف بالرغم من عدم تغير الشروط الخارجية وذلك تبعاً للنشاطات في الغرف وحجمها لذا تم التوجه الى ترموستات مبرمج الذي تمكن من خلاله إطفاء الضاغط عند تخطي مجال معين [4]. وتناولت دراسة أخرى أجريت في الولايات المتحدة الأمريكية التحكم بصمام وشيعة التبريد عن طريق المتحكم العائم [5].

يمكن السعي لمواجهة الطلب على الطاقة بترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية وذلك من خلال برامج التوعية والتي قد تحقق نتائج ملموسة، لكن في بعض الأحيان وخاصة في الأبنية الحكومية وفي الأبنية التي يرتادها عدد كبير من الناس ومن الفئات الثقافية والعمرية المختلفة تكون نتائج التوعية قليلة، لذا يجب بناء منظومة تحكم آلي تهدف إلى إدارة المبنى والحفاظ على الطاقة فيه ومن هنا جاءت أهمية أنظمة إدارة المباني (BMS) Building Management systems وهذه الأنظمة تتيح تطبيق برامج إدارة الطاقة وذلك بهدف التحكم بجميع البارامترات الداخلية وتحسين أداء

أنظمة التكييف المركزي وزيادة فعاليتها وسرعة استجابتها، وتحقيق التوفير في الطاقة المستهلكة والجهد البشري، وتفعيل دور المراقبة في الإدارة. ومن هنا أتت فكرة توظيف أنظمة إدارة الطاقة في المباني.

### أهمية البحث وأهدافه :

تم التركيز في هذا البحث على فكرة ضبط تشغيل مراوح دفع الهواء في أنظمة التكييف المركزي حسب إشغالية مكان العمل بحيث تضبط سرعتها وبالتالي استهلاكها الكهربائي وفقاً لشروط العمل المطلوبة وذلك بالاعتماد على محددتين وهما فرق الضغط والتدفق.

ويهدف البحث إلى توظيف تقنيات التحكم العائم وتقنيات التحكم في أنظمة التكييف ذات الهواء متغير الحجم بحيث تخفض استهلاك الطاقة الكهربائية فيها مع الحفاظ على تحقيق الشروط الحرارية في المبنى المكيف.

ولذا تم في هذا البحث وضع نموذج فيزيائي مصغر يمكن إجراء التجارب عليه للتحقق من نظام التحكم المصمم وتبيان الوفر الذي سنحصل عليه عند استخدام متحكم عائم لقيادة مروحة التزويد الرئيسة في نظام تكييف مركزي ما.

### منهجية البحث:

#### أنظمة إدارة الطاقة في المباني:

كما أصبح واضحاً باستخدام نظام إدارة الطاقة (EMS) Energy Management System يقلل تكاليف الكهرباء والطاقة وفي نفس الوقت يؤمن بيئة آمنة مثالية لشاغلي البناء. ومن بعض الطرائق الشائعة للتحكم ومراقبة الطاقة:

- جدول زمني لتشغيل وإطفاء التجهيزات.
- تخفيض حمل الطلب الأعظمي.
- مراقبة الحمل واستهلاك الطاقة.
- الإقلاع المثالي والتوقف المثالي.

ويوجد طرائق أخرى أيضاً وهنا تأتي وظيفة EMS حيث يجب أن تقلل تكاليف الاستطاعة أيًا كانت عن طريق برنامج المراقبة والتحكم والذي من ضمن مهماته أيضاً تحسين كفاءة أنظمة التكييف والتدفئة والتبريد للمبنى، بحيث تضمن تشغيل التجهيزات بأقل تكلفة وبحيث تكون درجة الحرارة المتحكم بها بأعلى كفاءة ضمن شروط الراحة الحرارية للأشخاص وتشمل مهام إدارة الطاقة في HVAC (Heating, ventilation and Air Conditioning)

- تسجيل ومراقبة المردود.
- تسجيل ومراقبة استهلاك الطاقة.
- موجز باستهلاك الطاقة حسب المصدر وحسب الفترة الزمنية.
- متابعة درجات الحرارة والمردود.
- إعطاء مخططات ومنحنيات.
- خريطة الحمولات حسب المطلوب للمنشأة.

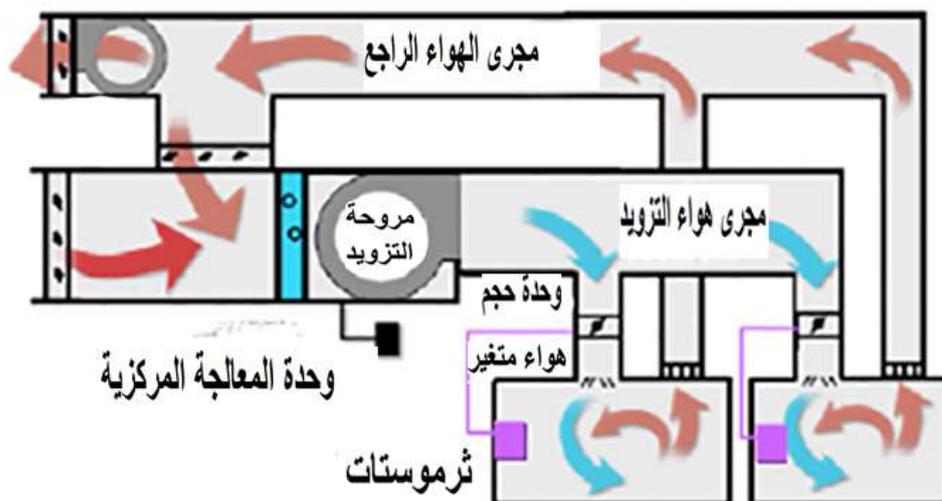
- إمكانية الدخول الى استراتيجيات إدارة الطاقة وإمكانية تعديلها المستمر للتكييف مع التغيرات المطلوبة:
- جداول بمشغولية البناء.
- درجات الحرارة المحددة لحدود الراحة.
- تعديل لبارامترات دارات التحكم.
- تعديل قيم الضبط المرجعية مثل:
- الضغط الساكن في مجرى الهواء.
- اعدادات درجة حرارة الغرفة.
- قيم تعبير الموفر.
- درجة حرارة الماء[6].

### نظام التكييف متغير الحجم (Variable Air Volume) VAV

يسمح هذا النظام بتغيير أحمال حرارية عن طريق تغيير معدلات الهواء خلال الوحدة الطرفية الموجودة داخل المكان المكيف، من مزايا هذا النظام انخفاض كل من التكلفة الابتدائية وتكلفة التشغيل لأن حجم الهواء يتطلب تحكم بسيطاً في حدود 20% لمخارج الهواء يستخدم هذا النظام في المباني المكتبية والفنادق والمستشفيات والمساكن والمدارس.

يتضمن نظام حجم الهواء المتغير العناصر الرئيسة الآتية المبينة بالشكل (1):

- وحدة معالجة هواء مركزية فيها مروحة ذات سرعة متغيرة ووشية تبريد ووشية تسخين وفلاتر وصندوق المزج ومروحة هواء راجع.
- مجرى هواء التزويد.
- وحدة حجم هواء متغير طرفية وفتحة خروج للهواء لكل مكان مكيف.
- ترموستات مع وحدة تحكم.
- مجرى الهواء الراجع [7].



الشكل (1) المكونات الأساسية لنظام تكييف VAV

## الأساس النظري:

يوجد عدة حلقات تحكم في نظام التكييف الأساسي المعتمد وهي:  
 أولاً: التحكم بفتحة صمام الهواء في كل غرفة حسب حاجة التبريد أو التدفئة للغرفة.  
 ثانياً: التحكم بسرعة الضاغط حسب درجة الحرارة الخارجية ودرجة حرارة وسيط التبريد وحسب الضغط في الانابيب.

ثالثاً: التحكم بسرعة المروحة حسب الضغط الساكن في مجرى الهواء.  
 رابعاً: التحكم بصمامات الماء الباردة والساخنة تبعاً لدرجة الحرارة المطلوبة.  
 من أجل الحفاظ على الطاقة الكهربائية المستهلكة يجب السعي دائماً إلى تحسين التحكم بحلقات التحكم المذكورة آنفاً وسيتم هنا التركيز على التحكم بسرعة المروحة.  
 تتناسب الاستطاعة الكهربائية المسحوبة من المروحة طردياً مع مكعب السرعة أي أن أي تغيير في سرعة المروحة سينعكس بشكل كبير على الاستطاعة المستجرة وفق العلاقة (1) [8]:

$$P_2 / P_1 = (N_2 / N_1)^3 \dots\dots\dots (1)$$

حيث:

N: سرعة المروحة.

P: الاستطاعة الكهربائية للمروحة.

إن نظام التكييف ذو حجم الهواء المتغير VAV يحقق وفراً في استهلاك الطاقة ولكن التحكم عن طريق حساس الضغط وحده لا يحقق كفاءة عمل مثلى لمروحة التزويد. تعتمد طريقة التحكم بسرعة المروحة على وضع قيمة مرجعية محددة للضغط في مجرى الهواء وعند تجاوز هذه القيمة يرسل أمراً للمروحة لتخفيض السرعة ليعود الضغط إلى القيمة المرجعية، كون الضغط مرتبط بالسرعة حسب المعادلة (2)[8]:

$$dP_2 / dP_1 = (N_2 / N_1)^2 \dots\dots\dots (2)$$

حيث:

dP: فرق الضغط.

لكن في الأحمال الجزئية وعند إغلاق صمامات الهواء في بعض الغرف غير المشغولة يمكن تحقيق التدفق المطلوب عند قيم ضغط أقل من القيمة المحددة، وهذا يحقق وفراً في استهلاك الكهرباء وهذا الأمر تم التحقق منه تجريبياً في بحثنا، لذا سيتم إدخال محدد آخر ليتم التحكم بسرعة المروحة بحيث تعطي التدفق المطلوب عند أقل استطاعة ممكنة بالتالي تحقيق وفر في استهلاك الطاقة الكهربائية.

تم اعتماد محددتين لتحديد سرعة المروحة المطلوبة وهما الضغط والتدفق والتي من أجل قيم معينة للتدفق تحدد السرعة المناسبة للمروحة بحيث تؤمن التدفق المطلوب عند أقل ضغط ممكن بالتالي عند أقل استهلاك للمروحة. ولهذه المحددات الثلاثة التدفق، الضغط وسرعة المروحة وبوجود تغيرات مستمرة في التدفق بفتح صمامات الهواء في الغرف المكيفة تبعاً لأحمالها الحرارية المتغيرة فإنه لا يوجد علاقة رياضية واضحة بين هذه البارامترات الثلاث وهنا يمكن استخدام متحكم عائم دخله فرق الضغط والتدفق وخرجه سرعة المروحة وقد تم تصميمه وتجريبه مخبرياً.

## تصميم نموذج فيزيائي للتحكم بمروحة التزويد:

الغاية من النموذج المخبري هو محاكاة قيادة مروحة التزويد بنظام التكييف وتطبيق تقنيات جديدة لتحقيق وفر في الطاقة الكهربائية من خلال الطريقة المقترحة. يوجد في مخبر السوائل في قسم الميكانيك بجامعة دمشق نموذج مخبري للحصول على أداء المروحة الطاردة المركزية Centrifugal Fan وهو كما موضح بالشكل (2).



الشكل (2) النموذج المخبري قبل التعديل

حيث يوجد مجرى هواء بقطر 10سم وصمام هواء يتم التحكم بفتحته يدويا ليعدل كمية الهواء التي تمر عبر مجرى الهواء ويوجد حساسات للضغط والتدفق ودرجة الحرارة وسرعة المروحة كلها ترسل اشارات لجهاز موصول مع الحاسوب عبر كرت تحصيل البيانات ويتم عرضها على شاشة الحاسوب وهذه البيانات هي درجة حرارة الهواء والتدفق والضغط وسرعة المروحة والمردود بالإضافة للاستطاعة المستجرة من المروحة. ويتم التحكم بسرعة المروحة من خلال مقاومة متغيرة، من الملاحظ أنه هنا القيادة يدوية ولا يمكن القيادة بالحلقة المغلقة أو القيادة إلكترونياً، لذا يجب تعديل تجهيزات القيادة للتمكن من استخدام التحكم في الحلقة المغلقة. تم في البداية تركيب دارة قيادة للمروحة الموجودة بنفس الطريقة المتبعة لكن بدارة خارجية وهذه الطريقة هي تعديل زاوية الطور وذلك بالاعتماد على عنصر الترياك ونظراً لكون المحرك تحريضي وحمولته مروحية فإنه لا يحتاج لعزم إقلاع كبير مما يسمح باستخدام هذه الطريقة. حيث بزيادة قيمة المقاومة المتغيرة يزداد زمن تأخير القرح للترياك فلا تطبق كامل الموجة المتناوبة على المحرك بالتالي تنقص سرعته، تعطى معادلة زاوية القرح للترياك مع التوتر بالعلاقة (3) [9]

$$\frac{\tilde{V}}{V} = \frac{\sin(2\psi)}{2\pi} + \sqrt{1 - \frac{\psi}{\pi}} \dots \dots \dots (3)$$

حيث:

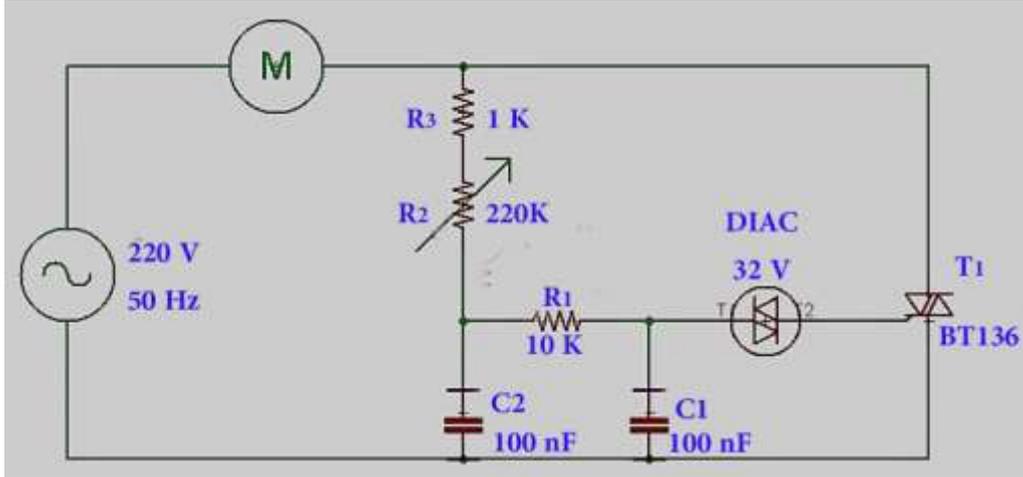
$\vec{V}$ : توتر الخرج المطبق على الحمل

$V$ : توتر الدخل

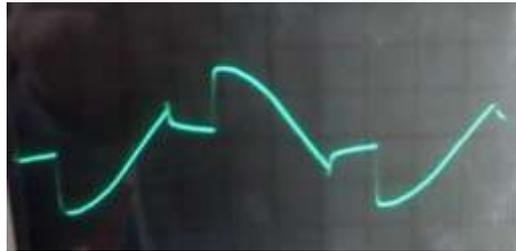
$\psi$ : زاوية تأخير النبضات

تبين المعادلة (3) أنه بزيادة زاوية تأخير النبضات من 0 إلى  $\pi$  فإن قيمة التوتر المطبق على الحمل تنقص من قيمة توتر الدخل حتى الصفر.

وتم تجريب هذه الدارة على المروحة في البداية ليتم التعديل عليها لاحقاً من أجل القيادة الرقمية وبين الشكل (3) مخطط الدارة والشكل (4) شكل الموجة المتناوبة المطبقة على المحرك مع إزاحة زاوية الطور. حيث بتغيير قيمة المقاومة المتغيرة  $R2$  يتغير زمن شحن وتفريغ المكثفتين  $C1, C2$  ضمن نصف دور الموجة المتناوبة ويتغير معه زمن الوصول لجهد عتبة فتح الدياك ليمرر تيار الفدح للترياك الذي ينتقل لحالة التوصيل عند مرور تيار البوابه فيه وبالتالي تتغير شكل الموجة المتناوبة والقيمة الفعالة للتوتر المطبق على المحرك.



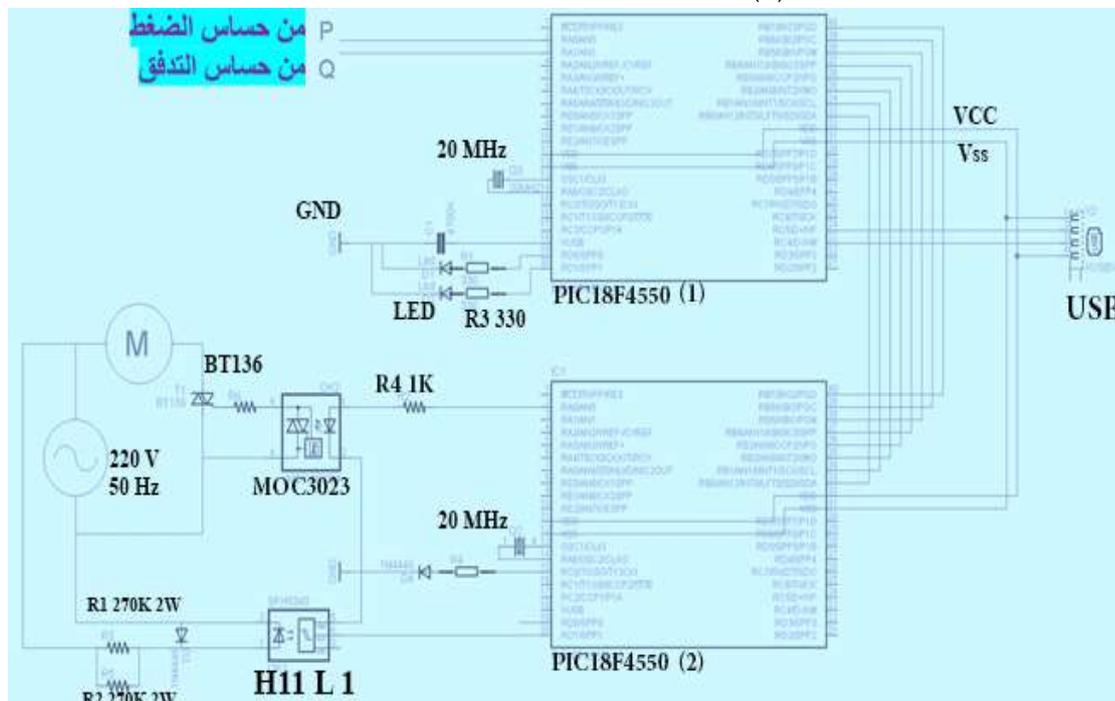
الشكل (3) مخطط الدارة المنفذة لقيادة المروحة



الشكل (4) شكل الموجة المطبقة على المحرك

ثم تم استخدام دارة جديدة، في البداية صممت دارة لتكشف تقاطع الموجة المتناوبة مع الصفر وإدخال هذه الإشارة إلى المتحكم الصغري PIC18F4550 ويُرْمَج على إعطاء نبضات بعد تأخير زمني معين عن التقاطع مع الصفر حسب السرعة المطلوبة. ثم صممت واجهة بلغة  $C\#$  يمكن من خلالها التخاطب مع المتحكم الصغري الأول عبر منفذ USB. ومن إحدى وظائف هذه الواجهة إعطاء الأوامر لزيادة أو إنقاص تأخير النبضات، ووضعت دارة لتحقيق هذا الغرض وتحتوي بشكل رئيس على متحكم صغري للتخاطب مع الحاسوب عبر منفذ USB والمتحكم

الصغري الثاني لاستقبال إشارة التقاطع مع الصفر من العازل الضوئي H11L1 وإعطاء نبضات للترياك القائد للمحرك عبر العازل الضوئي MOC3023 بناءً على زمن التأخير الذي يعطيه المتحكم العائم والذي يصل إليه من الحاسوب عبر منفذ USB والمتحكم الصغري الأول. برمج المتحكم الصغري لأداء هذه الوظائف ببرنامج MPLABX والذي يستخدم لغة C و C++ . ويبين الشكل (5) مخطط الدارة النهائية المنفذة.



الشكل (5) الدارة النهائية المنفذة

### إجراء التجارب على النموذج الفيزيائي وتطويره:

في البداية استخدمت الحلقة المفتوحة، أي تغيير سرعة محرك المروحة عن طريق زيادة وإنقاص زمن تأخير النبضات وذلك من خلال الواجهة المنفذة على الحاسوب حيث تم تجريب النموذج الفيزيائي المعدل، وتم في البداية تثبيت فتحة صمام الهواء عند الزوايا  $30^\circ$  و  $50^\circ$  و  $70^\circ$  و  $90^\circ$  (مفتوح بالكامل) والتي يتغير معها مقطع مجرى الهواء وبالتالي التدفق الأعظمي الذي يمكن عبوره، وهذا يكافئ في أنظمة التكييف إغلاق مجموعة من صمامات الهواء في الغرف المكيفة. وعند كل قيمة يتم تغيير زمن تأخير النبضات بالتالي زاوية إزاحة الطور ومن ثم الاستطاعة المقدمة للمروحة بالتالي سرعة المروحة وأخذت قراءات الضغط والتدفق والاستطاعة والمردود والجهد المطبق وسرعة المروحة لنتمكن من فهم النظام وتعويم القيم ووضع القواعد ويتضمن الجدول (1) القيم المأخوذة من النموذج الفيزيائي المصغر.

الجدول (1) القراءات المأخوذة بتغيير السرعة وتغيير فتحة صمام الهواء

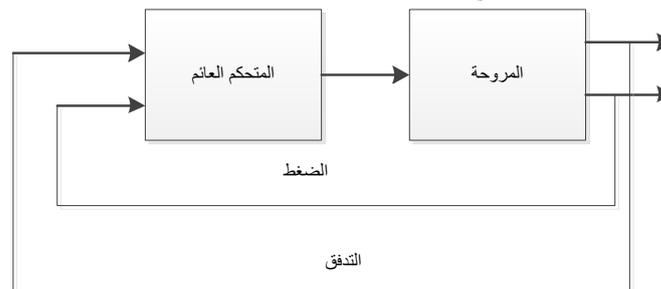
زاوية الدايبر/زمن التأخير	استطاعة المروحة (وات)				التوتر المطبق (فولت)				فرق الضغط (باسكال)				التدفق (د/س)				سرعة المروحة (RPM)				المروحة $\dot{V}_2$				
	90	70	50	30	90	70	50	30	90	70	50	30	90	70	50	30	90	70	50	30	90	70	50	30	
8.6	200	6	6	7	7	16	16	18	18	0	0	2	3	51	50	55	52	70	200	311	330	0	0	0.3	0.4
8.3	190	12	14	12	14	29	33	30	34	3	7	14	55	106	128	96	82	675	873	880	1490	0.7	1.6	2.7	9.2
7.9	180	27	30	25	22	42	44	41	56	9	18	38	158	170	183	140	122	1150	1324	1444	2445	1.8	3.1	6.1	23.5
7.6	170	35	37	33	24	48	51	48	64	15	30	66	172	212	226	183	127	1432	1707	1860	2555	5.2	15	10.1	26.2
7.3	160	44	41	36	24	58	66	63	83	29	54	109	185	290	307	235	133	1955	2290	2390	2655	5.1	11.5	20	26.5
7.0	150	46	43	38	30	82	92	90	103	45	69	120	193	370	346	250	135	2506	2556	2646	2707	10	15	27.2	23.9
6.6	140	48	46	41	33	100	109	107	116	50	71	139	196	385	352	258	135	2622	2617	2703	2726	11.1	15.3	24.4	21.6
6.3	130	50	48	43	34	111	119	116	125	51	72	140	197	385	355	255	134	2650	2633	2717	2730	11.3	15.1	23.8	20.6
6.0	120	52	50	43	36	127	133	131	138	52	74	140	198	393	355	256	135	2676	2650	2715	2740	10.7	14.5	22.1	24.2
5.3	100	59	56	45	39	156	161	160	162	53	75	140	200	395	360	256	138	2707	2677	2722	2852	10	13.4	19.4	16.6
4.6	80	62	58	52	46	173	177	176	175	53	76	141	201	400	360	258	138	2714	2689	2718	2758	9.5	12.9	18.4	15.8
3.7	50	65	63	55	49	194	195	194	192	53	76	141	201	400	360	258	137	2718	2695	2696	2757	9	12.3	17.1	14.9
2.3	10	66	62	59	52	203	201	202	198	53	76	142	201	400	364	258	137	2722	2697	2709	2756	9	12	16.9	14.4

من الجدول نلاحظ أن عند كل فتحة لصمام الهواء يوجد تدفق وضغط معينان يصل اليهما النظام ولايزيد بعدهما مهما زدنا سرعة المروحة أي بكلمات أخرى زيادة سرعة المروحة عن هذا الحد هو هدر في الطاقة المستهلكة من المروحة، كما أنه عند فتحات صمام صغيرة (تكافئ بنظام التكييف الفعلي حمولة جزئية أو عدم مشغولية في المكاتب) يمكن للمروحة أن تعمل بسرعة منخفضة لتحقيق التدفق المطلوب وبالتالي استهلاك طاقة كهربائية أقل. حققت الدارة السابقة المقترحة إمكانية تشغيل المروحة وإطائها وزيادة سرعتها وانقاصها من الحاسوب ولكي يتم التحكم بالحلقة المغلقة يجب أخذ إشارة الضغط وإشارة التدفق حيث تم اخذ الاشارتين التماثلتين إلى المتحكم الصغري الاول وتحويلهما الى اشارات رقمية وارسالها عبر منفذ USB إلى الحاسوب وعرض قيمتهما على واجهة البرنامج المنفذ.

في هذه الطريقة يتم الاعتماد على قيمة الضغط الساكن في مجرى الهواء وعلى قيمة تدفق الهواء، حيث أنه يمكن تغيير الضغط تبعاً للحجم المطلوب فعلى سبيل المثال يدل الضغط المنخفض والتدفق العالي على أن صمامات الهواء مفتوحة والغرفة بحاجة لتدفق كبير هنا يمكن زيادة سرعة المروحة بينما يدل الضغط العالي والتدفق المنخفض على أن الحمولة جزئية ومعظم صمامات الهواء مغلقة ويجب تخفيض سرعة المروحة.

## تصميم المتحكم العائم:

يبين الشكل (6) مخطط التحكم المقترح.



الشكل (6) مخطط التحكم

لتصميم المتحكم العائم تحدد المتغيرات العائمة لتغطي فضاءات الدخل والخرج، الدخل الأول هو إشارة الضغط حيث لدينا فضاء الدخل هو المجال [225-0] مقدراً بالباسكال، وتكتب ثلاثيات المتغيرات اللغوية للضغط على النحو الآتي:

$P = \{ \text{منخفض Low، متوسط Med، عالي قليلاً SLH، عالي H، عالي جداً VH} \}$ ،

الدخل الثاني هو إشارة التدفق حيث لدينا فضاء الدخل هو المجال [415-0] مقدراً بالمتر مكعب بالثانية، وتكتب

ثلاثيات المتغيرات اللغوية للتدفق على النحو الآتي:

$Q = \{ \text{منخفض Low، متوسط Med، عالي قليلاً SLH، عالي H، عالي جداً VH} \}$ ،

الخرج هو إشارة التحكم بالسرعة والتي هي رقم ثنائي بحجم I بايت يرسل من الحاسوب إلى المتحكم الصغري ليتم

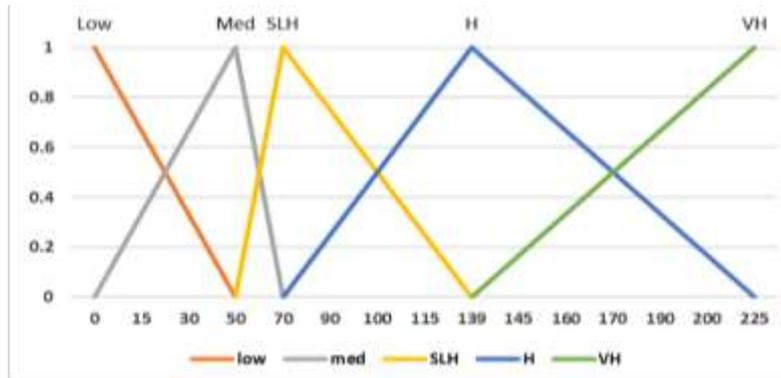
ضربه بزمن مؤقت داخلي وذلك لإعطاء النبضات للترياك الذي يقود المروحة بزمن تأخير معين عن تقاطع الموجة المتناوبة مع الصفر وهذا الزمن هو الذي يحدد التواتر المطبق على المروحة وبالتالي سرعة المروحة التي تعطي تدفق وضغط معينين حيث لدينا فضاء هذا المتغير هو المجال [200-110] والذي يمثل معامل الضرب الداخلي للمتحكم الصغري والذي يعطي زمن تأخير النبضات من رتبة ميلي ثانية. وتكتب ثلاثيات المتغيرات اللغوية للخرج على النحو الآتي:

$D = \{ \text{منخفض Low، متوسط Med، عالي قليلاً SLH، عالي H} \}$ ،

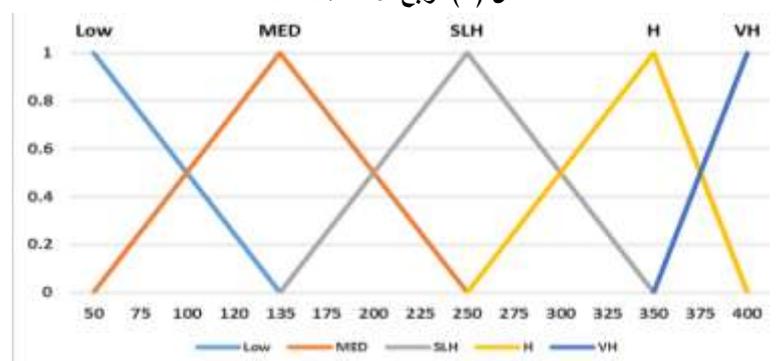
عالي جداً VH}.

ثم حددت نوابح الانتماء لكل متغير واختيرت بالشكل المثلثي لبساطتها.

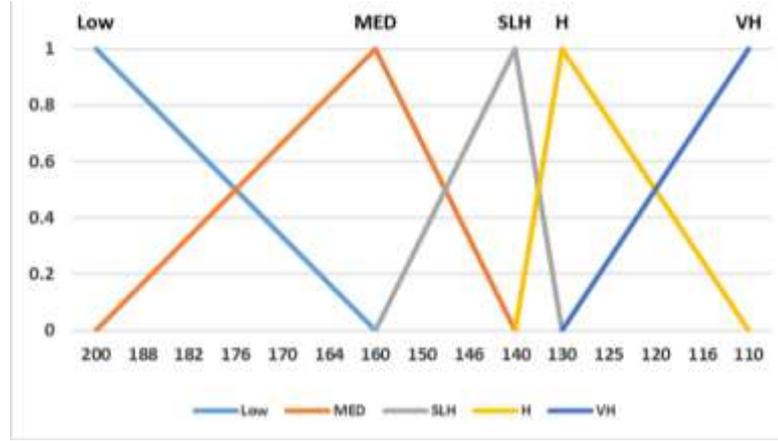
والأشكال (7)، (8)، (9) توضح ذلك.



الشكل (7) نوابح الانتماء للضغط



الشكل (8) نوابح الانتماء للتدفق



الشكل (9) توابع الانتماء للخرج

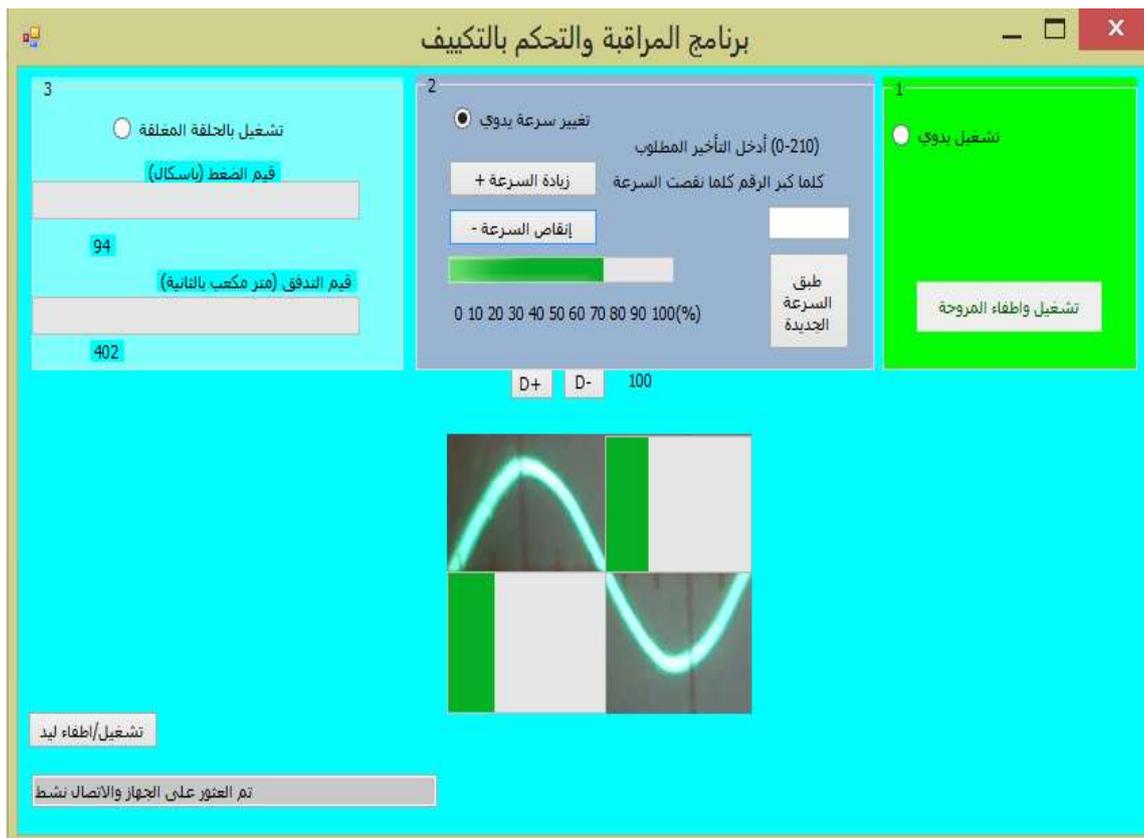
وبالإعتماد على أزواج من الدخل والخرج المرغوب وعلى خبرة مشغل النظام، نحصل على (الجدول (2)) الذي يمثل قوانين المتحكم العائم.

الجدول (2) جدول قوانين المتحكم العائم

Q/P	L	MED	SH	H	VH
L	Med	L	L	L	L
Med	Med	Med	Med	Med	Med
SH	SH	Med	SH	SH	SH
H	H	SH	H	SH	SH
VH	VH	SH	VH	SH	SH

تم برمجة تابع بلغة C# للقيام بالتعويم وفق التعويم وغيرها من عمليات المنطق العائم، حيث استخدم نموذج ممداني للتعويم وطريقة مركز الثقل في فك التعويم. إن خرج المتحكم العائم هو زمن التأخير للنضات ويتم إرسالها بشكل آني للمتحكم الصغير ليقود المروحة. تم تجريب المتحكم على النموذج الفيزيائي الذي حصلنا عليه حيث يتم في البداية و من واجهة البرنامج اختيار العمل بالحلقة المغلقة وبعدها يتم تغيير فتحة صمام الهواء يدويا والتي تحاكي في الواقع العملي تغيير فتحات صمامات الهواء للغرف المكيفة تبعاً لأوامر من الترموستات حسب حاجة الغرفة وذلك يتطلب تغيير في سرعة المروحة وذلك بتخفيضها عند الأحمال الجزئية وفق الطريقة المدروسة بإعتماد المنطق العائم واستخدام متحولين (الضغط والتدفق) بدلاً من الأسلوب المتبع بالاعتماد فقط على الضغط وذلك بهدف الحصول على السرعة المطلوبة تماماً لخفض استهلاك الطاقة الكهربائية.

ويبين الشكل (10) الواجهة الرسومية للبرنامج المعد.



الشكل (10) واجهة البرنامج المنفذة

في الزاوية اليسرى السفلى من الواجهة تظهر عبارة تدل على حالة الاتصال بين الحاسوب والمتحكم الصغري وفوقها يوجد كبسة للتحكم بإطفاء ليد وتشغيله، هذا الليد موصول مع المتحكم الصغري ويمكن الاستفادة من هذه الكبسة للتحقق من وضع الاتصال وإمكانية إرسال الأوامر ويمكن الاستفادة منه لتشغيل وإطفاء تجهيزات معينة وطبعاً يتطلب ذلك إضافات إلى أرجل المتحكم الصغري.

وتتألف الواجهة من ثلاث أقسام رئيسية من اليمين إلى اليسار القسم الأول يمكن من خلاله تشغيل المروحة وإطفائها فقط في الجزء الثاني يمكن التحكم بسرعة المروحة زيادةً أو نقصاناً عن طريق إنقاص زمن تأخير النبضات أو زيادتها بالترتيب والقسم الثالث التحكم بالحلقة المغلقة بتفعيله يتم قراءة الضغط والتدفق وعلى أساسها تحديد زمن التأخير المطلوب تبعاً للمتحكم العائم المضمن في البرنامج، والشكل الذي في وسط الواجهة للتعبير عن زمن التأخير للنبضات المطبقة على الترياك والتي يتغير على أساسها شكل وقيمة الموجة المتناوبة المطبقة على المحرك. يبين الشكل ( 11 ) النموذج المخبري المنفذ والمكون من قاعدة التثبيت وأنبوب سحب الهواء وأنبوب التزويد وحساسات لقياس المتغيرات والمروحة ودارة القيادة والتحكم من الحاسب.

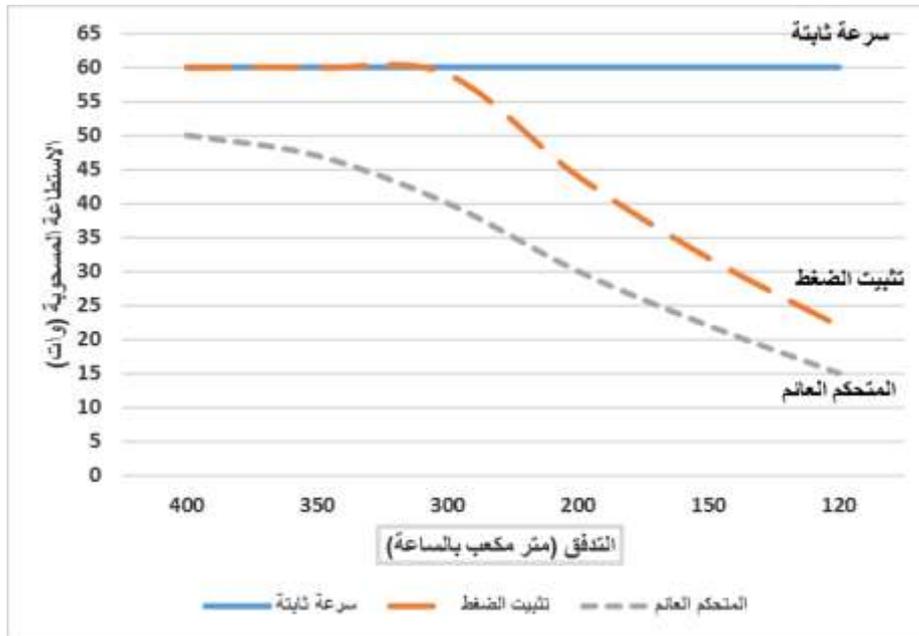


الشكل (11) النموذج المخبري المنفذ

### النتائج والمناقشة:

#### الوفر المحقق باستهلاك المروحة:

بعد اكتمال النموذج المخبري وإمكانية التحكم رقمياً بسرعة المروحة بالحلقة المفتوحة والحلقة المغلقة تم إجراء التجارب لمقارنة استهلاك المروحة عند استخدام المتحكم العائم بالطريقة المقترحة وعند استخدام طريقة تثبيت الضغط و في حال تشغيل المروحة بسرعة ثابتة. بطريقة تثبيت الضغط تضبط السرعة بحيث لا يزيد الضغط عن 170 باسكال. وقرنت الاستطاعة المستهلكة في كل حالة وعند كل تدفق كما هو موضح (الشكل (12)).



الشكل (12) أداء المتحكم العائم بالمقارنة مع الطرق التقليدية

نلاحظ من المنحني أنه عند الحمولة الكاملة أي عند أعلى تدفق مطلوب وهو 400 متر مكعب بالساعة فإن استهلاك المروحة باستخدام المتحكم العائم هو 50 وات بينما في باقي الطرائق هو 60 وات وذلك يحقق وفراً بالاستطاعة قدره 17% ومن أجل حمولة جزئية أي عند تدفق هواء 200 م<sup>3</sup>/سا كان الاستهلاك باستخدام المتحكم العائم 30 وات وبتثبيت الضغط كان 44 وات وعند عمل المروحة بسرعة ثابتة كان 60 وات أي أن المتحكم العائم يوفر 50% من الاستطاعة عند العمل على هذه الحمولة بينما بتثبيت الضغط 26% وعند حمولة 120 م<sup>3</sup>/سا المتحكم العائم يوفر 75% من استطاعة المروحة بينما التحكم بتثبيت الضغط يوفر 63%.

### تطبيق المتحكم المقترح على مشروع وردة مسار:

تم تطبيق نتيجة الدراسة السابقة على Level +5 في مشروع وردة مسار الموجود في الجمهورية العربية السورية - مدينة دمشق - منطقة مدينة المعارض القديمة وهو عبارة عن مشروع مركز إستكشاف للإطفال واليافعين لتأهيل وتدريب وتنقيف الأطفال وإكتشاف المواهب والقدرات لديهم، يحتوي المركز على مساح ومراكز تدريبية وتعليمية وملاعب ومكتبة ومقاهي انترنت ومختبرات يحتوي Level +5 على استديوهات وقاعات اجتماعات وقاعة الضيوف المهمين وغرف مناقشة ومكاتب موظفين مما يعني أن هناك أعدادا كبيرة من الشخصيات المتميزة سوف تكون موجودة في هذه المنطقة ومن هنا تبرز أهمية الطابق المدروس.

حيث توزع في المكاتب وحدات VAV طرفية وثيرموستات ليتم التحكم بحجم الهواء الداخل لكل مكتب حسب الحمل الحراري للمكتب وحسب مشغوليته وعلى أساس التدفق المطلوب يتم التحكم بسرعة مروحة التزويد الرئيسية في وحدة معالجة الهواء. تم حساب صمامات الهواء المطلوبة والمروحة المطلوبة انطلاقاً من الحمل الحراري للطابق المدروس وحسب ASHRAE America Society of Heating, Refrigeration and Air condition Engineers (جمعية التكييف والتدفئة والتبريد للمجتمع الأمريكي) [10] حيث أنه يحتاج إلى تدفق إجمالي 30086 متر مكعب بالساعة يتم الحصول عليه من مروحة تدار بمحرك ثلاثي الأطوار باستطاعة 15 كيلو وات وتقاد المروحة بمعدل تردد

### استخدام طريقة التحكم المقترحة:

يتم إضافة حساس إضافي لقراءة قيم التدفق في مجرى الهواء الرئيسي ويتم إدخاله للمتحكم بالإضافة لإشارة الضغط ويضمن برنامج التحكم العائم في المتحكم واعتماداً على إشارتي الضغط والتدفق يعطي البرنامج السرعة المناسبة لمروحة التزويد ويرسل إشارة الى مبدل التردد ليعطي التردد الموافق لهذه السرعة والتي تحقق التدفق المطلوب بأقل استهلاك ممكن.

### حساب الوفر الكهربائي:

نفرض أن المكاتب تعمل لـ 8 ساعات يومياً تشغل المكاتب في ساعات الذروة بـ 90% وذلك لساعتين ووسطياً 50% لأربع ساعات و 30% لساعتين وتكون الاستطاعة الموفرة بالترتيب: 22% لساعتين و 50% لأربع ساعات و 75% لساعتين، أي تكون كمية الطاقة الكهربائية الموفرة لليوم الواحد من استطاعة المروحة المزودة لطابق المكاتب في مشروع مسار على النحو الآتي:

$$59.1 \text{ كيلو واط ساعي يوميًا} = 2 \times 15 \times 0.75 + 4 \times 15 \times 0.5 + 2 \times 15 \times 0.22$$

أي بمعدل 18321 كيلو واط ساعي سنوياً بافتراض عدد أيام الدوام سنوياً 310 يوم

بينما في حال عملت المروحة بكامل استطاعتها يومياً سيكون الاستهلاك اليومي

120=8 x 15 كيلو واط ساعي وسنويا يكون 37200 كيلو واط ساعي اي اني نسبة التوفير ستكون 49%

سنويا

### الاستنتاجات والتوصيات:

- 1 من خلال هذه الدراسة تبين لنا أهمية موضوع التحكم بالمباني لتوفير استهلاك الطاقة فيها والتكييف وتحسين التحكم بها. لنظام VAV ميزات جيدة من توفير الاستطاعة وشروط الراحة لكنه بالرغم من ميزاته مازال قليل الانتشار في سوريا لذا تم شرحه وآلية التحكم به وتم وضع اقتراحات جديدة باستخدام المتحكم العائم لتحسين التحكم به بما يتناسب و الظروف المناخية في سوريا.
- 1 يبين البحث أن استخدام التقانات المقترحة والمطبقة على النموذج المخبري تبين أن تطبيق هذه التقانات يحافظ على الاستهلاك الامثل لطاقة المروحة بحيث تعطي التدفق المطلوب بأقل استطاعة ممكنة وهذه الطرائق يمكن تعميمها على باقي أجزاء نظام التكييف.
- 2 جعل المعالجة العائمة تتم ضمن الحاسوب يعطي سرعة معالجة عالية.
- 3 حقق استخدام المتحكم العائم على النموذج المخبري وفراً في الاستطاعة الكهربائية قدره 75 % مقارنة مع تشغيل المروحة بسرعتها الكاملة و 63 % مقارنة مع استخدام التحكم حسب الحساس الضغط.
- 4 استخدام هذه الطريقة في التكييف في الطابق المخصص للمكاتب في مبنى مسار يحقق وفراً في الاستهلاك الكهربائي يصل لـ 49% من استهلاك مروحة التزويد لطابق.
- 5 تم تطبيق الدراسة على مروحة التزويد مع العلم أنه يمكن (بشكل مماثل دراسة تطبيق هذه الطريقة على الضاغط والمبرد) وبذلك يتحقق وفر كهربائي في مجمل منظومة التكييف والتبريد.

### المراجع

- [1] KOLOKOTSAA, D; STAVRAKAKISB, G.S; KALAITZAKISB, K; AGORISC, D. *Genetic algorithms optimized fuzzy controller for the indoor environmental management in buildings implemented using PLC and local operating network.* Engineering Applications of Artificial Intelligence Greece. Vol. 15, 2002, 417–428.
- [2] PARAMESHWARAN, R; KARUNAKARAN, R; VINU RAJA KUMAR, C; INIYAN, S. *Energy conservative building air conditioning system controlled and optimized using fuzzy-genetic algorithm.* Energy and Buildings India. Vol. 42, 2010, 745–762.
- [3] BEHROOZ, F; RAMLI, A; SAMSUDIN, K. *A survey on applying different control methods approach in building automation systems to obtain more energy efficiency.* International Journal of the Physical Sciences Malaysia. Vol. 6(9), 2011, 2308-2314.
- [4] AHMED, S. S; MAJID, M. S; Novia, H; ABD RAHMAN, H. *Fuzzy logic based energy saving technique for a central air conditioning system.* Energy Malaysia Vol. 32, 2007, 1222–1234.
- [5] RAHUL, L. N; RON, M. N. *Use of genetic algorithms to develop an adaptive fuzzy logic controller for a cooling coil.* Energy and Buildings U. S. A. Vol. 42, 2010, 708–716.
- [6] TDMM. *chapter16: building automation system.* 12<sup>th</sup> edition, 2009, 66.

- [7] TAYLOR, S; STEIN, J. *Advanced Variable Air Volume System Design Guide*. California energy commission U. S. A. 2003, 228.
- [8] ANDERSON, J. D. *Fundamentals of Aerodynamics*. book, third edition, 2010.
- [9] د هاشم ورقوزق. *إلكترونيات القدرة الكهربائية/2*. منشورات جامعة دمشق، 2006-2005.
- [10] ASHRAE handbook-fundamentals. Atlanta (GA): American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2001.