

## اختبار أداء جهاز نزع الرطوبة باستخدام السيلكا جلّ مصنع محلياً

د. عدنان عمران\*

د. فادي علي\*\*

م. عزيز الحزوري\*\*\*

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٣/٣/٨ . قُبِلَ للنشر في ٢٠٢٣/٩/٢٦)

### □ ملخص □

تم في هذه الدراسة تصنيع محلي لدولاب مجفف معدّل يتكون من قطاعي تجديد متقابلين وقطاعين لمعالجة الهواء الداخل، حيث أنه في جميع الدراسات السابقة تم استخدام دولاب مكون من قطاعين فقط للتجديد والمعالجة. تم تقييم أداء الدولاب من خلال مجموعة من البارامترات مثل (معدل إزالة الرطوبة، ومعامل إزالة الرطوبة، ومعدل الحساسية الطاقية، ومردود الدولاب المجفف في الجانب الذي يدخل منه هواء المعالجة، وبجانب هواء التجديد)، ودراسة تأثير مجموعة من المتغيرات والعوامل مثل درجة حرارة هواء التجديد ضمن المجال  $40-60^{\circ}\text{C}$  ومعدل رطوبة داخلية ضمن المجال  $(12-20)\text{g/kg}$  عند ثلاثة معدلات تدفق كتلية للهواء  $(0.3, 0.4, 0.5 \text{ kg/s})$  وعند سرعة دوران للدولاب المجفف  $(20\text{rph})$ ، وقد استخدم السيلكا جلّ كمادة تجفيف صلبة ضمن دولاب التجفيف.

بيّنت النتائج أن أعلى معدل لإزالة الرطوبة  $(\text{MRC})_p = 1.9\text{g/s}$  تم الحصول عليه عند درجة حرارة  $60^{\circ}\text{C}$ ، وأعظم قيمة لمعامل أداء الدولاب المجفف  $(\text{DCOP})_{\text{lat}}=0.99$  تم الحصول عليها عند درجة حرارة إعادة تنشيط للهواء  $40^{\circ}\text{C}$  وذلك عند أعلى معدل للتدفق الكتلي للهواء  $(0.5\text{kg/s})$ ، كما تم الحصول على أعلى قيمة  $(\text{MRC})_p$  و  $(\text{DCOP})_{\text{lat}}$  عند نسبة رطوبة داخلية  $(20\text{g/kg})$  ومعدل تدفق كتلي  $(0.5) \text{ kg/s}$ .  
**كلمات مفتاحية:** نظام تكييف، دولاب مجفف، إزالة الرطوبة، درجة حرارة إعادة التجديد.

\* أستاذ- قسم هندسة تقانات الطاقات المتجددة . كلية الهندسة التقنية . جامعة طرطوس . سورية

\*\* أستاذ مساعد- قسم هندسة تقانات الطاقات المتجددة . كلية الهندسة التقنية . جامعة طرطوس . سورية

\*\*\* طالب دراسات عليا- قسم هندسة تقانات الطاقات المتجددة . كلية الهندسة التقنية . جامعة طرطوس . سورية

## Testing the performance of a dehumidifier using locally manufactured silica gel

Prof. Adnan Omran\*

D. Fadi Ali\*\*

En. Azez Hazzouri \*\*\*

(Received 8/3/2023 . Accepted 26/9/2023)

### □ ABSTRACT □

In this study, a local manufacture of the modified desiccant wheel consisting of two opposite sectors for regeneration and two sectors for the process of the incoming air was done, as in all previous studies a wheel consisting of only two sectors was used for regeneration and process. The performance of the wheel was evaluated through a set of parameters such as (Moisture Removal Capacity, Dehumidification Coefficient of Performance, Sensible Energy Ratio, Efficiency of Desiccant Wheel on Process Side, Efficiency of Desiccant Wheel on Regeneration Side), and to study the effect of a group of variables and factors such as the regeneration air temperature within the range (40-60)°C and an average internal humidity within the range (12-20) g/kg at three air mass flow rates (0.3, 0.4, 0.5 kg/s) and at a rotating speed of the desiccant wheel (20rph), and silica gel was used as solid desiccant material.

The results showed that maximum value of (MRC)<sub>p</sub> was at regeneration temperature of (60)°C and maximum (DCOP)<sub>lat</sub> was at regeneration temperature of (40)°C at a flow rate of (0.5)kg/s; While for the inlet humidity ratio results, maximum value of (MRC)<sub>p</sub> and maximum (DCOP)<sub>lat</sub> was at inlet humidity ratio of (20 g/kg) and flow rate of (0.5) kg/s.

**Keywords:** Conditioning System, Desiccant Wheel, evaporative cooler, Moisture Removal, regeneration temperature.

---

\*Professor, Department of Renewable Energy Technologies Engineering, Faculty of Technical Engineering, TartousUniversity, Syria.

\*\*Assistant professor, Department of Renewable Energy Technologies Engineering, Faculty of Technical Engineering, TartousUniversity, Syria.

\*\*\*Graduate student, Department of Renewable Energy Technologies Engineering, Faculty of Technical Engineering, TartousUniversity, Syria.

**1- مقدمة:**

من المعروف أن الرطوبة النسبية للهواء الداخل لها تأثير كبير على استهلاك الطاقة في الأنظمة الميكانيكية، فمستويات الرطوبة النسبية العالية المقرونة بدرجات حرارة هواء معتدلة إلى عالية تسبب عدم راحة الأفراد، وهو ما يمنع تبخر العرق من سطح الجلد، وبالتالي فإن نظام التبريد الطبيعي للجسم لا يعمل بكفاءة عالية، وبالتالي ترتفع درجة حرارة الجسم، وهو ما يؤدي لانزعاج القاطنين من حرارة الجو، وبالتالي فإن تخفيض الرطوبة النسبية للهواء يؤدي لشعور القاطنين بالراحة، كما أن محتوى الهواء الداخلي المرتفع بالرطوبة النسبية يسبب مشاكل صحية للقاطنين، إذ يؤدي إلى نمو البكتيريا وفطر العفن، وتنبعث الأبواغ منه مسببة مشاكل تنفسية وجلدية، وبالتالي تخفيض نسبة الرطوبة في الهواء الداخلي يساهم في استمرار التهوية ويمنع نمو البكتيريا والفطريات [1,2].

يعتبر الدوالب المجفف الدوّار مبادل حراري يعمل على تخفيض رطوبة الهواء، ويتم استخدامه في أنظمة التكيف الميكانيكية، ويتم تصنيع جدران الدوالب على شكل قرص العسل، أو بشكل حبيبي، لتشكيل نسيج أساس يؤدي لزيادة مساحة السطح بشكل كبير، وهناك عدد من العوامل التي تقيد عمل هذه الأجهزة مثل هبوط الضغط الكبير خلال جريان الهواء، ويمكن تجاوز هذه المشكلة باستخدام المراوح لنفخ الهواء [3,4].

يقسم الدوالب المجفف الدوّار لقسمين أساسيين: المنطقة المرطّبة (hygroscopic area) أو منطقة المعالجة ومنطقة التجديد أو التنشيط (regeneration area)، وهاتان المنطقتان تزودان بالهواء على التتابع بحيث يجري الهواء المعالج والمجدّد باتجاهين متعاكسين [5].

ولا تزال الكثير من الأبحاث والدراسات تجري لتحسين كفاءة هذا الدوالب من خلال تناولها لأهم الخصائص التي تميز عمل الدوالب المجفف كسعة الامتزاز الضعيفة لمزيل الرطوبة، ومعامل المقاومة المرتفع للانتقال الحراري والكتلي للجهاز المزيل للرطوبة، ومعامل الاستخدام المنخفض للطاقة، ولتحسين أداء الدوالب المجفف يتم عمل تحليل من قبل العلماء بحيث يتم تصميم مواد ومركبات جديدة مزيلّة للرطوبة، وتحسين بنية الأساس الحامل لمزيل الرطوبة، ونظام تدوير الهواء، واستخدام معامل طاقي منخفض، وتحسين بيئة التشغيل [6,7].

لقد تم تطوير المركبات المزيلّة للرطوبة المستخدمة في الدوالب الدوّار المجفّف بحيث وصلت للجيل الرابع في عام (2008) ويتم الآن استخدام المناخل الجزيئية (molecular sieve) والسيليكا جلّ والكربون الفعال والهياكل (العضوية - المعدنية) ومواد أخرى مزيلّة للرطوبة، وقد استخدم السيليكا جلّ على نطاق واسع نظرا لكلفته المنخفضة، وثبات عملية تشغيله، وقدرته الجيدة على إزالة الرطوبة. ويستخدم في معظم الأحيان مزيل الرطوبة في الدوالب على شكل قرص العسل المطلي، والذي يخفض من تأثير الحرارة الممتزة من خلال انتقال حرارة المائع [8]، وقد طوّر (Hwang) مادة مازة من الزيوليت الوظيفي تدعى (FAM-Z01) تصل سعة إزالتها للرطوبة إلى  $(1.96 \pm 0.12 \text{ kg/h})$  ويمكن التحكم في نطاق تقلبات الرطوبة في حدود (5%) [9].

كما طوّر (Jia Chunxia) مزيل رطوبة مكوّن من جلّ السيليكا وكلوريد الليثيوم، وبينت نتائج الدراسة أن فعالية جلّ السيليكا في إزالة الرطوبة تتعزز باستخدام نسبة مناسبة من المكونين كما يؤدي ذلك لتخفيض درجة حرارة تجديد الهواء [10].

كما وضع الباحث (Yadal et al) نموذج لدولاب تجفيف لتحسين كفاءة إزالته للرطوبة بحيث يتم زيادة منطقة المعالجة للهواء، وحدد بشكل مثالي زاوية المروحة في منطقة تنقية الهواء (5°) ولاحظ أن فعالية إزالة الرطوبة أعلى عند دوران الدولاب المجفف مع عقارب الساعة [11]، ولتخفيض ضياعات الطاقة الذي يسببه التسخين الكهربائي عند تنشيط الدولاب، فقد اقترح الباحث (Yao et al) تقانة الأمواج فوق الصوتية عالية التردد في تنشيط الدولاب المجفف وزيادة فعاليته في إزالة الرطوبة، وقد استخدم تأثير التردد المرتفع للأمواج لتمزيق غشاء الماء السائل على سطح المجفف إلى قطيرات ماء بالحجم الميكروي، ومن ثم فصلها عن سطح التجفيف، وهو ما يخفض طاقة التنشيط المستهلكة [12].

## 2- أهمية البحث وأهدافه:

تتم أهمية هذا البحث في إمكانية أن يساعد التصميم المعدل في تقليل احتمالية الإشباع للمادة المجففة، وقد يتيح استخدام هواء التجديد على مرحلتين ونزع الرطوبة على مرحلتين تحسين أداء النظام وزيادة معدل التجفيف. يهدف البحث لتصنيع نموذج تجريبي لدولاب مجفف تتم فيه عملية إزالة الرطوبة على مرحلتين وكذلك عملية التجديد للمادة المجففة، ومن ثم تقييم أداء وكفاءة النظام المقترح بشكل تجريبي عند شروط تشغيلية مختلفة في المناخ الرطب (الساحل السوري).

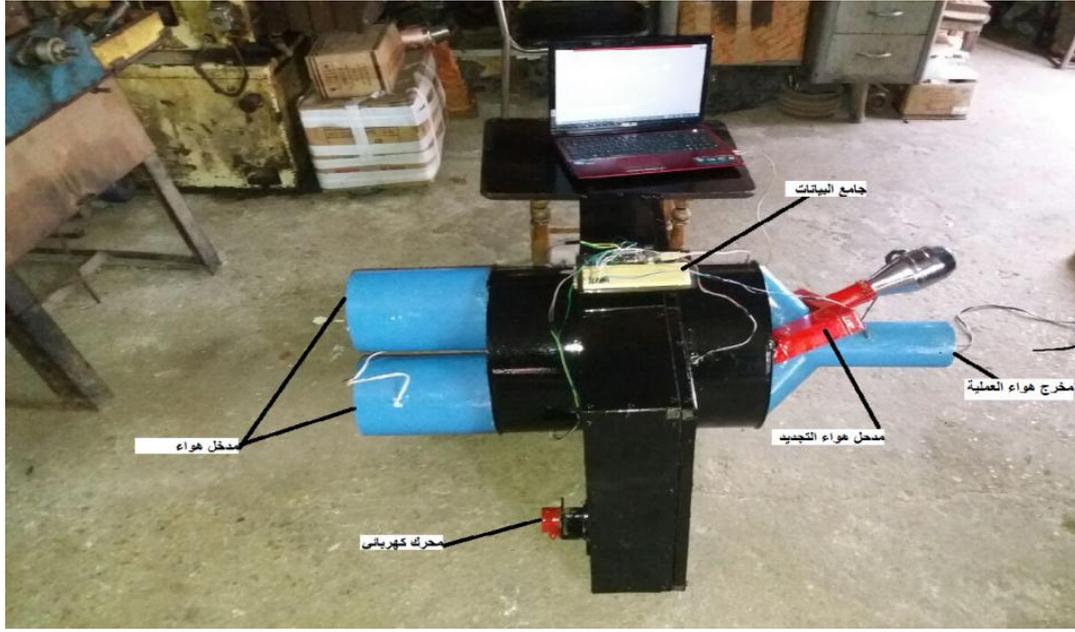
## 3- مواد وطرائق البحث (Materials and Methods):

من أجل تحقيق هدف البحث فقد تم تصنيع جهاز إزالة الرطوبة المبين بالشكل (1) يعمل بالطاقة الشمسية ويمكن استخدامه في المناخات الساحلية الرطبة، ويتكون من دولاب مجفف صلب ومدخل ومخرج هواء العملية ومدخل ومخرج هواء التجديد وسخان كهربائي ووحدة تحكم.

يتكون الدولاب المجفف من صفائح ألومنيوم مغطاة بالمادة المزيل للزيت للرطوبة (السيليكا جل) وهي مادة مجففة غير سامة وغير قابلة للتآكل مشتقة من  $SiO_2$ . نظراً لخصائصه الجيدة، فهو حالياً أكثر المواد المجففة استخداماً، حيث الكثافة النظامية لجل السيليكا لها حجم مسامي يبلغ 2 نانومتر، يبلغ الامتصاص النموذجي للسيليكا جل حوالي 0.15 جرام من الماء لكل جرام من السيليكا جل الجاف، ودرجة حرارة التجديد المثلى  $65^{\circ}C$ .

يتم تدوير الدولاب المجفف بسرعة 20rph بواسطة محرك كهربائي. تبدأ عملية إزالة الرطوبة بدخول الهواء الرطب إلى الدولاب المجفف حيث يتم إزالة الرطوبة منه بالامتزاز على حبيبات جلّ السيليكا، وبالتالي الحصول على هواء جاف ودافئ، حيث تزداد درجة حرارته وتخفض رطوبته، أما عملية التجديد فهي تتم بتسخين الهواء باستخدام الطاقة الحرارية الشمسية، ليمر عبر الدولاب حيث يتم سحب الرطوبة الممتزة من الدولاب المجفف.

يتم قياس درجة الحرارة الجافة والرطوبة باستخدام حساسات من نوع DHT22 بمجال  $(-40 \div 120^{\circ}C/\pm 0.5)$ . تم وضع مستشعر مقياس سرعة الهواء في قناة مدخل هواء العملية لقياس سرعة الهواء. تم توصيل جميع الحساسات بمسجل بيانات (Arduino). كما يحتوي النظام على مسخنات كهربائية، ومراوح، يستخدم المسخن لضبط درجة حرارة الهواء الداخل عند  $(35^{\circ}C)$ ، بينما يقوم المبرد التبخيري بالتحكم بنسبة الرطوبة بين  $(12-20g/kg)$  وتثبيت درجة حرارة عند  $(32^{\circ}C)$  عندما تتراوح درجة حرارة هواء التجديد بين  $(40-60^{\circ}C)$ .



الشكل (1) جهاز إزالة الرطوبة

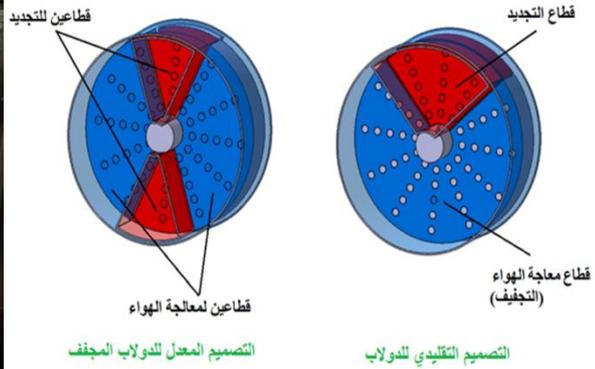
أجريت الاختبارات في مخبر بحوث الطاقة الشمسية في كلية الهندسة التقنية في طرطوس عند الشروط الجوية السائدة، وعند ثلاث معدلات تدفق كتلي للهواء المستخدم (0.3, 0.4, 0.5 kg/s).

### تصنيع الدولاب المجفف:

يتم تصنيع الدولاب المجفف الموضح في الشكل (2) وفق الأبعاد الموضحة بالجدول (1)، ويحتوي التصميم المعدل لدولاب تجفيف الهواء كما هو مبين في الشكل (3) على قطاعي تجديد للهواء:



الشكل (3) الدولاب المجفف المقترح بوجود قطاعي تجديد



الشكل (2) الدولاب المجفف المصمم لإزالة الرطوبة

الجدول (1) أبعاد وخصائص الدولاب المجفف المصمم

القيمة	بارامترات التصميم
40cm	قطر الدولاب
10cm	سماكة الدولاب
20rph	سرعة دوران الدولاب
السيليكا جل	المادة المجففة
1:3	نسبة مساحة قطاع هواء التجديد إلى قطاع هواء الإمداد

وقد استخدمت دائرة التنشيط الشمسية كمنبع حراري لرفع درجة حرارة هواء إعادة التنشيط، (الهواء الراجع من الغرفة) وذلك قبل دخوله إلى الدولاب المجفف، إن هذا الارتفاع في درجة الحرارة هو ضروري لعمل المجفف حيث أنه عند ارتفاع درجة حرارة هواء إعادة التنشيط يرتفع ضغط الإشباع لبخار الماء الموجود في الهواء مما يزيد قابلية الهواء لاحتواء كمية أكبر من الماء، ومنه عند دخوله إلى المجفف يتم سحب الماء من المادة المجففة وبالتالي إعادة تنشيطها. وبسبب درجات الحرارة المطلوبة المنخفضة نسبياً، ولأن الدارة دائرة تكييف صيفي فإن الطاقة الشمسية هي المنبع الحراري الأنسب لهذه الدارة.

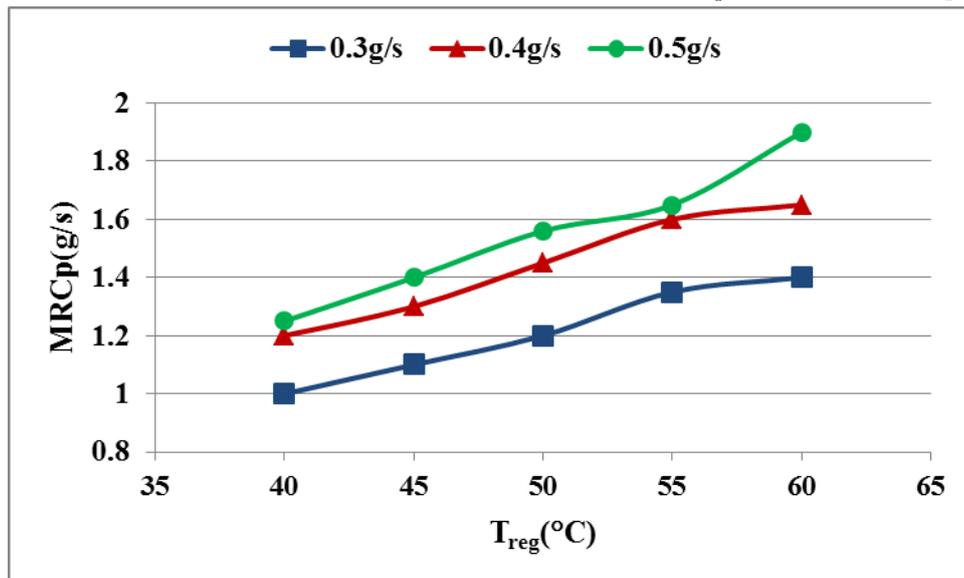
#### 4- النتائج والمناقشة:

##### 4-1- تأثير درجة حرارة ورطوبة الهواء على أداء النظام:

يوضح الشكل (4) تأثير درجة حرارة هواء إعادة التنشيط على معدل إزالة الرطوبة بواسطة الدولاب المجفف (MRC) من هواء العملية (process air)، حيث يعطى معدل إزالة الدولاب للرطوبة من هواء العملية والذي يمثل كمية الرطوبة المزالة من الهواء في وحدة الزمن (g/s) بالعلاقة التالية:

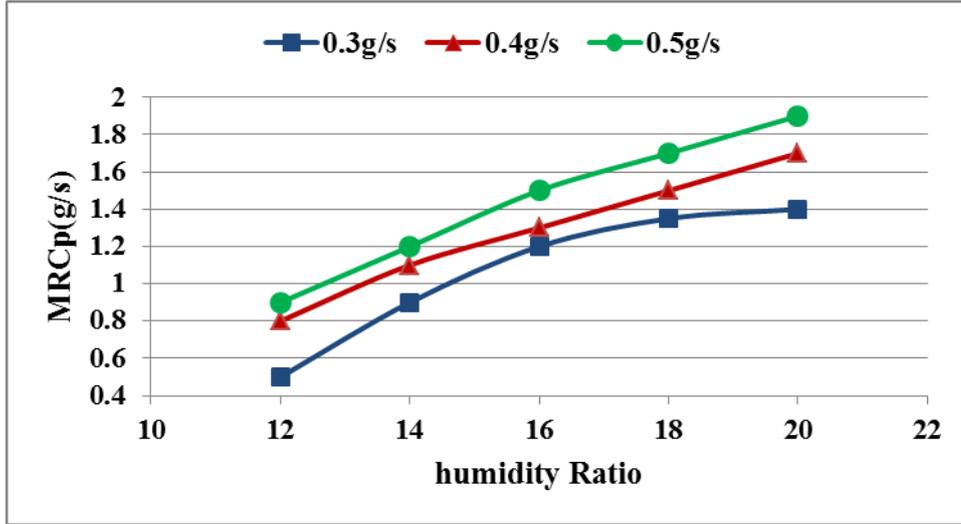
$$\text{Moisture Removal capacity (MRC)}_p = m_p (W_1 - W_2)$$

حيث  $m_p$ : معدل التدفق الكتلي لهواء العملية.



الشكل (4) تأثير درجة حرارة هواء إعادة التنشيط على معدل إزالة الرطوبة

يلاحظ من خلال الشكل ازدياد (MRC)p مع زيادة درجة حرارة هواء إعادة التنشيط ( $T_{reg}$ ) عند ثلاثة معدلات تدفق كتلية مختلفة للهواء، ويلاحظ من خلال الشكل أن أعلى معدل إزالة لرطوبة الهواء (MRC)p يتم الحصول عليه عند معدل تدفق كتلي (0.5kg/s) إذ يزداد من (1.25g/s) إلى (1.9g/s) مع زيادة درجة حرارة إعادة تنشيط الهواء من (40-60°C). تتوافق هذه النتائج مع ما توصل له الباحث (Vivekh) ورفاقه [13]، والذي تبين له زيادة معدل إزالة رطوبة الهواء مع زيادة درجة حرارة التجديد ضمن المجال (50-110°C) عند استخدامه لدولاب تجفيف يحتوي على قطاع تجديد (120°) وباستخدام السيلكا جل كمادة مجففة. كما يتبين من خلال الشكل (5) ازدياد (MRC)p مع ازدياد نسبة رطوبة هواء العملية الداخل إلى المجفف (inlet humidity ratio) عند ثلاثة معدلات تدفق كتلية مختلفة:



الشكل (5) تغير (MRC)p كنسبة رطوبة هواء العملية الداخل إلى المجفف عند ثلاثة معدلات تدفق كتلية مختلفة نلاحظ من الشكل أنه عند معدل تدفق (0.3kg/s) يزداد (MRC)p من (0.5g/s) إلى (1.4g/s) مع زيادة الرطوبة النسبية من (12g/kg) إلى (20g/kg). بينما يزداد (MRC)p من (0.9g/s) إلى (1.5g/s) عند معدل تدفق كتلي للهواء (0.4kg/s) ومن (0.9g/s) إلى (1.9g/s) عند معدل تدفق كتلي للهواء (0.5kg/s) وذلك مع زيادة الرطوبة النسبية من (12g/kg) إلى (20g/kg). ويلاحظ أن معدل زيادة (MRC) يضعف عند نسب رطوبة عالية في توافق مع ما توصل له الباحث (Hao) وفريقه البحثي [14]، حيث حصلوا على قدرة إزالة منخفضة للرطوبة عند نسبة رطوبة عالية لهواء التجديد، وتبين لهم أن هواء التجديد ذو الرطوبة (20g/kg) غير مناسب في أنظمة إزالة الرطوبة ضمن مجال درجات الحرارة (40-70°C).

#### 2-4- معامل أداء الدولاب المجفف (DCOP)Lat:

وهو يعبر عن الأداء الأمثل للنظام في إزالة الرطوبة، حيث أن انخفاض الطاقة اللازمة لإعادة التنشيط يعزز الأداء، ويحسب (Latent DCOP) بالعلاقة التالية [15]:

$$(DCOP)_{Lat} = \frac{m_p (W_1 - W_2) (hvs)}{mr (h_8 - h_7)}$$

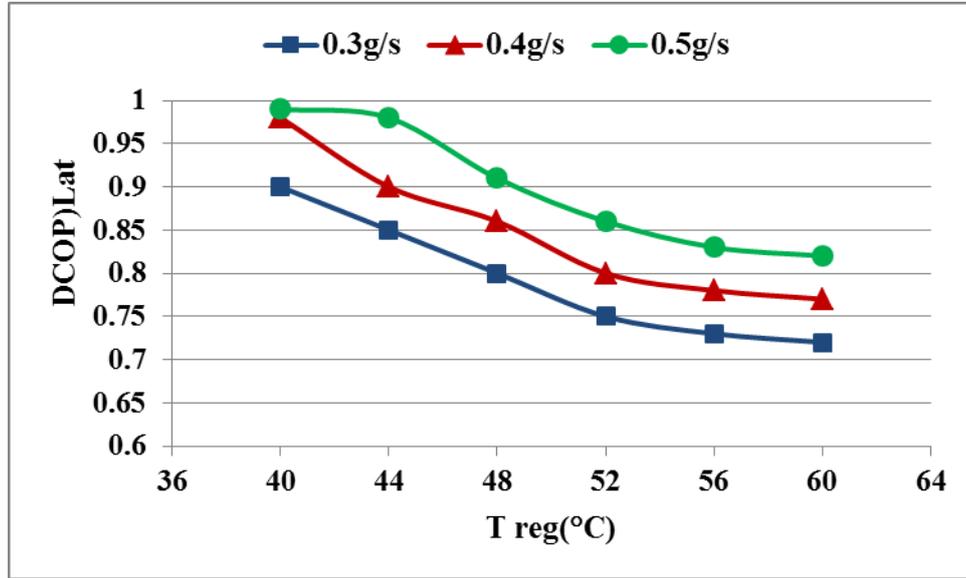
حيث  $W_1$ : نسبة رطوبة الهواء الداخل إلى الدولاب المجفف.

$W_2$ : نسبة رطوبة الهواء بعد مروره على الدولاب المجفف.

$hvs$ : أنتالبي تبخر الماء (KJ/Kg).

$m_p$ : تدفق هواء العملية.

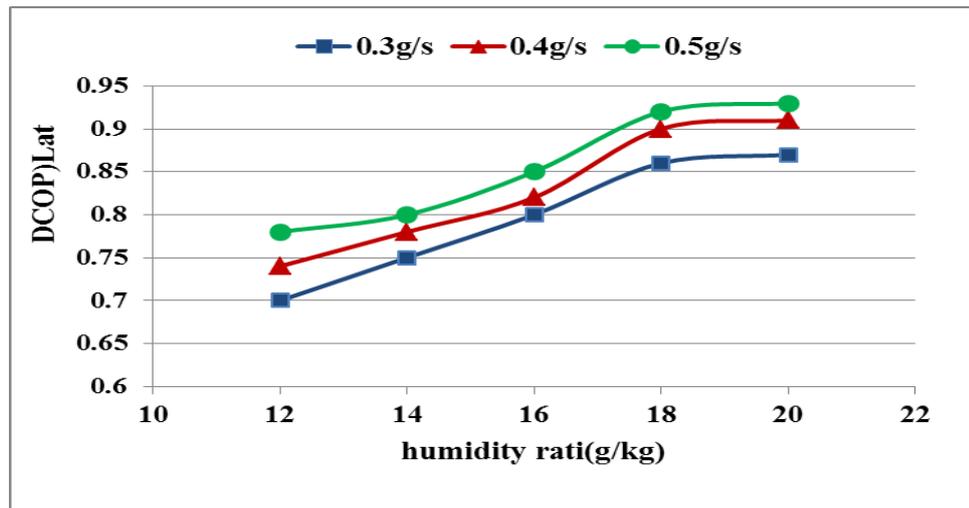
$h_8$  و  $h_7$  : الأنتالبي النوعي (KJ/Kg) قبل المسخن وبعده، ويؤخذ من المخطط البسايكومتري للهواء. يتبين من خلال الشكل (6) انخفاض (DCOP)Lat مع زيادة درجة حرارة إعادة تنشيط الهواء ( $T_{reg}$ )، ويرجع ذلك لزيادة أنتالبي هواء إعادة التنشيط ( $\Delta h_r$ ) للنظام مع زيادة درجة حرارة هواء إعادة التنشيط:



الشكل (6) العلاقة بين (DCOP)Lat ودرجة حرارة إعادة تنشيط الهواء ( $T_{reg}$ )

ويتبين من خلال الشكل انخفاض (DCOP)Lat من (0.9) إلى (0.72) مع زيادة درجة حرارة هواء إعادة التنشيط من (40-60°C).

بينما يتبين من الشكل (7) ازدياد قيمة (DCOP)lat مع زيادة الرطوبة النسبية، وذلك نتيجة الزيادة في قيمة (MRC)p فعند معدل تدفق كتلي (0.3Kg/s) يزداد (DCOP)lat من (0.7) إلى (0.87) مع زيادة الرطوبة النسبية من (12-20g/kg)، بينما يلاحظ أن أعلى قيم (DCOP)lat يتم الحصول عليها عند معدل تدفق كتلي للهواء (0.5Kg/s).



الشكل (7) العلاقة بين (DCOP)Lat والرطوبة النسبية

### 3-4- نسبة الطاقة المحسوسة (SER): (The sensible energy ratio)

وهو بارامتر يستخدم لتقييم مزيل الرطوبة في المجفف ويجب ان يكون بقيم منخفضة لتحسين أداء المجفف، وهو ما يعني بأن الدولاب المجفف يصنع بأقل حساسية لأحمال التبريد، وبالتالي أداء أفضل للنظام ويحسب بحسب العلاقة التالية [16]:

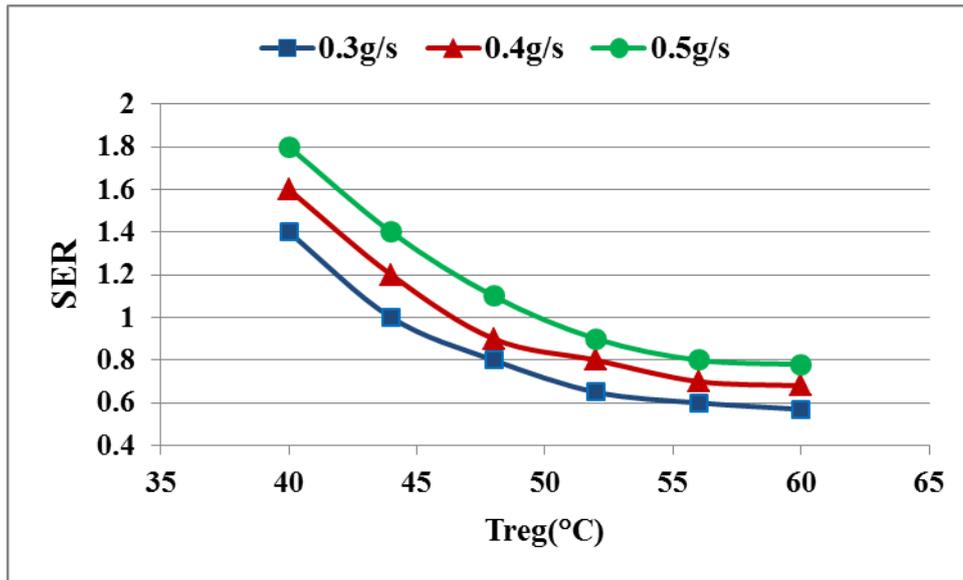
$$SER = \left(\frac{mp}{mr}\right) * \frac{(T_2 - T_1)}{(T_8 - T_7)}$$

حيث:

$T_2, T_1$ : درجة حرارة هواء العملية عند الدخول والخروج من الدولاب المجفف على التوالي.

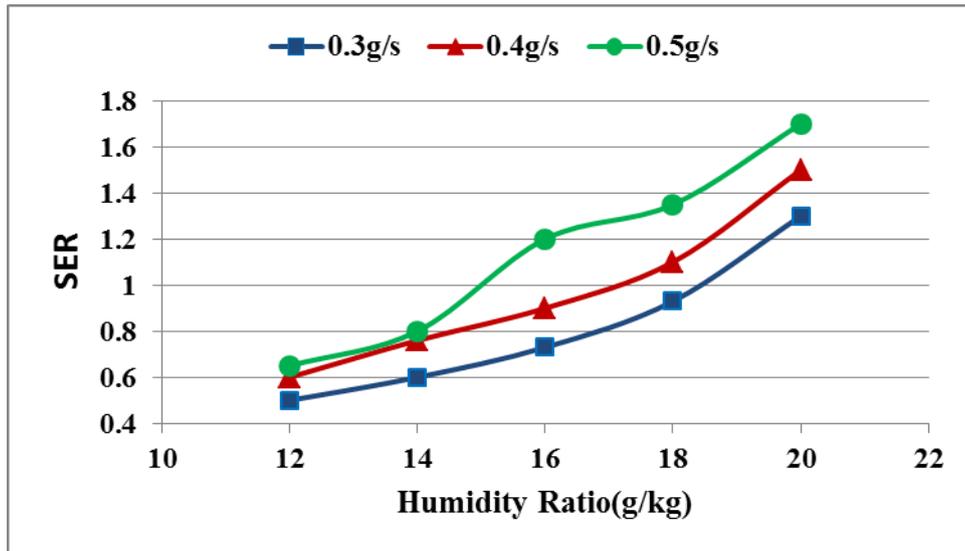
$T_8, T_7$ : درجة حرارة هواء التجديد (التشيط) قبل وبعد المسخن على التوالي.

يوضح الشكل (8) العلاقة بين (SER) ودرجة حرارة إعادة التشيط ( $T_{reg}$ )، حيث يتبين من الشكل تناقص (SER) مع تزايد درجة حرارة إعادة التشيط عند جميع معدلات التدفق الكتلية للهواء الداخل، ويرجع ذلك إلى أن الفرق ( $\Delta T$ )rh يزداد مع تزايد ودرجة حرارة إعادة التشيط، فمثلاً ينخفض (SER) من (1.6) إلى (0.68) مع مع تزايد ودرجة حرارة إعادة التشيط ضمن المجال ( $40-60^\circ\text{C}$ ).



الشكل (8) العلاقة بين (SER) ودرجة حرارة إعادة التشيط ( $T_{reg}$ )

كما يوضح الشكل (9) العلاقة بين (SER) ونسبة رطوبة الهواء الداخل (inlet humidity ratio) عند معدلات تدفق كتلية مختلفة للهواء، حيث يتبين من الشكل تزايد (SER) مع تزايد نسبة رطوبة هواء إعادة التشيط لأن فرق درجات حرارة هواء التجديد ( $\Delta T$ )rh يتناقص مع زيادة نسبة رطوبة هواء إعادة التشيط. ويتبين من خلال الشكل أن أعلى معدل زيادة لـ (SER) تحدث عند معدل تدفق كتلي ( $0.5\text{kg/s}$ )، حيث تزداد (SER) من (0.65) إلى (1.7) مع تزايد نسبة رطوبة هواء إعادة التشيط من ( $12-20\text{g/kg}$ ).



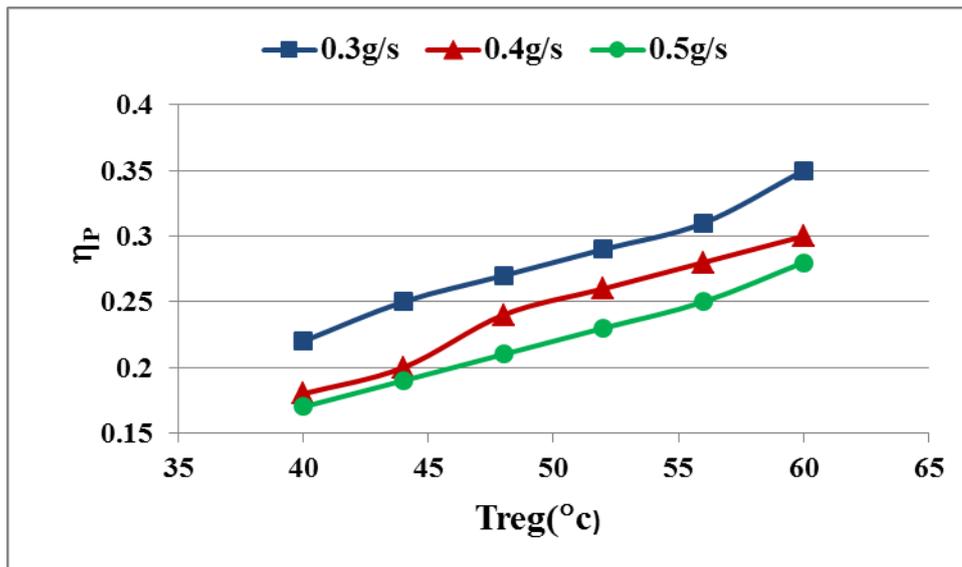
الشكل (9) العلاقة بين (SER) ونسبة الرطوبة هواء إعادة التنشيط

#### 4-4-4 مردود المعالجة والتجديد:

يتم تقييم نظام تكييف الهواء من خلال بارامتر يرتبط بفعالية تنشيط الهواء الداخل إلى المجفف ويزداد بزيادة الفرق  $(\Delta w)_p$  ويعطى مردود المعالجة  $(\eta_p)$  بالعلاقة التالية:

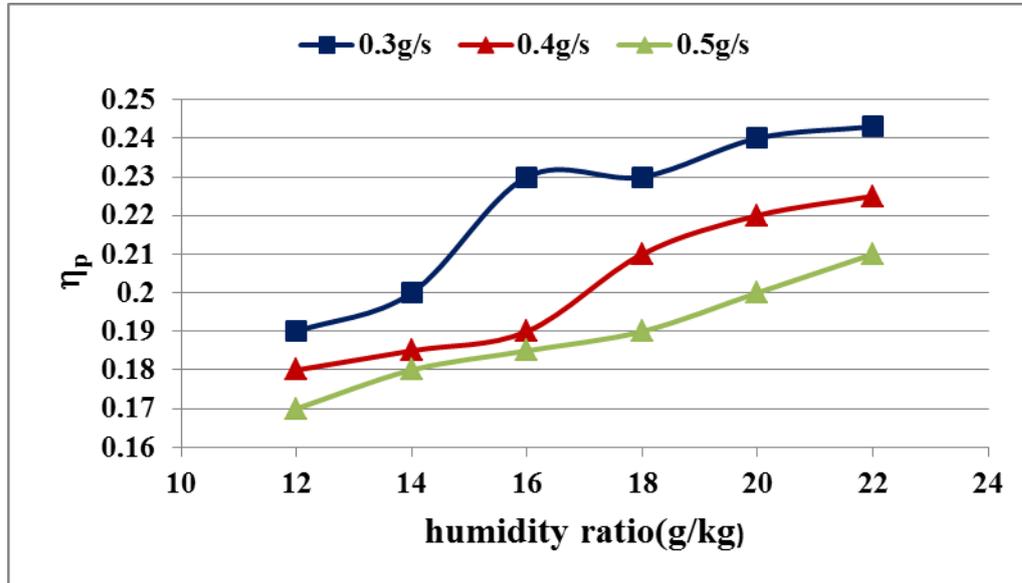
$$\eta_p = \frac{(w_1 - w_2)}{w_1}$$

يلاحظ من خلال الشكل (10) ازدياد  $(\eta_p)$  بحوالي (15%) تقريباً مع زيادة درجة حرارة هواء إعادة التنشيط  $(T_{reg})$  عند معدلات تدفق كتلية مختلفة للهواء الداخل، ويرجع ذلك لزيادة الفرق بين محتوى رطوبة الهواء الداخل والخارج على جانبي الدوالب المجفف (هواء العملية والهواء المجدد):



الشكل (10) مردود المعالجة  $(\eta_p)$  كتابع لدرجة حرارة هواء إعادة التنشيط  $(T_{reg})$

كما يلاحظ من خلال الشكل (11) ازدياد ( $\eta_p$ ) مع زيادة نسبة رطوبة الهواء الداخل عند معدلات تدفق كتلية مختلفة للهواء، وذلك نتيجة زيادة الفرق في محتوى رطوبة الهواء على جانبي الدوالب المجفف (العملية والتنشيط)، ويتبين من خلال الشكل بأنه يتم الحصول على أعلى قيم ( $\eta_p$ ) عند أقل معدل تدفق كتلي للهواء (0.3kg/s) حيث يزداد ( $\eta_p$ ) من (0.19) إلى (0.243) مع زيادة نسبة رطوبة هواء إعادة التنشيط من (12-22g/kg).



الشكل (11) مردود المعالجة ( $\eta_p$ ) كتابع لنسبة الرطوبة

### مقارنة بين أداء الدوالب المجفف قبل وبعد التعديل:

يوضح الجدول (2) مقارنة بين أداء الدوالب المجفف باستخدام قطاعي تجديد هواء، قياس كل قطاع مع أداء دوالب مجفف يحتوي على قطاع تجديد واحد للهواء ( $120^\circ$ ) لتبيان الأثر الذي تحدثه عملية تقسيم قطاع تجديد الهواء إلى مرحلتين [17,18]:

الجدول (2) مقارنة بين أداء الدوالب المجفف قبل وبعد التعديل عند درجة حرارة تجديد ( $60^\circ\text{C}$ ) ومعدل تدفق هواء عملية (0.5g/s) وسرعة دوران الدوالب المجفف (20rph)

$\eta_p$	SER	DCOP	(MRC)p	نوع الدوالب المجفف المستخدم
0.21	0.6	0.7	1.5	دوالب بقطاع تجديد واحد
0.28	0.78	0.82	1.9	دوالب مجفف بقطاعي تجديد (بعد التعديل)

ويتبين من خلال الجدول أن معدل إزالة الرطوبة (MRC)p من هواء العملية ومعامل الأداء (DCOP) ونسبة الحرارة المحسوسة (SER) ومردود المعالجة ( $\eta_p$ ) باستخدام قطاعي تجديد للهواء أفضل مقارنة باستخدام قطاع تجديد واحد (قبل التعديل)، إذ يتيح هذا التعديل في التصميم تقليل احتمالية الإشباع للمادة المجففة، واستخدام هواء التجديد، ونزع الرطوبة على مرحلتين، وبالتالي يرفع المردود الأكسيري ومعدل التجفيف، وهو ما ينعكس إيجاباً في رفع معامل الأداء ومردود المعالجة.

**5- الاستنتاجات:**

- 1- أدى تعديل الدولاب المجفف بحيث يحتوي على قطاعي تجديد للهواء إلى تخفيض احتمالية إشباع المادة المجففة، وزيادة المردود.
- 2- تم الحصول على أعلى معدّل إزالة لرطوبة الهواء  $(MRC)_p = 1.9\text{g/s}$  عند درجة حرارة إعادة تنشيط للهواء ( $60^\circ\text{C}$ ) ومعدل تدفق كتلي ( $0.5\text{kg/s}$ ).
- 3- انخفض  $(DCOP)_{Lat}$  من (0.9) إلى (0.72) مع زيادة درجة حرارة هواء إعادة التنشيط من ( $40-60^\circ\text{C}$ ).
- 4- بينت نتائج الدراسة انخفاض قيم (SER) مع تزايد درجة حرارة إعادة التنشيط عند جميع معدلات التدفق الكتلية للهواء الداخل.
- 5- تم الحصول على أعلى معدل زيادة لـ (SER) عند معدل تدفق كتلي ( $0.5\text{kg/s}$ )، حيث يزداد من (0.65) إلى (1.7) مع تزايد نسبة رطوبة هواء إعادة التنشيط من ( $12-20\text{g/kg}$ ).
- 6- تم الحصول على أعلى مردود ( $\eta_p=0.243$ ) عند نسبة رطوبة هواء إعادة تنشيط ( $22\text{g/kg}$ ).

**التوصيات:**

- 1- دراسة نسب مختلفة لقطاعي العملية وتجديد الهواء ومقارنتها بالدولاب المجفف قبل عملية التعديل.
- 2- دراسة فعالية مواد مجففة أخرى غير السيلكا جلّ مثل المواد الهيدروجينية كالبولي فينيل الكحولي، والبولي أكريليك أسيد مثلاً.
- 3- دراسة تأثير شروط تشغيلية أخرى على أداء التكييف كسرعة دوران الدولاب المجفف، ونسبة توفير الطاقة مقارنة بالأنظمة التقليدية.
- 4- القيام بعملية نمذجة رياضية لبارامترات التشغيل لأمثلة شروط التكييف، والوصول بعملية التكييف إلى أعلى مردود ممكن.

**المراجع**

- [1] BOYANO, A; Hernandez, P; WOLF, O. 2013, Energy demands and potential savings in European office buildings: Case studies based on EnergyPlus simulations. Energy Build. 65 19|28. doi:10.1016/j.enbuild.2013.05.039.

- [2] LAVERGE, J; JANSSENS, A. 2012, Heat recovery ventilation operation traded off against natural and simple exhaust ventilation in Europe by primary energy factor, carbon dioxide emission, household consumer price and exergy. *Energy Build.* 50. 315-323.
- [3] ASIM, N; AMIN, MH; ALGHOUL, MA; BADIEI, M; MOHAMMAD, M; GASAYMEH, SS, et al. 2019, Key factors of desiccant-based cooling systems: Materials. *Appl Therm Eng.* 159:113946. <https://doi.org/10.1016/j.applthermeng.2019.113946>.
- [4] CHEN, CH; HSU, CY; CHEN, CC; CHEN, SL. 2015, Silica gel polymer composite desiccants for air conditioning systems. *Energy Build.* 101:122-32. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.05.009>.
- [5] AMARJEET, K, P; YADAV, L. 2018, Advanced Technology in Desiccant Wheel Air Conditioning System: A Review IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 404. 012041 doi:10.1088/1757-899X/404/1/012041.
- [6] KANG, H; Choi, S; Lee, D.Y. 2018, Analytic solution to predict the outlet air states of a desiccant wheel with an arbitrary split ratio. *Energy.* 153:301-10. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.177>.
- [7] ALI, M; FARZAD, S; ANGRISANI, G; PAHLAVANZADEH, H. 2017, Study of purge angle effects on the desiccant wheel performance. *Energy Convers Manag.* 137:12-20. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.01.042>.
- [8] WANG, W.L. 2013, An overview of adsorbents in the rotary desiccant dehumidifier for air dehumidification. *Drying Technology.* 31:1334-1345.
- [9] HWANG, Y. 2015, Performance of a desiccant wheel cycle utilizing new zeolite material. Experimental investigation. *Energy.* 81:137-145.
- [10] JIA, C.X. 2007, Use of compound desiccant to develop high performance desiccant cooling system. *International Journal of Refrigeration.* 30:345-353.
- [11] YADAL, L. 2017, Effect of different arrangements of sector on the performance of desiccant wheel. *Heat and Mass Transfer.* 35: 1-17.
- [12] YAO, Y. 2016, Enhancement of mass transfer by ultrasound: application to adsorbent regeneration and food drying dehydration. *Ultrasonics Sonochemistry.* 31: 512-531.
- [13] VIVEKH, P; PEI, S. D; PANG, W. (2023), Air dehumidification performance study of a desiccant wheel by a three-dimensional mathematical model. *International Journal of Refrigeration.* V147, P163-173.
- [14] HAO, Y; SANG, W; KYAW, T; KIM, N. 2023, Effects of temperature and humidity ratio on the performance of desiccant dehumidification system under low – temperature regeneration. *Journal Of Thermal Analysis and Calorimetry.* V148. Issue(8), P(3045-3058).
- [15] SALIH, Z ; HASSAN, A; Al-DABAGH, A. 2019, Theoretical performance of silica gel desiccant wheel. *Wasit Journal Of Engineering Science.* V(7), No(3).
- [16] TSAI, H & CHUNG, W. 2022, Optimization of rotary desiccant wheel for enthalpy recovery of air-conditioning in a humid hospitality environment. *Helion.* V(8), Issue(10).
- [17] ANGRISANI, G ; ROSELLI, C ; SASSO, M. 2013, Effect of rotational speed on the performances of a desiccant wheel. *Applied Energy.* Italy. 104 , 268-275.
- [18] HUSSAIN, T. 2023, Optimization and comparative performance analysis of conventional and desiccant air conditioning systems regenerated by two different modes for hot and humid climates: Experimental investigation. *Energy and Built Environment.* 4. 281-296.