

## تخفيض استطاعة منشأة تكييف الهواء المركزي بالاعتماد على ماء التكاثر الناتج عن المنشأة

د. جابر ديبية \*

عقبة حيدر \*\*

(تاريخ الإيداع 10 / 1 / 2021. قُبل للنشر في 11 / 7 / 2021)

### □ ملخص □

تشكل الطاقة الكهربائية المستخدمة لتغطية استطاعة تكييف الهواء جزءاً هاماً وكبيراً من إجمالي استهلاك الطاقة، خاصةً مع تزايد استخدام أنظمة تكييف الهواء الانضغاطية "VCR". لذا كان لابد من البحث عن تقنيات تسمح بتخفيض استهلاك الطاقة لهذه الأنظمة، أو استبدالها بأنظمة أكثر كفاءة وأقل استهلاكاً.

تبين الدراسة المقدمة والتي تناولت نظام التكييف المركزي في مشفى تشرين الجامعي باللاذقية، الكمية الكبيرة للمياه التي تنتجها أنظمة التكييف في المناخات الرطبة كمدينة اللاذقية والتي غالباً ما يتم هدرها دون الاستفادة منها، حيث تظهر الدراسة ان ما يزيد عن  $11,000 [m^3]$  من المياه المتكاثفة يتم انتاجها من وحدات معالجة الهواء خلال الموسم الصيفي.

تظهر الدراسة أهمية استغلال هذه المياه في عملية التبريد المسبق مما يسمح بخفض استهلاك الطاقة لاسيما في المنشآت التي لا تسمح الشروط الصحية فيها باستغلال الهواء الراجع في عملية خفض الاستطاعة عبر حجرة المزج ضمن وحدات المعالجة، حيث تبين النتائج إمكانية تحقيق خفض في الاستطاعة المطلوبة لوحدة المعالجة بنسبة 12.23% وخفض الاستطاعة التشغيلية للمنشأة بنسبة تصل حوالي 1.3% عبر استغلال هذه المياه.

**الكلمات المفتاحية:** أنظمة التكييف المركزة، وحدات معالجة الهواء، المياه المتكاثفة، التبريد المسبق.

\*أستاذ - قسم هندسة القوى - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

\*\*طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم هندسة الآلات الحرارية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## **Reducing the Energy Consumption of a Central Air Conditioning Facility Based on Condensation Water Generated by This Facility**

**Dr. Jaber Dibeh\***  
**Oqba Hayder\*\***

(Received 10 / 1 / 2021. Accepted 11 / 7 / 2021)

### **□ ABSTRACT □**

The electrical energy used to cover the air-conditioning capacity is a significant and large part of the total energy consumption, especially with the increasing use of VCR Vapor compression refrigeration systems. Therefore, it was necessary to search for technologies that allow reducing the energy consumption of these systems, or replace them with more efficient and less consuming systems.

The presented research, which dealt with the central air conditioning system at Tishreen University Hospital in Lattakia, shows the large amount of water produced by air conditioning systems from air handling units during the summer season, in humid climates such as Lattakia city, which is often wasted without benefiting from it.

The study shows the importance of using this water in the pre-cooling process, which allows reducing energy consumption, especially in establishments where health conditions do not allow the use of return air in the process of reducing capacity through the mixing box within the AHU units, as the results show the possibility of achieving a reduction in the required capacity of the treatment unit by a percentage 12.23% and reducing the facility's operating capacity by about 1.3% through utilizing this water.

**Keywords:** Central air conditioning system, Air handling unit, Condensate water, pre-cooling

---

\* Professor, Department of Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

\*\*Postgraduate Student, Department of Mechanical Power, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

**مقدمة:**

يشكل قطاع البناء السكني حوالي 40% من إجمالي استهلاك الطاقة في العالم ، و 50-70% من هذا الاستهلاك للطاقة ينتج عن أنظمة تكييف الهواء [1]، وتشير تقارير صادرة عن "المركز الوطني لبحوث الطاقة في سورية"، أن نسبة استهلاك القطاع المنزلي للكهرباء بلغ 54%.

كما تعتبر المستشفيات والمختبرات الطبية والمراكز الصحية من أكثر أنواع المباني كثافة في استهلاك الطاقة، حيث تستهلك من (3-4) أمثال استهلاك البناء المتوسط، وتساهم عدة عوامل في ذلك:

- 1- عدم وجود نظام استرداد طاقة من خلال المزج تيار الهواء الخارجي بالتيار الراجع لاعتبارات صحية.
- 2- المعدلات المرتفعة لمرات تغيير الهواء (ACH) المطلوبة واشترطات التهوية والتعقيم المرتفعة.
- 3- الأحمال الإضافية الناتجة عن المعدات الطبية، وأنظمة الحماية من الأبخرة الكيميائية والبيولوجية.
- 4- نظام العمل المستمر لأنظمة التكييف، حيث ساعات التشغيل 7/24

وتبحث هذه الورقة في طرق الحد من استهلاك الطاقة والمياه في أنظمة التكييف المركزي من خلال دراسة الإمكانيات المتاحة لاستغلال المياه المتكاثفة من وحدات معالجة الهواء الخاصة بمشفى تشرين الجامعي في مدينة اللاذقية ذات المناخ الرطب، وحساب كميات المياه المتكاثفة الناتجة بناءً على الظروف الجوية المحيطة ومقدار استعادة الطاقة الممكنة من خلال استخدام هذه المياه.

**أهمية البحث وأهدافه:**

يهدف البحث الى تبيان إمكانية استغلال المياه المتكاثفة من وحدات المعالجة على اعتبارها:

- 1- مصدراً يمكن استغلاله حرارياً والاستفادة منه في عملية التكييف وإزالة الرطوبة، على اعتبار ان حرارته المنخفضة نسبياً يمكن ان تسمح في خلق أثر تبريدي مسبق للهواء، مما يخفض من استنطاعة المطلوبة للمنشأة.
- 2- مصدراً مائياً مهماً يمكن تحصيله خلال أشهر التشغيل، ويمتاز بجودة عالية من حيث درجة الاماهة والإيصالية ونسب الشوائب المنحلة فيه، مما يسمح بالاستفادة المباشرة منه، او تعديل مواصفاته ليصبح صالحاً لاستخدامات أخرى، ما يسهم في الاستدامة المائية.

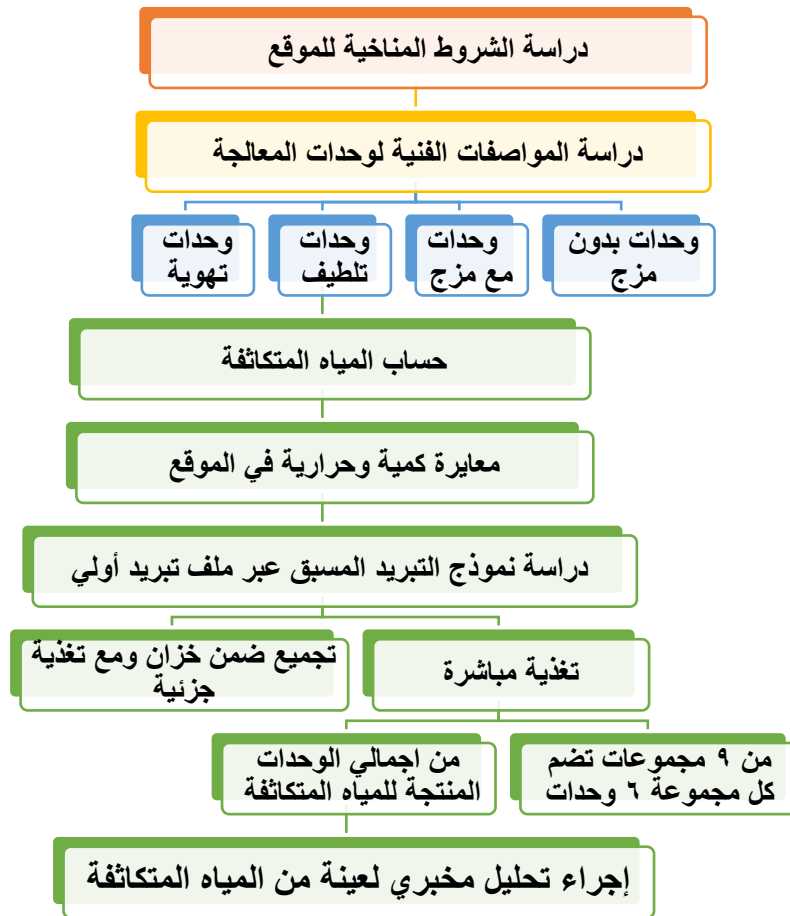
**طرائق البحث ومواده:**

اتبنا في هذا البحث الطريقة التحليلية حيث قمنا بدراسة الظروف المناخية للموقع وتأثيراتها، ولاسيما على كمية المياه التي يمكن تحصيلها ضمن وحدات المعالجة، وعلى أداء الانظمة المقترحة في البحث.

كما تم اجراء دراسة تفصيلية لوحدات معالجة الهواء المركبة في الموقع المدروس، (مشفى تشرين الجامعي) وذلك تبعاً للشروط التصميمية المنفذة على أساسه من استنطاعة وتدفق للهواء الخارجي والهواء الراجع وتحديد نسب المزج للوحدات التي تستخدم تيار الراجع.

تم حساب كمية المياه المتكاثفة من جميع وحدات معالجة الهواء، تبعاً لمواصفات وشروط هذه الوحدات ولتغير الشروط الخارجية للوسط المحيط خلال الساعة واليوم والشهر، حيث تم اجراء محاكاة بواسطة برنامج "TRNSYS" لدراسة

التغيرات الساعية في كمية المياه الناتجة كما تم اقتراح نماذج لاستغلال هذه المياه في التبريد المسبق، عبر مبادل حراري اضاعي يتوضع قبل وشيعة التبريد في وحدة المعالجة، قمنا بدراسته و اجراء نمذجة له بواسطة برنامج "EES".



#### فرضيات البحث:

- تم إجراء البحث المقدم على مجموعة التكييف المركزي المنقّدة في مشفى تشرين الجامعي، والمتضمن 10 وحدات تبريد شيلر ذو مكثف مبرد بالهواء، مركبة خارج المبنى باستطاعة 300 TR لكل وحدة، و 77 وحدة معالجة، معظمها ضمن غرف الميكانيك في مستوى القبو الثاني وفي مستويات الطوابق باستطاعات وشروط متفاوتة تبعاً للحيز الذي تغذيه.
- تم ادراج الشروط المناخية الخاصة بمدينة اللاذقية ضمن برنامج " TRNSYS " حيث قمنا باستيراد بيانات الطقس الساعية من خلال برنامج (Meteonorm.8) وذلك من اجل المحاكاة الحاسوبية لمحصلة كمية التكاثف وتغيراتها الساعية من موسم التبريد الصيفي.
- تم اجراء الدراسة التصميمية للمبادل المقترح المضاف ضمن وحدة معالجة بتدفق وسطي للهواء عند  $10000[m^3/h]$  (تم افتراض الوحدة A4 لهذه الغاية) وبما يتناسب مع أبعاد هذه الوحدة.
- تم اعتبار يوم 29 يوليو تموز كيوم تصميمي للحسابات.

## 1- حساب كمية المياه المتكاثفة من وحدات المعالجة:

## 1-2 المحصلة الإجمالية للتكاثفات:

تم حساب المحصلة الساعية لكمية المياه المتكاثفة الناتجة عن وحدات المعالجة تبعاً للشروط الخارجية للموقع وتغيراته الساعية، ولشروط وحدات المعالجة من التدفق الكتلتي للهواء المعالج الذي تقوم كل وحدة بإمداده للحيز المكيف ضمن الشروط المحددة، من درجة الحرارة والرطوبة، وذلك من العلاقة التالية [10]:

$$m_{con} = m_{air} \cdot (W_{inlet} - W_{outlet}) \quad (1)$$

$m_{air}$

[kg/s] التدفق الكتلتي للهواء

$W_{inlet}$

[g/kg dry air] الرطوبة النوعية للهواء قبل وشيعة التبريد

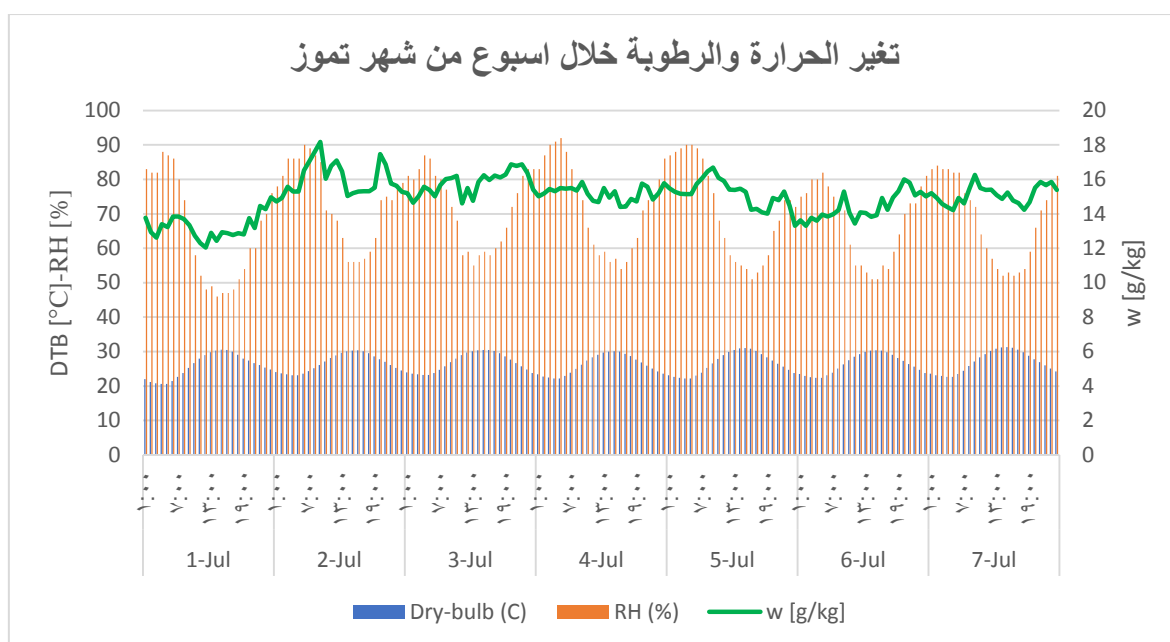
$W_{outlet}$

[g/kg] الرطوبة النوعية للهواء بعد وشيعة التبريد

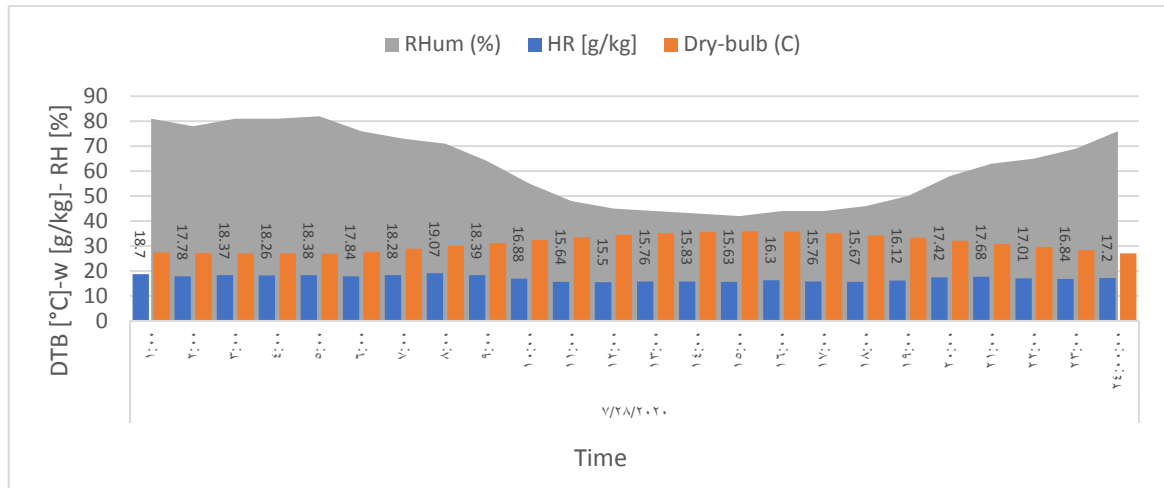
## 2- دراسة المتغيرات:

## 1-2 الشروط الخارجية للموقع:

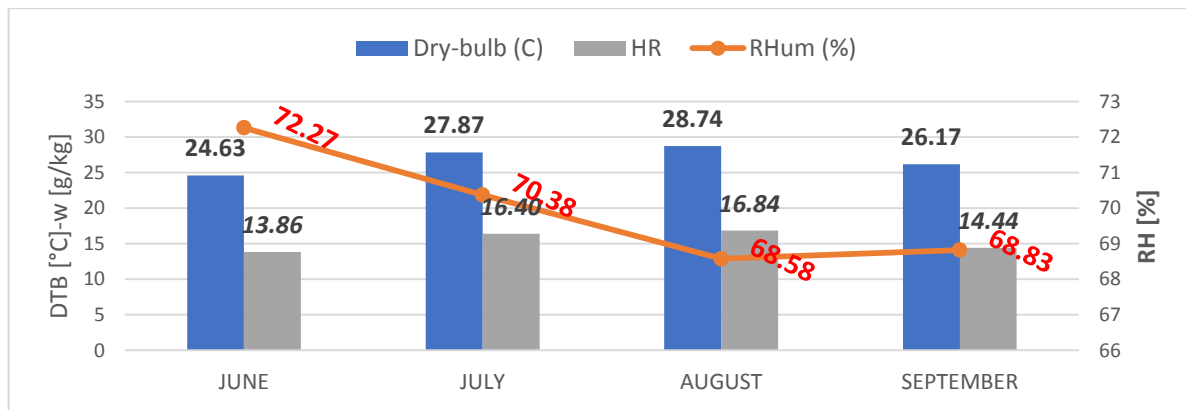
تبين المخططات التالية التغيرات الساعية في درجة الحرارة والرطوبة النسبية والنوعية للموقع المدروس خلال فترة الصيف حيث تظهر ارتفاع الرطوبة خلال الصيف ولاسيما خلال ساعات المساء والصباح في حين تنخفض خلال فترة الظهيرة.



الشكل 1 التغير الساعي لدرجة الحرارة والرطوبة صيفا خلال أسبوع من شهر تموز



الشكل 2 بيانات الطقس الساعية خلال اليوم التصميبي 29/تموز



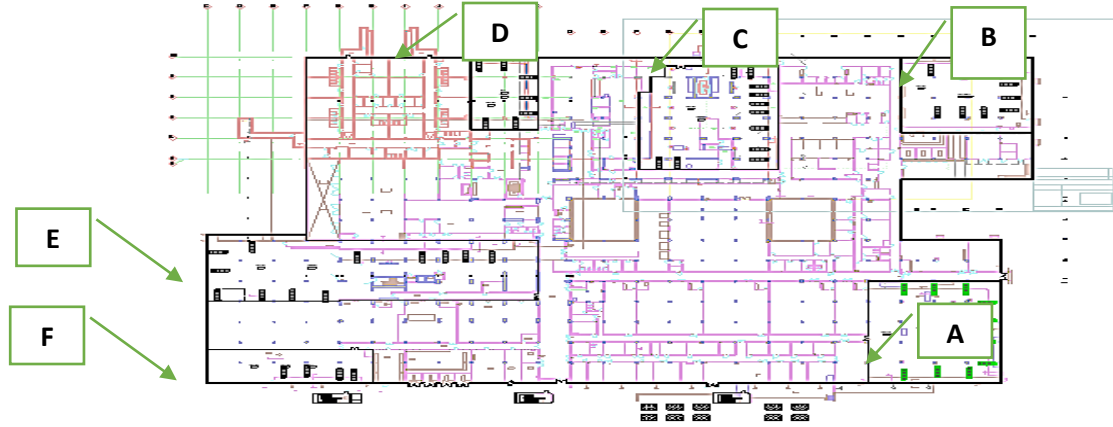
الشكل 3 متوسط الحرارة والرطوبة خلال الأشهر

## 2-2 شروط ومواصفات وحدات المعالجة:

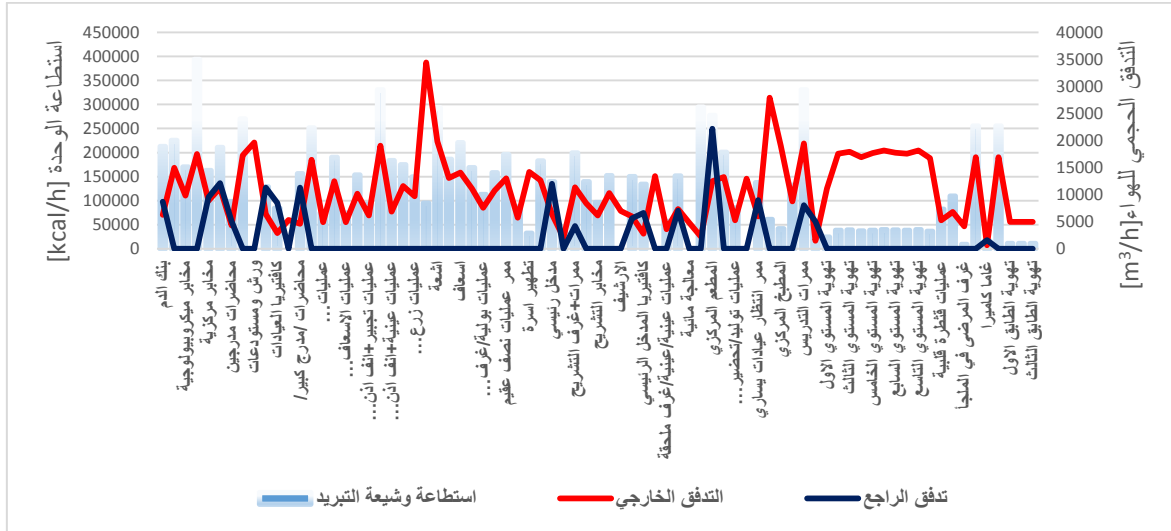
كما ذكرنا سابقاً فان الموقع المدرس يحوي /77/ وحدة معالجة موزعة ضمن غرف الميكانيك (الشكل 4) معظمها في القبو الثاني وقد تم تقسيم هذه الوحدات لأربع مجموعات تبعاً لشروط ومواصفات هذه الوحدات (الشكل 5):

- I. **وحدات مع حجرة مزج:** تشمل الوحدات التي تحوي على نظام استرجاع الطاقة عبر مزج تيار الهواء الخارجي مع تيار الراجع من بعض الحيزات التي تسمح الاشتراطات الصحية بمزج الراجع منها وعددها 17 وحدة
- II. **وحدات بدون حجرة مزج:** وتشمل غالبية الوحدات في الموقع والتي تقوم بإمداد الهواء الطازج بدون مزجه مع الراجع بعد تبريده الى الشروط التي يتطلبها كل حيز وعددها 36 وحدة
- III. **وحدات التهوية:** وتضم الوحدات التي تقوم بإمداد الحيزات بهواء تهوية دون أي تبريد كالوحدات المغذية لغرف الأرشيف والورش.. وعددها 6 وحدات.
- IV. **وحدات تلطيف الحيزات:** تضم الوحدات التي تقوم بإمداد الحيزات بهواء يخضع لتبريد طفيف عند  $27^{\circ}\text{C}$  كالوحدات المغذية لمستويات الطوابق وغرف الغسيل المركزي وعددها 18 وحدة

تم إهمال المجموعتين الأخيرتين في الدراسة على اعتبار أن محصلة المياه المتكاثفة من خلال هذه الوحدات ضئيلة أو معدومة، أي أن الدراسة اقتصرت على الوحدات في المجموعتين الأولى والثانية المنتجة للمياه المتكاثفة وعددها 53 وحدة.



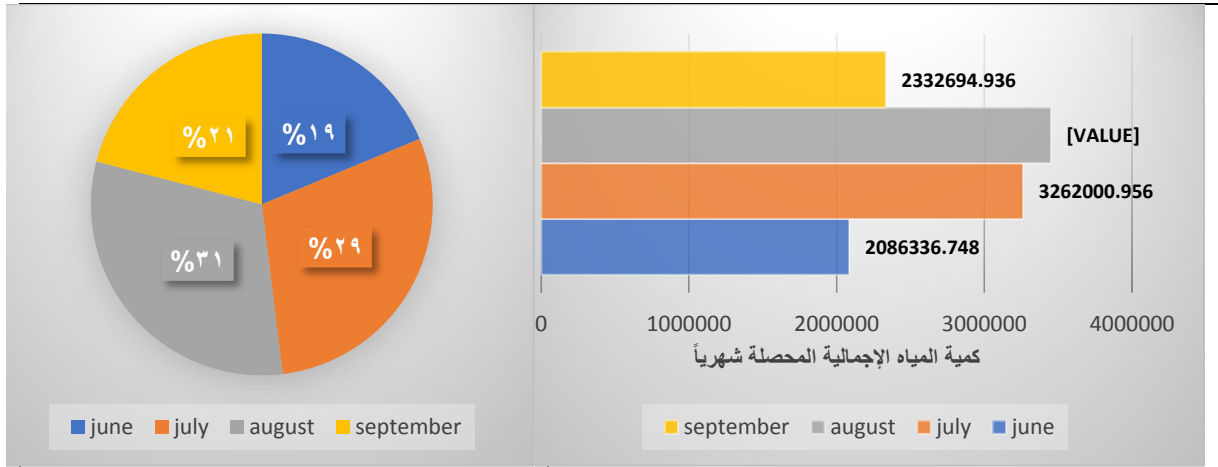
الشكل 4 توزع وحدات المعالجة في الموقع (54 وحدة) ضمن غرف الميكانيك في القبو الثاني لمشفى تشرين الجامعي، مرتبة بالأحرف اللاتينية



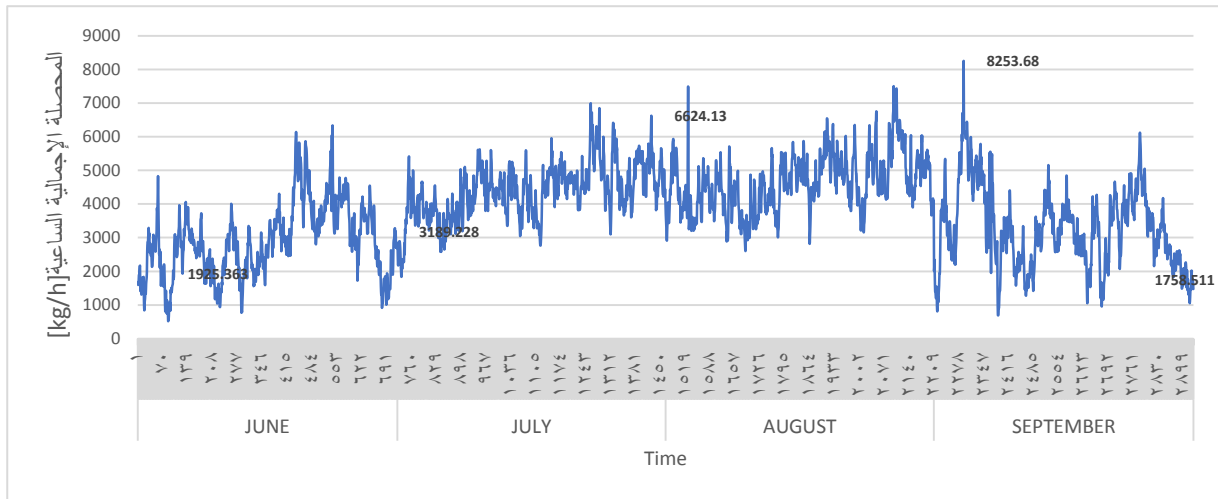
الشكل 5 مواصفات وحدات معالجة الهواء من الاستنطاعة ومعدلات تدفق الهواء الخارجي والراجع

### النتائج والمناقشة:

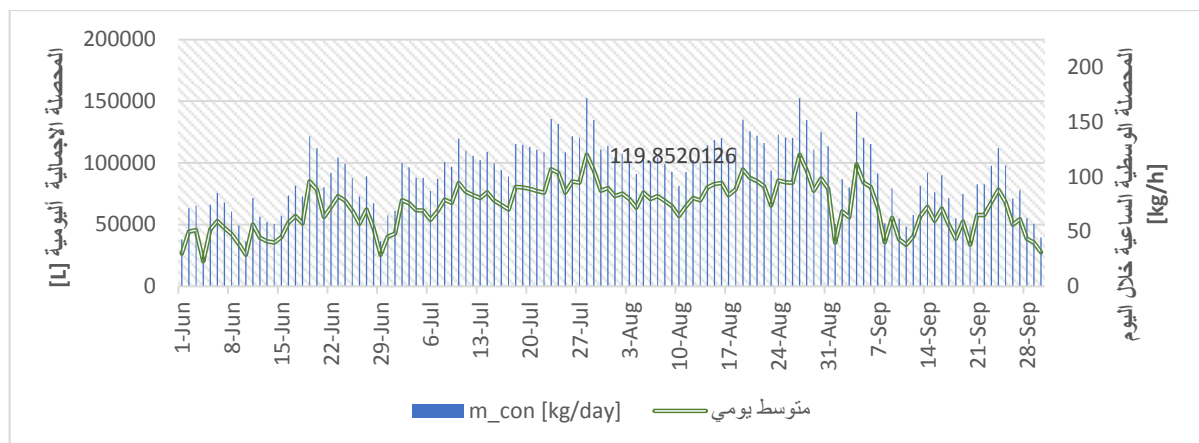
قمنا بدراسة تغير كمية المياه المحصلة خلال ساعات اليوم، وعلى مدار موسم التشغيل، وذلك تبعاً لتغير الشروط الخارجية من الحرارة والرطوبة ولمواصفات الوحدات، من خلال إجراء محاكاة ساعية لتغير محصلة المياه المتكاثفة لكل وحدة من الوحدات الـ 53، بالاعتماد على برنامج "TRNSYS" خلال الأشهر: حزيران، تموز، آب، أيلول، حيث بينت نتائج المحاكاة خلال أشهر التشغيل الصيفية الأربعة أن أكبر محصلة لكمية المياه المتكاثفة تكون خلال شهر آب بنسبة 31% من إجمالي الكمية المحصلة صيفاً والتي بلغت  $3,450,277 [L]$  يليها شهر تموز بنسبة 29%، كما هو موضح (الشكل 6). كما بلغت كمية المياه الإجمالية المحصلة من جميع وحدات المعالجة خلال موسم التشغيل  $11,131 [m^3]$ . كما قمنا باستيراد البيانات الناتجة عن المحاكاة إلى الإكسيل، ورسم مخطط تغير الكمية الاجمالية ساعياً خلال الصيف (الشكل 7).



الشكل 6 نسبة وكمية المياه المتكاثفة المحصلة شهرياً من جميع الوحدات



الشكل 7 المحصلة الإجمالية الساعية (من جميع الوحدات) [kg/h]

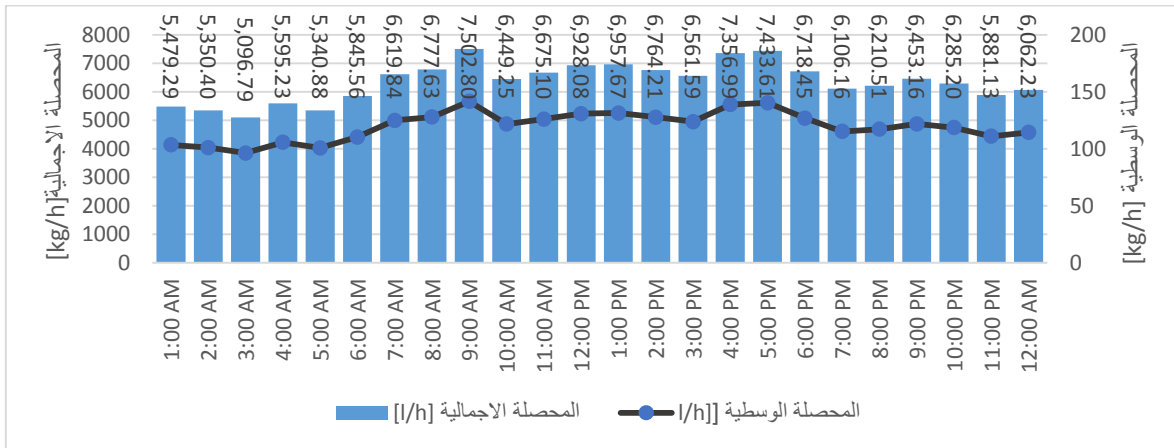


الشكل 8 المحصلة الاجمالية والوسطية اليومية للمياه المتكاثفة



## 3-2 المحصلة الوسطية للتكتافات:

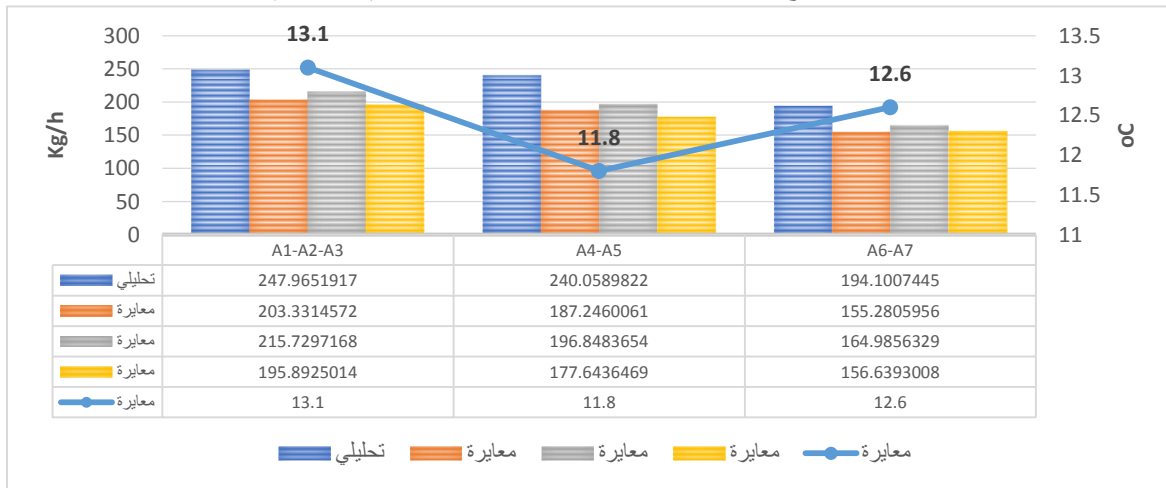
بينت النتائج أن محصلة كمية المياه التكتافة من اجمالي وحدات المعالجة خلال اليوم التصميمي [152,482 l/Day]، كذلك وجدنا ان المعدل الوسطي لكمية المياه التكتافة خلال هذا اليوم قد بلغ  $119.85 \text{ [kg/h]}$  والتي تكافئ  $0.03329 \text{ [kg/s]}$  وقد تم اعتماد هذه الكمية كقيمة وسطية لمقدار التدفق الكتلي للمياه التكتافة من كل وحدة معالجة والتي سيتم دراسة تأثيرها في عملية التبريد المسبق من خلال إمرارها ضمن المبادل الحراري المضاف لوحدة المعالجة.



الشكل 9 المحصلة الاجمالية والوسطية للمياه التكتافة في اليوم التصميمي

## المعايرة الكمية والحرارية:

قمنا بإجراء معايرة كتلية وحرارية للمياه التكتافة الناتجة عن مجموعة من وحدات المعالجة المتواجدة في غرف الميكانيك A حيث ترتبط كل مجموعة من الوحدات بمخرج تصريف واحد (A1-A2-A3)، (A4-A5)، (A6-A7)، وقد تم اجراء المعايرة خلال عدة أيام من أشهر الصيف تم اختزالها خلال الأيام Jul/28 - Aug/12 - Sep/05 حيث يبين الجداول نتائج المعايرة ودرجات الحرارة المقاسة للمياه، (الشكل 10)



الشكل 10 المعايرة الكتلية والحرارية للمياه التكتافة في الموقع

**النماذج المقترحة لاستغلال المياه المتكاثفة:**

تم إجراء دراسة تصميمية لمبادل حراري بزعة حلقية من النوع التكاملية ((Compact heat exchanger يتم وضعه قبل وشيعة التبريد ضمن وحدة المعالجة.

وقد تم تصميم المبادل الحراري المطبق في النموذج بواسطة برنامج "EES" (Engineering equation solver) تمت الدراسة التصميمية للمبادل الحراري مع الأخذ بالاعتبار النماذج التالية المقترحة:

**➤ النموذج الأول: (الموضح بالشكل 12)، والممثل نتائجه على المخطط بالشكل 16**

ويتم فيه إمداد المياه المتكاثفة المحصلة من 6 وحدات معالجة بمعدل تدفق وسطي لكل وحدة معالجة 0.03329 [kg/s]، أي بما يحقق تدفق كتلي لوسيط التبريد (المياه المتكاثفة) ضمن المبادل المضاف **0.2[kg/s]** مما يسمح بإمداد 9 وحدات معالجة من أصل 53 وحدة (9 مجموعات كل مجموعة مؤلفة من 6 وحدات).

**النموذج الثاني: (الموضح بالشكل 13)، والممثل نتائجه على المخطط الموضح بالشكل 17**

في هذا النموذج يتم تجميع المياه المتكاثفة المحصلة من جميع الوحدات (53 وحدة منتجة) ثم إمدادها الى المبادل الحراري المضاف ضمن وحدة معالجة واحدة بكامل التدفق الكتلي المقابل أي بمعدل **1.76437[kg/s]** ( $0.03329 \text{ [kg/s]} * 53$  وحدة)

**النموذج الثالث: (الموضح بالشكل 14)**

يتم فيه تجميع المياه المتكاثفة المحصلة من كل وحدة معالجة على حدا خلال ساعات اليوم ثم توجيهها الى المبادل المضاف للوحدة نفسها بتدفق كتلي  $0.2 \text{ [kg/s]}$  (أي أن كل وحدة معالجة تقوم بإمداد المبادل المضاف ضمنها بالمياه المتكاثفة الناتجة عن نفس الوحدة) وذلك لعدد محدد من الساعات المقابلة للكمية المحصلة والتي توافق مدة 4 ساعات تقريباً، يمكن استغلالها في أوقات ذروة الحمل، تم حسابها من خلال العلاقة.

$$N = \frac{\bar{m} \times (T_{day})}{m}$$

حيث:  $\bar{m}$  القيمة الوسطية لكمية المياه المتكاثفة والتي تم اعتمادها في الدراسة،  $\bar{m}$  التدفق الكتلي ضمن المبادل الحراري،  $T_{day}$  عدد ساعات التجميع خلال اليوم،  $N$  عدد الساعات لاستهلاك الكمية المحصلة

■ تم اعتبار درجة حرارة المياه المتكاثفة من وحدات المعالجة كقيمة وسطية من القيم المقاسة في الموقع عند  $T_w = 12.5^\circ\text{C}$ .

■ تم اعتبار شروط وحدة المعالجة التي تم إضافة المبادل الحراري المدروس اليها عند قيم وسطية من جهة التدفق الحجمي، ودرجة الحرارة الجافة والرطوبة للهواء المعالج الذي تقوم هذه الوحدة بتأمينه، حيث تم اعتبار هذه الشروط عند:

$$m_{air} = 10000 \text{ [m}^3/\text{h]}, \quad TDB = 12.4 [^\circ\text{C}], \quad TWB = 12.3 [^\circ\text{C}].$$

■ تم اعتبار الشروط الخارجية عند درجة الحرارة الجافة والرطوبة التالية:

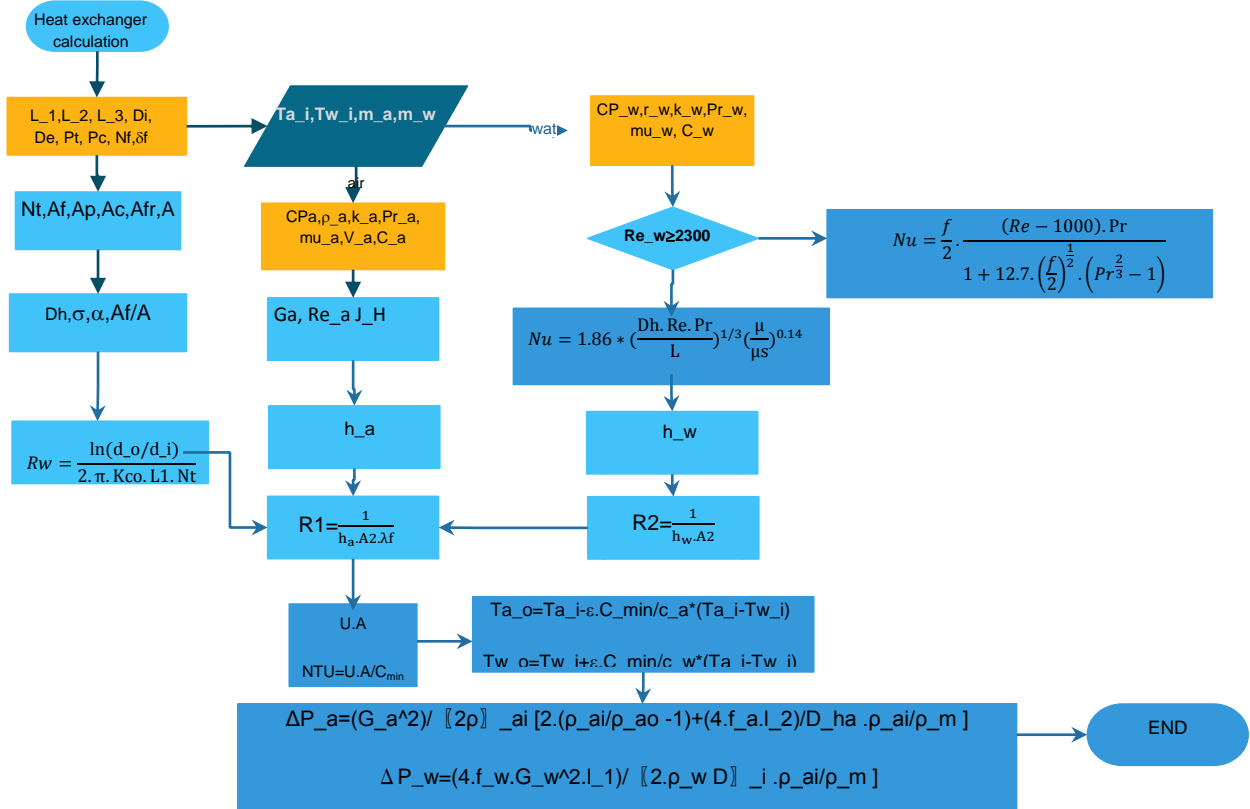
$$TDB1 = 28 [^\circ\text{C}], \quad TWB1 = 23.36 [^\circ\text{C}].$$

■ تم اعتبار الأبعاد التصميمية للمبادل المدروس، والشروط الأولية وفق الجدول 1 التالي:

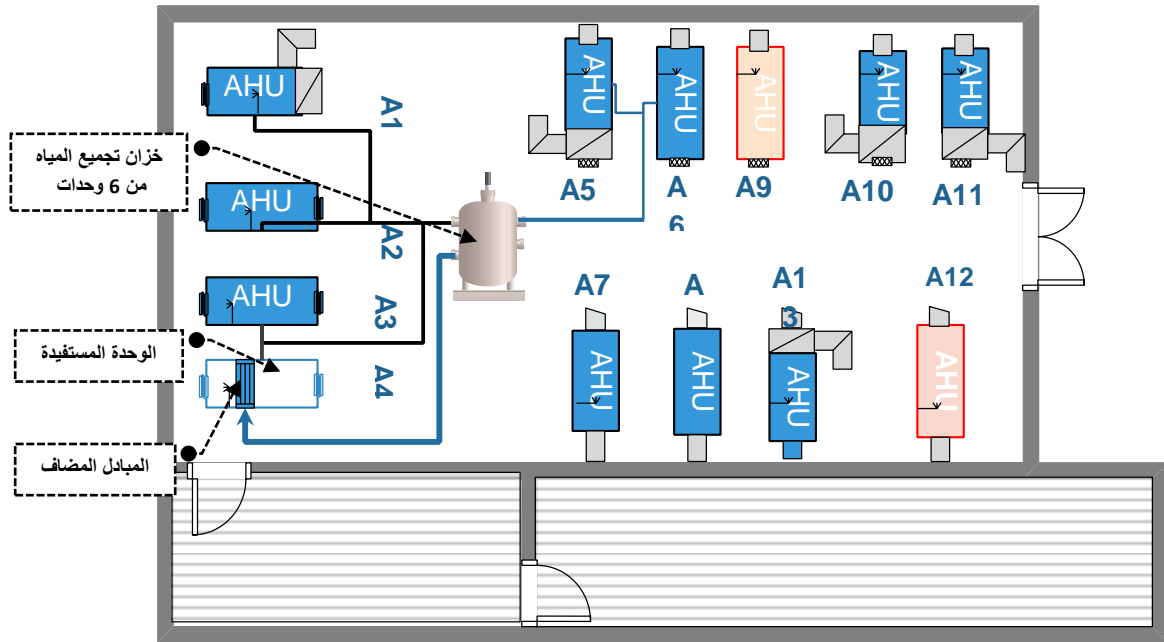
جدول 1 المعطيات الخاصة بالمبادل المدروس

المعطيات		
$D_e$	0.02337 [m]	قطر الزعنفة
$D_i$	0.00815 [m]	قطر الأنبوب الداخلي
$D_o$	0.00965 [m]	الخارجي
$fin_{pitch}$	289 [1/m]	عدد الزعنفة
$fin_{thk}$	0.00046 [m]	سماكة الزعنفة
$L_1$	1.7 [m]	طول المبادل
$L_2$	0.15 [m]	سماكة المبادل
$L_3$	1.5 [m]	ارتفاع المبادل
$\rho_c$	0.02032 [m]	الخطوة العرضية
$\rho_t$	0.02477 [m]	الخطوة الطولية
$m'_a$	3.256 [kg/s]	التدفق الكتلي للهواء
$m'_w$	0.2 [kg/s]	التدفق الكتلي للماء
$T_{ai}$	28 [C]	درجة حرارة الدخول للهواء
$T_{wi}$	12.5 [C]	درجة حرارة الدخول للماء

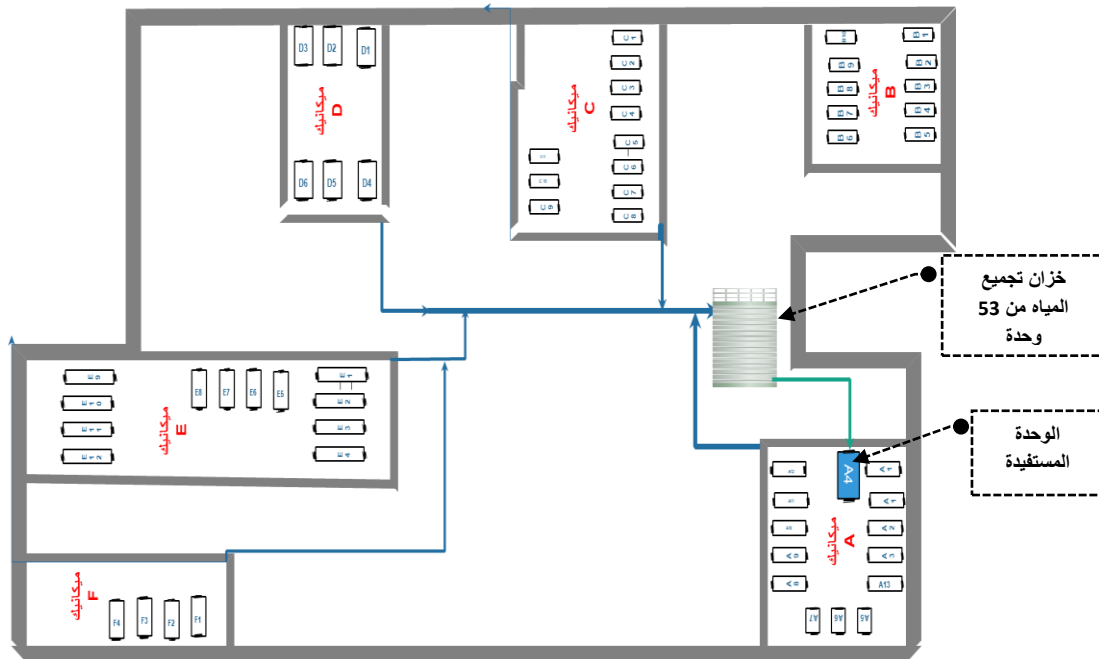
يبين الشكل 8 مخطط شبكي للعلاقات المستخدمة [9] في الدراسة التصميمية للمبادل الحراري المقترح



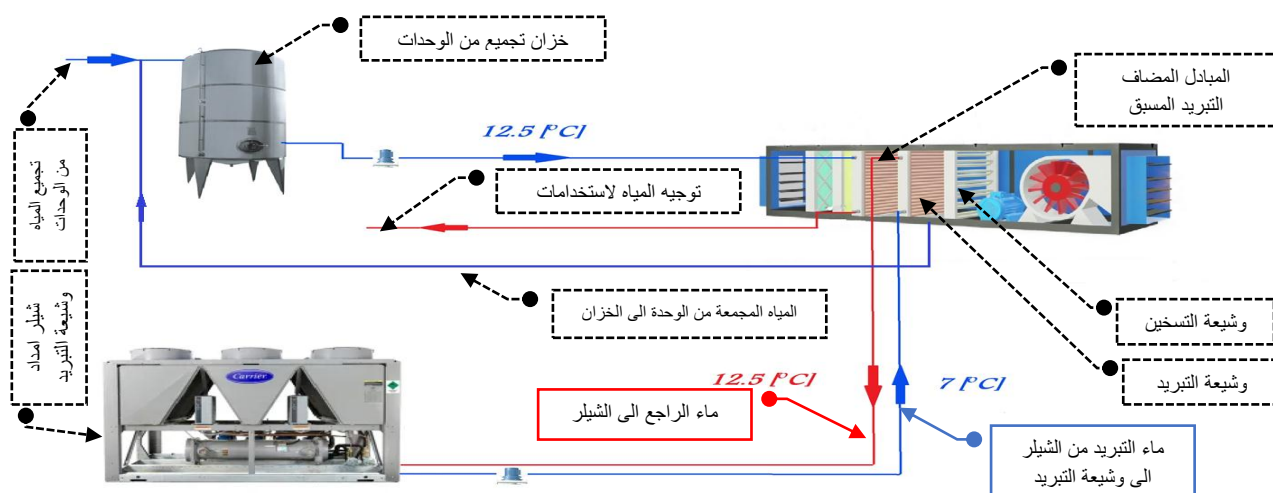
الشكل 11 مخطط الدراسة التصميمية للمبادل المقترح



الشكل 12 النموذج الأول المقترح لإمداد المبادل بالمياه المجمعة من 6 وحدات



الشكل 13 النموذج الثاني المقترح لإمداد المبادل المضاف ضمن الوحدة المستفيدة بالمياه الناتجة ساعياً عن جميع الوحدات



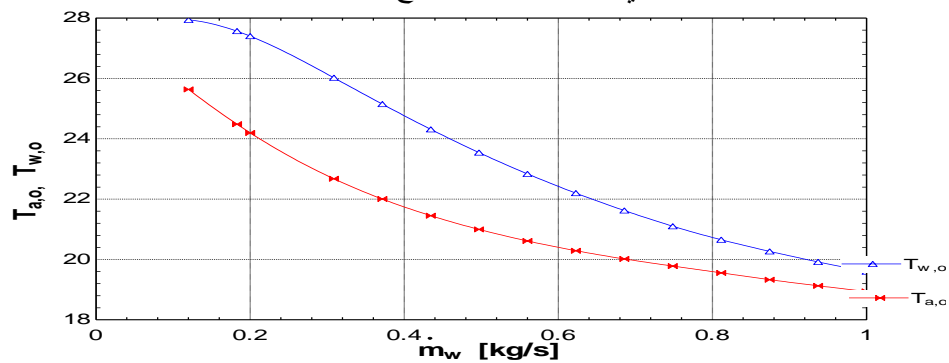
الشكل 14 مخطط توزيع المياه المجمع الى المبادل المضاف ضمن وحدة المعالجة للنماذج الثلاثة

يبين الجدول 2 نتائج الدراسة التصميمية للمبادل الحراري المقترح وذلك من أجل التدفق  $m_w=0.2$  [kg/s]

جدول 2 نتائج الدراسة التصميمية للمبادل المقترح

الحسابات التصميمية		
A	175.6 [m <sup>2</sup> ]	المساحة الإجمالية
A <sub>fin</sub>	156.6 [m <sup>2</sup> ]	مساحة الزعنفة
AP	18.96 [m <sup>2</sup> ]	المساحة الرئيسية
Ac	1.372 [m <sup>2</sup> ]	المساحة الأصغرية للجريان الحر للهواء
N <sub>t</sub>	443.8	عدد الأنابيب
sigma	0.538	نسبة الجريان الحر الى مساحة المجابهة
Alpha	459 [1/m]	نسبة سطح الانتقال الحراري الى حجم المبادل
A <sub>fin</sub> \A	0.892	مساحة الزعنفة الى مساحة المبادل
الحسابات الحرارية		
Re <sub>a</sub>	1392	رقم رينولدز لتيار الهواء
j <sub>H</sub>	0.01026	معامل كالبرن
h <sub>a</sub>	70.88 [W/m <sup>2</sup> -C]	معامل الانتقال الحراري لجانب الهواء
Re <sub>w</sub>	57.82	رقم رينولدز لتيار الماء
Nusselt	3.786	رقم نوسلت لتيار الماء
h <sub>w</sub>	328 [W/m <sup>2</sup> -K]	معامل الانتقال الحراري لجانب الماء
U. A	4094 [W/C]	الموصلية الحرارية الإجمالية × مساحة التبادل
NTU	4.891	NTU
ε	0.9613	الفعالية الحرارية
Tao	24.2 [C]	حرارة الخروج من المبادل لتيار الهواء
T <sub>wo</sub>	27.4 [C]	حرارة الخروج من المبادل لتيار الماء
Δp <sub>a</sub>	16.1 [Pa]	هبوط الضغط لتيار الهواء
Δp <sub>w</sub>	8.665 [Pa]	هبوط الضغط لتيار الماء ضمن الأنابيب

كما يبين الشكل 15 تأثير التدفق الكتلي لمياه التكاثف المارة ضمن المبادل الحراري على أداء المبادل حيث أنه عند زيادة هذا التدفق تنخفض درجة الحرارة لتياري الهواء والماء عند مرج المبادل.



الشكل 15 تأثير التدفق الكتلي لماء التكاثف على أداء المبادل الحراري

يبين الجدول 3 القيم المحققة من التبريد المسبق للنموذجين الأول والثالث من أجل التدفق الكتلي للمياه ضمن المبادل كما يبين الجدول 4 القيم المحققة من التبريد المسبق للنموذج الثاني من أجل التدفق الكتلي  $m_w=0.2$  [kg/s]  $m_w=1.76$  [kg/s]

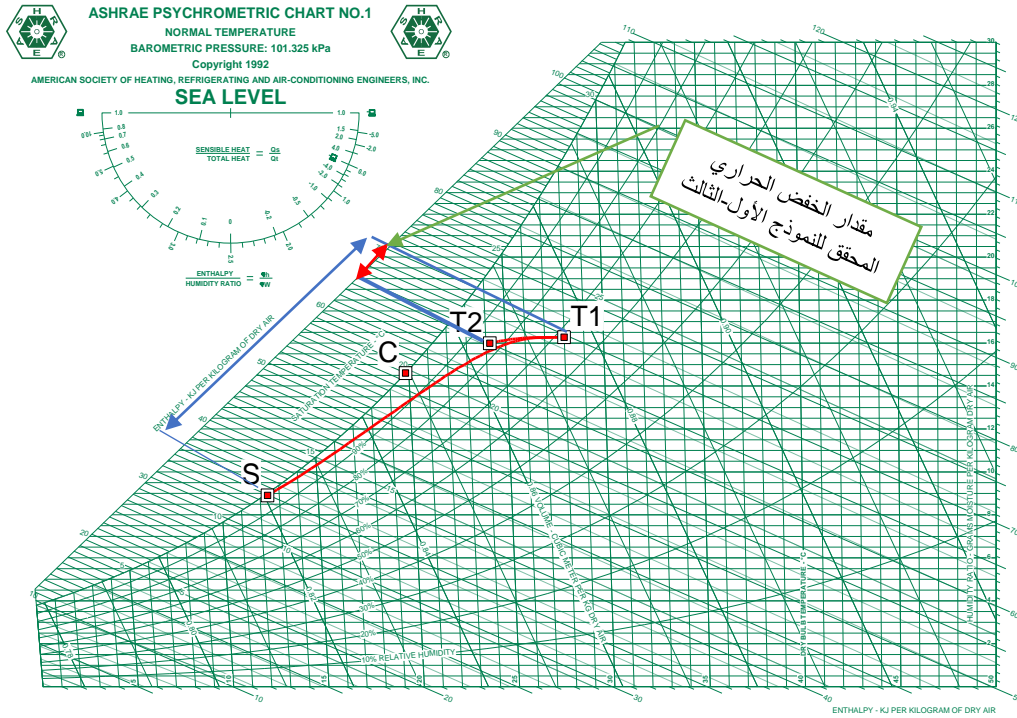
المبادل المضاف		وشية التبريد		نتائج النموذج الأول والثالث المقترح من أجل تدفق كتلي مار ضمن المبادل $m_w=0.2$ [kg/s]		
	بعد	قبل	بعد	قبل		
°C	24.2	28	12.4	28	الحرارة الجافة للهواء	TDB
°C	22.12	23.36	12.3	23.36	الحرارة الرطبة للهواء	TWB
%	83.7	68	98.9	68	الرطوبة النسبية	RH
°C	27.16	12.5	12.5	7	حرارة الماء	Tw
Kg/s	3.25		3.25		التدفق الكتلي للهواء	$m_a$
Kg/s	0.2		4.03		التدفق الكتلي للماء	$m_w$
Kw	15.054		124.14		استطاعة التبريد المحققة	Q
%	12.23				معدل الانخفاض في الاستطاعة	$\lambda$

جدول 3 نتائج الحسابات الحرارية للمبادل المضاف تبعاً للنموذجين الأول والثالث ومقارنته مع وشية التبريد لوحدة المعالجة

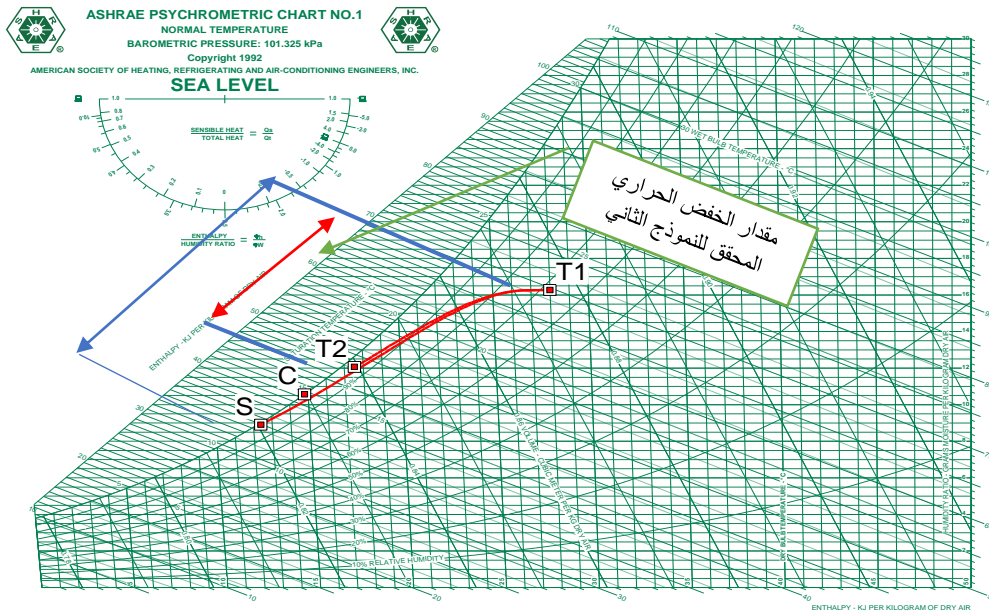
المبادل المضاف		وشية التبريد		نتائج النموذج الثاني المقترح من أجل تدفق كتلي مار ضمن المبادل $m_w=1.76$ [kg/s]		
	بعد	قبل	بعد	قبل		
°C	17.54	28	12.4	28	الحرارة الجافة للهواء	TDB
°C	17.095	23.36	12.3	23.36	الحرارة الرطبة للهواء	TWB
%	95.8	68	98.9	68	الرطوبة النسبية	RH
°C	19.33	12.5	12.5	7	حرارة الماء	Tw
Kg/s	3.25		3.25		التدفق الكتلي للهواء	$m_a$
Kg/s	1.76437		4.03		التدفق الكتلي للماء	$m_w$
Kw	69.816		124.14		استطاعة التبريد المحققة	Q
%	56.24				معدل الانخفاض في الاستطاعة	$\lambda$

جدول 4 نتائج الحسابات الحرارية للمبادل المضاف تبعاً للنموذج الثاني ومقارنته مع وشية التبريد لوحدة المعالجة

كما يبين الشكل 16 تمثيل الانخفاض الحراري المحقق للنموذجين الأول والثالث على السايكومتري وللنموذج الثاني في الشكل 17



الشكل 16 تمثيل الانخفاض الحراري المحقق للنموذجين الأول والثالث على مخطط السايكومتري



الشكل 17 تمثيل الانخفاض الحراري المحقق للنموذج الثاني على مخطط السايكومتري

### الوفر المحقق من النماذج المدروسة:

#### □ النموذج الأول:

كما هو مبين من القيم الموضحة في الجدول أن مقدار الخفض المحقق في الاستطاعة كان 12.23% ومعدل الطاقة الموفرة [Kw.h] 15.045 لكل مجموعة أي ما يعادل 120.36 [Kw.h] للوحدات التسعة والتي تكافئ تقريباً 38.5 TR ما يحقق وفعراً في استطاعة الشيلر بنسبة 12.83% وانخفاض في كامل استطاعة المنشأة بنسبة 1.3%

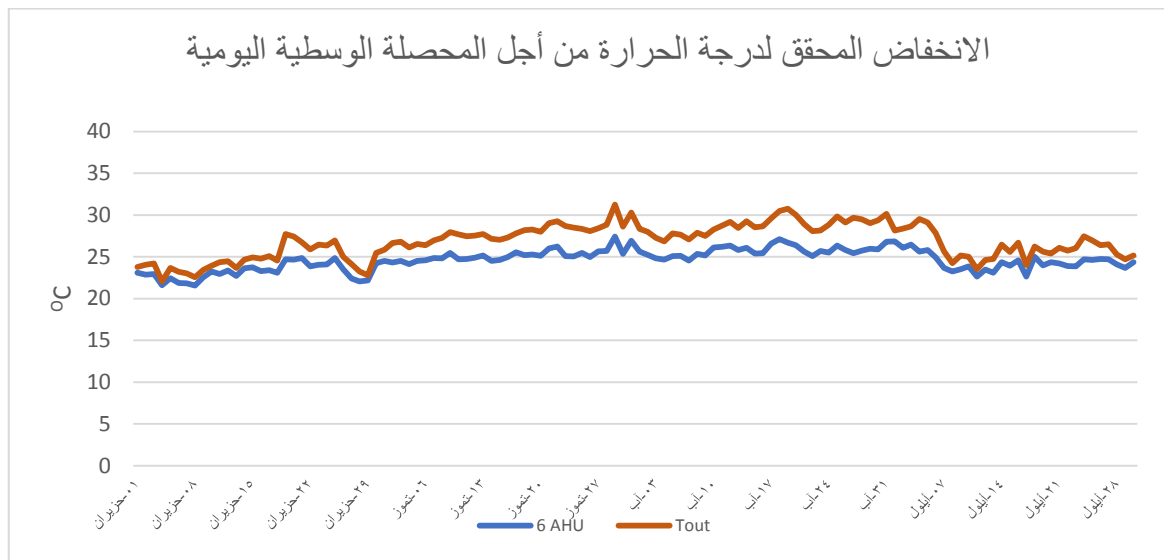
#### □ النموذج الثاني:

كما هو مبين من القيم الموضحة في الجدول الثاني أيضاً يبين أن مقدار الخفض المحقق في الاستطاعة كان 46.78% ومعدل الطاقة الموفرة [Kw.h] 69.816 والتي تكافئ تقريباً 19.85TR ما يحقق وفعراً في استطاعة الشيلر الواحد بنسبة 6.617% وانخفاض في كامل استطاعة المنشأة بنسبة 0.66%

#### □ النموذج الثالث:

ومن أجل نفس القيم الموضحة في الجدول حيث مقدار الطاقة الموفرة [Kw.h] 15.045 لكل وحدة معالجة أي بمقدار 226.72TR لجميع الوحدات وبما يحقق وفعراً في استطاعة الشيلر بنسبة 75.574% والتي تقابل انخفاضاً عن كامل المنشأة بنسبة 7.557% خلال فترة امداد المياه المحصلة أي خلال 4 ساعات يومياً.

□ كما قمنا اجراء الحساب من أجل القيم الوسطية من المياه المتكاثفة المحصلة خلال كل يوم وبناءً على التغيرات في هذه الكمية على مدار الصيف 122 يوم (الشكل 8) والمقابلة لدرجات الحرارة، بحيث يتم تجميع الكمية المحصلة من كل 6 وحدات حيث كانت النتائج مقارنة للنموذج الأول ومتوسط الحرارة والانخفاض في الطاقة المحققة هي على التوالي [°C] 24.63، 11.7%، كما يبينه الشكل 18



الشكل 18 تغير درجة الحرارة الناتجة عن ملف التبريد الأولي ومقارنته مع الحرارة الخارجية تبعا لتغير التدفق الوسطي للمياه المحصلة يوميا من 6 وحدات



## الوفر المحقق للنماذج المدروسة في الكلفة التشغيلية للمنشأة:

جدول خطأ! لا يوجد نص من النمط المعين في المستند. 1- الفعالية الجزئية للشيلر عند اجمال متغيرة

Load %	Air Temperature [C]	EER	Operation Time %
100	45	8.047	1
75	27	15.32	42
50	18	21.66	45
25	12.7	24.84	12

- قمنا بحساب معامل الحمل الجزئي الإجمالي الغير قياسي "NPLV" وأوجدنا معامل أداء الشيلر الإجمالي من العلاقة [10]:

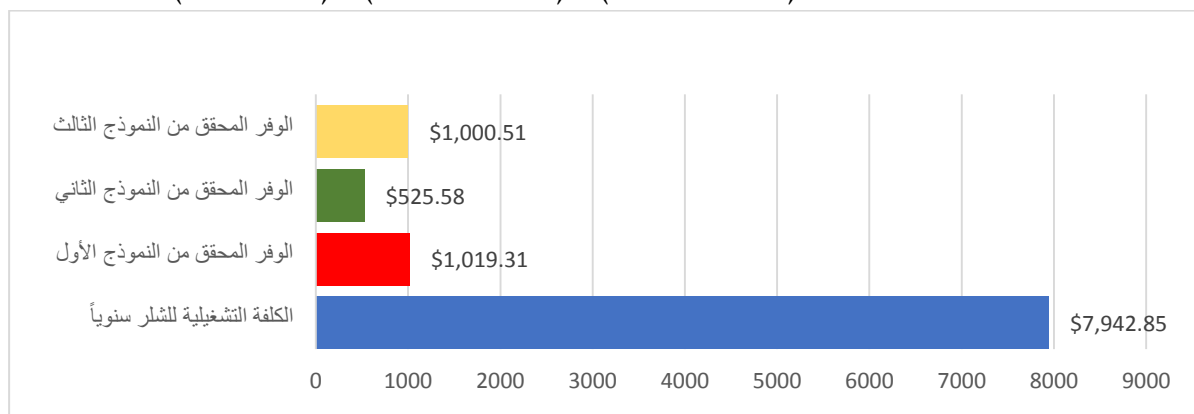
(Nonstandard part load value):

$$NPLV = \sum_i COP_i \cdot Operation Time_i$$

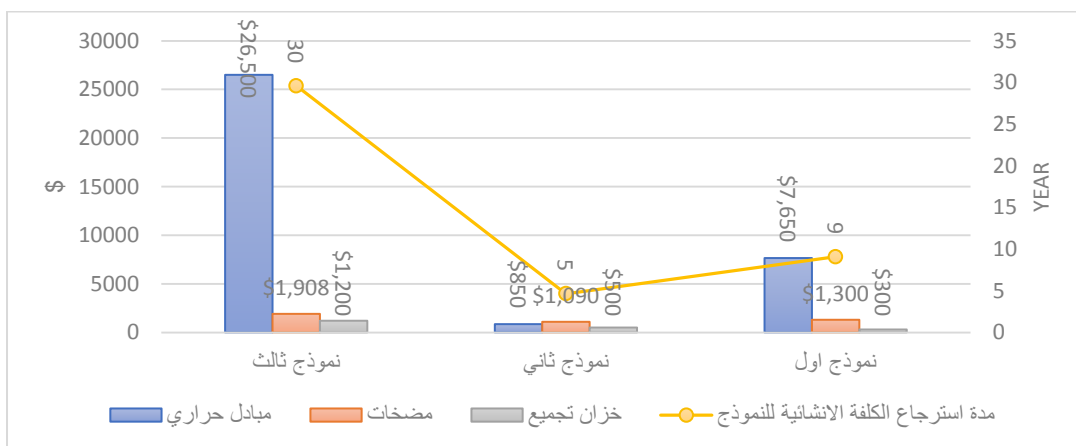
- تم حساب الطاقة وقيمة الاستهلاك من معامل الاستهلاك السنوي او الموسمي "AEC" للنماذج المقترحة ومقارنتها مع الكلفة التشغيلية السنوية للشيلر [10]

Annual energy cost:

$$AEC = NPLV \times (\text{Energy rate}) \times (\text{Avg chiller load}) \times (\text{Operating hour})$$



الشكل 19 الكلفة التشغيلية للشيلر ومقارنتها مع الوفر المحقق في الكلفة للنماذج المقترحة



الشكل 20 الكلفة التأسيسية للنماذج المدروسة وفترة استرجاعها

**التحليل الكيميائي:**

قمنا بإجراء تحليل مخبري لعينة من المياه المتكاثفة، حيث أظهر التحليل الكيميائي لعينة مياه التكاثف عدم صلاحيتها للاستخدام البشري نتيجة احتوائها على بعض الملوثات الناتجة عن تكاثر البكتيريا والفطريات في المرشحات الخاصة بمجموعة وحدات المعالجة، حيث لوحظ في التحليل المخبري. بالمقابل انخفاض في مؤشر "TDS" للمواد الصلبة المنحلة وانخفاض في الشوارد والناقلية الكهربائية مما يتيح استغلالها للتطبيقات الصناعية.

جدول -خطأ! لا يوجد نص من النمط المعين في المستند.-2 نتائج التحليل الكيميائي لعينة من المياه المتكاثفة مأخوذة من الموقع

نتائج القياس	الحد الأقصى	الواحدة	الرمز	التحليل
0.61	5	NTU	Turb	العكارة
6.75	6.5~9	-	PH	الرقم الهيدروجيني
29.3	2000	$\mu\text{S}/\text{Cm}$	EC	الناقلية الكهربائية
14	1200	mg/l	TDS	المواد الصلبة المنحلة
1.1	50	mg/l	NO3	النترات
0.026	0.2	mg/l	NO2	النتريت
1.49	0.5	mg/l	NH4	الأمونيوم
التحليل الجرثومي				
50	0	CFU/100ml	TC	كوليفورم كلي

**الاستنتاجات والتوصيات:****الاستنتاجات:**

أظهرت الدراسة الكمية الكبيرة المهذورة من المياه المتكاثفة التي يمكن تحصيلها من وحدات معالجة الهواء لأنظمة التكييف المركزي والتي يمكن استغلالها في عملية التبريد المسبق لاسيما للأنظمة التي تعتمد على الهواء الخارجي دون المزج مع الراجع، وقد بينت الدراسة النتائج التالية:

- كمية المياه التي يمكن تحصيلها من وحدات المعالجة في مشفى تشرين الجامعي خلال موسم التشغيل صيفاً، كانت  $11,131.66 \text{ [m}^3\text{]}$  من المياه.
- أكبر محصلة لكمية المياه المتكاثفة تكون في شهري تموز وآب، حيث بلغت نسبة التحصيل خلال هذين الشهرين 29-31% على التوالي من اجمالي الكمية المحصلة خلال فترة التشغيل صيفاً.
- متوسط التحصيل اليومي من المياه المتكاثفة لإجمالي وحدات المعالجة خلال بلغت  $91,243.13$  لتر
- متوسط كمية المياه المتكاثفة من كل وحدة معالجة خلال فترة الصيف بلغت  $71.774 \text{ [kg/h]}$ ، ومتوسط كمية المياه المتكاثفة خلال اليوم التصميمي  $119.85 \text{ [kg/h]}$  أن متوسط درجة الحرارة لهذه المياه  $12.5 \text{ [}^\circ\text{C]}$
- بينت نتائج المعايرة الكمية والقياس الحراري في الموقع ان معدل الخطأ في الكمية بين القيم المحسوبة والمقاسة كان عند 17%، وأن متوسط درجة الحرارة لهذه المياه  $12.5 \text{ [}^\circ\text{C]}$

- مقدار الخفض الحراري الذي يحدثه المبادل الحراري المضاف عند امرار مياه التكاثف ضمنه عند شروط وحدة المعالجة قد حققت انخفاض في حرارة الهواء من  $28^{\circ}\text{C}$  إلى  $24.2^{\circ}\text{C}$  وخفض في استنطاعة الوحدة بمقدار 12.23%، للنموذج الأول.
  - مقدار الخفض الحراري الذي يحدثه المبادل الحراري المضاف عند امداد مياه التكاثف ضمنه قد حققت انخفاض في حرارة الهواء من  $28^{\circ}\text{C}$  إلى  $17.54^{\circ}\text{C}$  وخفض في استنطاعة الوحدة بمقدار 56.24%، للنموذج الثاني.
  - بينت الدراسة ان امداد المياه على كل وحدة معالجة على حدا بعد تجميعها على مدار اليوم يحقق وفراً على مستوى المنشأة بنسبة 7.557% خلال فترة الامداد الا انها لا تعتبر ذات جدوى اقتصادية لناحية الكلفة التأسيسية مقابل الوفر في الكلفة التشغيلية عن كامل المنشأة.
  - امداد المبادل المضاف بالكمية الوسطية من المياه المتكاثفة المحصلة خلال كل يوم قد حققت نتائج مقارنة للنموذج الأول، حيث كان متوسط الحرارة والانخفاض في الطاقة المحققة هي على التوالي  $24.63^{\circ}\text{C}$ ، 11.7%.
  - تعتبر الدراسة المقدمة في البحث قابلة للتنفيذ ضمن الموقع المدروس على اعتبار تواضع معظم وحدات المعالجة المدروسة ضمن مستوى طابقي واحد (القبو الثاني) وتوزع هذه الوحدات ضمن غرف ميكانيك متقابلة كما يظهره الشكل 3 تحوي غالبيتها عدد أكبر من 6 وحدات ما يجعل النموذجين الأول والثالث أكثر ملائمة للتطبيق.
- التوصيات:**
- توصي الدراسة المقدمة بعدم هدر المياه المتكاثفة من وحدات المعالجة وضرورة تجميعها، كما توصي بضرورة الاستفادة من المياه الناتجة من عملية التكاثف للهواء في أنظمة التكييف على اختلاف انواعها ولاسيما من وحدات معالجة الهواء (AHU) لأنظمة التكييف المركزي، على اعتبار أن هذه الوحدات تنتج كميات أكبر من المتكاثفات ضمن مساحة تواضع واحده مما يسهل من عملية تجميعها.
  - توصي الدراسة بتعميم نظام تجميع المياه المتكاثفة الناتجة عن أنظمة التكييف على اختلاف نواعها بما فيها أنظمة التكييف المجرأة (Split unit) ودراسة الأثر التبريدي الممكن تحصيله من خلال إمرار هذه المياه على وشيعة التكييف الخاصة بالوحدة ضمن القطعة الخارجية
  - امكانية الاستفادة من المياه بشكل مباشر أو بشكل لاحق بعد استخدامها في التطبيقات المذكورة سابقاً وذلك في عدة مجالات: لأغراض صناعية، للسقاية، ضمن دورات المياه...

## References:

- [1] Salem Algeria, C.A. Saleela, M. Abdul Mujeebub. Air-conditioning condensate recovery and applications—Current developments and challenges ahead. Elsevier journal. Sustainable Cities and Society 37 (2018) 263–274
- [2] Glawe, D., Wooten, M., & Lye, B. (2016). Quality of condensate from air-handling units. ASHRAE Journal, 58(no. 12), 14–23.
- [3] Loveless, K. J., Farooq, A., & Ghaffour, N. (2013). Collection of condensate water: Global potential and water quality impacts. Water Resources Management, 27(no. 5), 1351–1361.
- [4] Magrini, A., Cattani, L., Cartesegna, M., & Magnani, L. Production of water from the air: The environmental sustainability of air-conditioning systems through a more intelligent use of resources. The advantages of an integrated system. Energy Procedia, (2015a).78, 1153–1158.

- [5] Abdulghani A. Al-Farayedhi □, Nasiru I. Ibrahim, P. Gandhidasan. Condensate as a water source from vapor compression systems in hot and humid regions. Elsevier journal. Desalination 349 (2014) 60–67
- [6] Nasiru I. Ibrahim a, Abdulghani A. Al-Farayedhi b, P. Gandhidasan b. Experimental investigation of a vapor compression system with condenser air pre-cooling by condensate. Applied Thermal Engineering 110 (2017) 1255–1263
- [7] Dusan Licina, Chandra Sekhar\* Energy and water conservation from air handling unit condensate in hot and humid climates. Elsevier journal. Energy and Buildings 45 (2012) 257–263.
- [8] D.B. Jani, Manish Mishra, P.K. Sahoo. Experimental investigation on solid desiccant–vapor compression hybrid air-conditioning system in hot and humid weather. Elsevier journal Applied Thermal Engineering 104 (2016) 556–564
- [9] **Ramesh K. Shah.** *Fundamentals of Heat Exchanger.* Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey Published simultaneously in Canada-2003 John Wiley & Sons, Inc.
- [10] **Shan K. Wang.** *HANDBOOK OF AIR CONDITIONING AND REFRIGERATION.* Copyright © 2001, 1993 by The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [11] **HoSung Lee.** *Thermal Design Heat Sinks, Thermoelectrics, Heat Pipes, Compact Heat Exchangers, and Solar Cells.* 2010 by John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.