مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (١٠) العدد (٩) ٢٠٢٦
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (10) No. (9) 2026

المساهمة في التصدي للجفاف بتوليد الماء من الهواء باستخدام الطاقة الشمسية

د.م. سهيل سمير أسبر*

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٦/٢/٣ . قُبِل للنشر في ٢٠٢٦/٥/٦)

□ ملخّص □

بُذلت محاولات عديدة لاستخلاص المياه من الغلاف الجوي، وحظيت أنظمة التكثيف باهتمام كبير. ومن التحديات التي تواجه أنظمة التوليد ارتفاع معدلات استهلاك الطاقة التي تحتاجها دارات التبريد.

تم في هذا البحث تقديم نموذج مبسط لإمكانية الحصول على كميات واعدة من المياه العذبة التي يمكن أن تكون قابلة للاستخدام في الري في الأماكن الجبلية ذات التضاريس الصعبة، وهي لا تحتاج لفلاتر وتعقيم إذا كانت مخصصة للري وتوفير كمية من المياه المولدة من الغلاف الجوي باستخدام طريقة تبريد سطوح التكثيف إلى ما دون نقطة الندى باستخدام الطاقة الشمسية التي يمكن نقلها وتركيبها في تلك المناطق، وتجميع قطرات الماء المتكاثف في خزانات واستخدام طرق الري الحديث لتأمين طرق فعالة للاستفادة من كميات الماء القليلة للحفاظ على الأشجار والمزروعات في أوقات الجفاف.

تم تصميم حصادة المياه من الغلاف الجوي تعمل على التيار المستمر حيث تم تركيب نظم تبريد DC بسعة ١١٢ لتر ونظام التبريد بضاغط ذو سرعات متغيرة VSDC له أربع سرعات (٢٠٠٠,٢٥٠٠,٣٠٠٠ r.p.m .). الضاغط مجهز بوحدة تحكم الكترونية تعمل على حماية الضاغط والبطارية، ولتنظيم سرعة الضاغط وُصلت مقاومات بقيم مختلفة إلى وحدة التحكم الإلكترونية. أجريت الاختبارات على سطح مخبر بحوث الطاقة الشمسية في كلية الهندسة التقنية في طرطوس عند الشروط الجوية السائدة في فصل الخريف وتم استخدام مروحة صغيرة (٢٠×٢٠) سم تعمل بتغذية ١٢ فولت مستمر وذلك من أجل زيادة تدفق الهواء باتجاه سطوح التكثيف تم إجراء الاختبارات عديدة في أيام متباعدة، في النهار من الساعة التاسعة صباحاً حتى الساعة الثالثة عصراً حيث تم تغيير سرعة الضاغط. ولوحظ بوضوح أن استخدام المنظومة في الليل يحسن الإنتاجية بشكل ملحوظ، وكذلك سرعة تدفق الهواء في المكثف يؤدي إلى النتيجة نفسها.

الكلمات المفتاحية: حصاد الماء، الغلاف الجوي، الرطوبة النسبية، تكثيف الماء، نقطة الندى.

*مدير أعمال في قسم الأتمتة الصناعية في كلية الهندسة التقنية في جامعة طرطوس.

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (١٠) العدد (٩) ٢٠٢٦

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (10) No. (9) 2026

Contributing to combating drought by generating water from the air using solar energy

Dr. M. Suhail Samir Asber*

(Received 3/2/2026. Accepted 6/5/2026)

□ ABSTRACT □

Numerous attempts have been made to extract water from the atmosphere, and condensation systems have garnered significant attention. One of the challenges facing these systems is the high energy consumption required by the cooling circuits.

This research presents a simplified model for obtaining promising quantities of fresh water suitable for irrigation in mountainous areas with challenging terrain. This water does not require filtration or sterilization if intended for irrigation. The model utilizes a method of cooling condensation surfaces below the dew point using solar energy, which can be transported and installed in these areas. The condensed water droplets are collected in tanks, and modern irrigation methods are employed to provide efficient ways to utilize limited water resources to sustain trees and crops during droughts.

The atmospheric water harvester was designed to operate on direct current (DC). It incorporates a 112-liter DC cooling system and a variable-speed DC compressor with four speeds (2000, 2500, and 3000 rpm). The compressor is equipped with an electronic control unit that protects both the compressor and the battery. Resistors of varying values were connected to the electronic control unit to regulate the compressor speed. Tests were conducted on the roof of the solar energy research laboratory at the Faculty of Engineering Technology in Tartous under typical autumn weather conditions. A small (20 x 20 cm) fan powered by 12V DC was used to increase airflow towards the condensing surfaces. Several tests were performed on separate days, from 9:00 AM to 3:00 PM, during which the compressor speed was varied. It was clearly observed that using the system at night significantly improves productivity, and the airflow speed in the condenser also yields the same result.

Keywords: **Water harvesting, atmosphere, relative humidity, water condensation, dew point**

Manager in the Industrial Automation Department at the Faculty of Engineering Technology, Tartous University.

١ – مقدمة:

على الرغم من التقدم التقني الذي أحرزته العلوم في السنوات الأخيرة، لا يزال الحصول على المياه العذبة يمثل تحديًا كبيرًا للبشرية نظرًا لنقص المياه الذي يعاني منه ثلثا سكان العالم. ويزداد هذا النقص صعوبةً بسبب ندرة الموارد المائية الطبيعية. وقد بُذلت محاولات عديدة لاستخلاص المياه من الغلاف الجوي، وحظيت أنظمة التكثيف باهتمام كبير. ومن التحديات التي تواجه أنظمة التوليد ارتفاع استهلاك الطاقة اللازمة للتبريد، على الرغم من توليد كميات كبيرة من المياه من الغلاف الجوي. ونظرًا لتكثف الملوثات الأخرى المحمولة جوًا مع بخار الماء، فإن المياه المستخلصة تحتاج إلى معالجة، مما يزيد من تكاليف الإنشاء والصيانة. كما أن الحاجة إلى رطوبة نسبية عالية في أنظمة التكثيف دفعت العلماء إلى البحث عن طرق لاستخلاص المياه من الغلاف الجوي في ظروف رطوبة نسبية منخفضة، باستخدام مصادر الطاقة المتجددة. وتستطيع بعض الأنظمة امتصاص المياه من الغلاف الجوي تلقائيًا ودون الحاجة إلى مصدر طاقة (Sadhwani et al, 2005).

يتم الحصول على المياه التي يستخدمها الإنسان من مصادر متنوعة. تشمل هذه المصادر المياه الجوفية والمياه السطحية (الأنهار والسدود والبحيرات)، أو مياه البحار بعد تحليتها. تُشكل المحيطات والبحار والمياه الجوفية حوالي ٩٧% من إجمالي المياه على سطح الأرض. كما يحتوي الهواء على ٠,٠٤% من الماء (Ibrahim and Eltahir E, 2019). وقد أدت الزيادة الكبيرة في استهلاك المياه إلى نقص حاد في المياه في أجزاء كثيرة من العالم، حيث يواجه ما يقرب من ٤ مليارات شخص نقصًا حادًا في المياه لمدة شهر واحد على الأقل سنويًا (Al-Zubari et al,2023). ويُعد تغير المناخ وشدة الجفاف الناتج عن تغير أنماط هطول الأمطار وارتفاع درجات الحرارة من العوامل المؤثرة أيضًا في استنزاف موارد المياه العذبة (William et al,2014). بشكل عام، يُصنف نقص المياه إلى فئتين: مادية واقتصادية.

قد يتأخر توصيل مياه الشرب إلى القرى الجبلية النائية عبر خزانات المياه أو الحاويات الصغيرة بسبب الكلفة العالية لشبكات تمديد المياه ومحطات الضخ. وفي هذا السياق، يُمكن النظر في إنتاج المياه اللامركزي. ويجب أن تكون تقنيات إنتاج المياه في حالات الطوارئ آمنة وموثوقة ومستقلة عن شبكات المياه والكهرباء لكي يُمكن استخدامها في المناطق المتضررة (Milani et al,2015). وتُعد تقنية حصاد المياه من الهواء الجوي Atmospheric water harvesting (AWH) من أكثر تقنيات إنتاج المياه الواعدة. تُعدّ طريقة استخلاص الماء من الهواء حلاً موثوقاً لتوفير المياه للشرب وري الأشجار للمناطق البعيدة والنائية والفقيرة. وذلك لأن معظم الطرق اللامركزية يمكن استخدامها بتكاليف إنتاج منخفضة، كما يمكن استخدام الطاقة الشمسية كمصدر للطاقة (Mulchandani and Westerhoff, 2020) . في هذا البحث، وبعد مراجعة شاملة لطرق إمداد المياه السابقة والحالية، تم استعراض طرق استخلاص الماء من الهواء، ودراسة العوامل المؤثرة في استخلاص الماء من رطوبة الهواء، وإمكانات العالم لإنتاج الماء من الرطوبة. وقد تم اعتبار طرق التكثيف، باستخدام أساليب تبريد مختلفة، إحدى الطرق المنافسة لإنتاج الماء من رطوبة الهواء. كما تم وصف طريقتي الامتزاز الفيزيائي والامتصاص الفيزيائي الكيميائي. ومن خلال مراجعة طرق استخلاص الماء من الهواء باستخدام مواد ماصة متطورة، وُجد أن الأطر المعدنية العضوية تُعدّ من أفضل الخيارات لتوفير الماء من الرطوبة في مستقبل البشرية. وتشير الدراسات المرجعية إلى أن هذه الطرق قد تجد قريباً مكانةً بارزةً في توفير جزء مهم من المياه التي يحتاجها الإنسان (Mulchandani and Westerhoff, 2020) .

١,١. مشكلة البحث:

المشكلة هي أن المناطق الساحلية تعاني من الجفاف بالرغم من أن الماء يحيط بها من كل جانب في الغلاف الجوي، فهل يمكن توفير الماء بكلفة منخفضة باستخدام الطاقة الشمسية؟

تصل الرطوبة النسبية في المناطق الساحلية في سوريا إلى نسب مرتفعة في كثير من أيام السنة في فصل الصيف الذي يعاني فيه الناس والمزروعات وبخاصة أشجار الزيتون التي تغطي معظم المساحات المزروعة في المناطق الريفية التي تعاني من شح المياه طيلة فترة الصيف مع توفر شدة إشعاع شمسي كافية لتوليد كميات كافية من الطاقة النظيفة.

١,٢. الدراسات السابقة لحصاد المياه من الغلاف الجوي

كما ذُكر، يُمكن لحصاد المياه من الغلاف الجوي توفير مياه ري المزروعات ودعم تثبيت الفلاح في أرضه بالإضافة إلى توفير مياه الشرب في المناطق غير المتصلة بشبكة المياه المركزية، مثل مناطق الإغاثة في حالات الكوارث، والقرى النائية في حالات الجفاف أو الكوارث والحروب، وغيرها(Wahlgren,2001) . تحتوي المياه من الغلاف الجوي على ١٤% من المياه المخزنة في البحيرات والأنهار، وهي متوفرة عالميًا دون الحاجة إلى أنابيب أو سدود (Wahlgren,2001). وقد ازداد اهتمام الإنسان بالمياه بشكل ملحوظ في العقود الأخيرة. تُظهر الدراسات الدولية تغيرًا في نهج المجتمعات تجاه القضايا الجديدة، وفي هذا الصدد، يُمكننا فهم ذلك من خلال نظرة متعمقة على النهج الاستراتيجي للإنسان تجاه قضية المياه وطرق توفيرها. وهناك عدد كبير من الأبحاث التي تهتم بتوفير المياه من الغلاف الجوي.

تُعدّ ورقة Wahlgren *et al.* وآخرون نقطة انطلاق لأبحاثٍ مُوسّعة حول إنتاج الماء من الرطوبة. ففي عام ٢٠٠١، نشروا مراجعةً لمقالاتٍ مُتفرقة حول طُرق امتصاص رطوبة الهواء. شبّه Wahlgren في مقالته إنتاج الماء من الهواء بصناعة مُحركات الاحتراق الداخلي في أواخر القرن التاسع عشر، مُشيرًا إلى أنه كما أتاح تطور مُحركات البنزين السفر لمسافاتٍ أطول، ووفر انتشارًا سكانيًا وظروفًا معيشيةً أفضل، فإن تطور تقنيات حصاد الماء من الهواء يُمكن أن يُمكّن الناس من العيش براحةٍ في المناطق القاحلة والجافة، ويُخفف من أزمة نقص المياه التي تُواجه الملايين. وفي العام نفسه، استلهم Parker and Lawrence من الطبيعة لإنتاج الماء من الهواء، فدرسوا امتصاص الماء بواسطة خنافس الصحراء، وأظهروا أنها تستخدم تقنية الجمع بين النقاط المُحبة للماء والكارهة له لجمع الماء من الضباب. هذا النوع من الخنافس، للبقاء على قيد الحياة، يجمع ماء الشرب من ضباب الصباح على ظهره. أولًا، تُوضع قطرات الضباب على المناطق المحبة للماء، ثم تتراكم لتشكل قطرات كبيرة، فيصل الماء إلى المنطقة الكارهة للماء ويتجه نحو رأس خنفساء الصحراء (Parker and Lawrence, 2001). في عام ٢٠١٧، أحدث Kim H. et al وزملاؤه ثورة في تقنية استخلاص الماء من الهواء. فقد صمموا جهازًا قادرًا على إنتاج الماء من الهواء باستخدام الطاقة الشمسية (Kim H. et al , 2017) .

تتحدد كمية الماء في الهواء بثلاثة عوامل رئيسية، هي الرطوبة النسبية، ودرجة حرارة الهواء، والضغط الجوي الكلي. وبما أن الضغط الجوي يساوي ١٠١,٣٢٥ كيلو باسكال، تُسمى كمية بخار الماء لكل وحدة حجم من الهواء بالرطوبة المطلقة، بينما تُسمى نسبة الرطوبة المطلقة عند درجة حرارة معينة إلى الرطوبة المشبعة عند نفس درجة الحرارة بالرطوبة النسبية. ومن الجدير بالذكر أن عملية استخلاص الماء من رطوبة الهواء تتطلب

طاقة أقل عندما تكون الرطوبة عالية. وتُعدّ الظروف الجوية الحارة والرطبة الأنسب لاستخلاص الماء من الهواء (Canivet et al, 2014).

يحتاج إلى الكهرباء لتشغيل مصدر التبريد لدورة ضغط البخار أو التبريد الكهروحراري. ويجب أن تكون درجة حرارة مصدر التبريد أقل من درجة تكثف هواء النظام لتكثيف بخار الماء. يتم تقييم أداء النظام من خلال مؤشرين، وهما معدل حصاد المياه ومعدل استهلاك الطاقة، واللذان يتم تعريفهما على النحو التالي.

يُمثل المؤشر الأول كتلة الماء المُنتجة في الساعة بالكيلوغرام/ساعة، بينما يُمثل الثاني استهلاك الطاقة لكل وحدة كتلة من الماء المُنتج بالكيلوواط/ساعة/كيلوغرام. يُفضل ارتفاع قيمة المؤشر الأول وانخفاض قيمة المؤشر الثاني، لأن ذلك يعني إمكانية الحصول على كمية أكبر من الماء في وقت محدد، مع استهلاك أقل للكهرباء لإنتاج نفس الكمية.

يتم تقييم أداء أنظمة إنتاج المياه في ظل معايير تشغيلية وتصميمية متنوعة، مثل ضوء الشمس، ودرجة حرارة الهواء، والرطوبة النسبية، ومعدل تدفق كتلة الهواء. ويُعد تأثير هذه المعايير على أداء النظام ومعدل حصاد الماء واستهلاك الطاقة لكل وحدة كبيرًا. وكما هو متوقع، يكون أعلى إنتاج للمياه في المناخات الحارة والرطبة حيث يكون ضوء الشمس ودرجة الحرارة المحيطة والرطوبة النسبية مرتفعة (Canivet et al, 2014).

تختلف إمكانية حصاد المياه من الغلاف الجوي باختلاف مناطق العالم، وتعتمد على درجة التكثف في كل منطقة. يتطلب حصاد المياه من الغلاف الجوي خفض درجة حرارة الهواء إلى ما دون درجة التكثف، مما يؤدي إلى تكثف الرطوبة وإنتاج الماء. كلما انخفضت درجة التكثف، قلّت الطاقة اللازمة لخفضها وتكثيف الرطوبة. كما هو موضح في الشكل ٥، تختلف درجة التكثف باختلاف مناطق العالم، وكذلك باختلاف أشهر السنة. مع ذلك، يمكن تحديد نطاق درجة حرارة لدرجة التكثف في كل منطقة، ومن ثم تقدير كمية الطاقة اللازمة لحصاد المياه من الغلاف الجوي (Magrini et al,2017).

يُظهر تجميع المياه من الغلاف الجوي باستخدام معدل تدفق كتلة الهواء سلوكًا غير منتظم. عند سرعات هواء منخفضة، يمكن أن يبرد الهواء بالقرب من منطقة التبريد إلى درجات حرارة أقل، مما يزيد الفرق بين نسب الرطوبة عند المدخل والمخرج. من ناحية أخرى، عند معدلات تدفق كتلة هواء عالية، يجب على المبخر التعامل مع كتلة هواء أكبر، وبالتالي يقل الفرق بين رطوبة الهواء الخارج والداخل. عند نقطة ما بينهما، يوجد معدل تدفق كتلة هواء مناسب ينتج عنه أقصى كمية من الماء. تُظهر النتائج أنه مع زيادة الإشعاع الشمسي، يمكن للنظام أن يصطدم بكتلة هواء أكبر، مما يؤدي إلى إنتاج كمية أكبر من الماء (Magrini et al,2017).

١,٣. فرضيات البحث:

يفترض البحث أن تركيب منظومات طاقة شمسية على تخوم الأراضي الزراعية وفي المساحات الجرداء سيؤدي إلى توفير طاقة مجانية لتكثيف كميات كافية من الماء باستخدام طريقة التكثيف وأن تخزين الطاقة الكهربائية في مدخرات واستخدامها في الليل سيؤدي إلى زيادة كمية الماء التي يتم الحصول عليها خصوصاً أن الفترة المسائية هي المفضلة للسقاية.

١,٤. أهمية البحث:

تمكن أهمية البحث في المساهمة في نقل وتوطين تقنيات توليد المياه العذبة من غلاف الجوي ودعم الزراعة في المناطق الجبلية المشجرة بالزيتون وتتعر لمزيز من الجفاف بسبب تغيرات المناخ حيث يهدف البحث

إلى دراسة إمكانية توليد الماء في الجبال الساحلية باستخدام الطاقة الشمسية من خلا ما يسمى تقنية حصد الماء من الهواء.

١,٥. تقنيات حصاد الماء من الهواء

- **التكثيف بالتبريد Condensation-based**

تبريد الهواء المشبع بالرطوبة إلى دون درجة الندى لتكثيف بخار الماء كما هو الحال في أجهزة تكييف الهواء التي تنتج الماء ويتم التخلص منه دون فائدة. تعتمد خطوات حصاد الماء من الهواء بالتكثيف على تبريد الهواء الرطب إلى ما دون "نقطة الندى" ليتحول البخار إلى سائل تشمل العملية سحب الهواء عبر مروحة، تبريده عبر مبادل حراري، تكثيف القطرات، ثم تصفيتها وتخزينها، وتعمل بشكل أفضل في رطوبة نسبية أكبر من 40%، وتنتج ١-٤,٦ لتر لكل متر مربع من سطح التكثيف يومياً (Canivet et al, 2014).

خطوات حصاد الماء من الهواء بالتكثف:

شفط الهواء : يتم دفع أو سحب الهواء الجوي الرطب إلى داخل جهاز التكثيف باستخدام مروحة أو نظام طبيعي يعتمد على التدفق الطبيعي للهوا، مع العلم أن زيادة تدفق الهواء ستؤدي إلى زيادة إنتاج الماء بحسب الدراسة المرجعية (Canivet et al, 2014).

التبريد (تحت نقطة الندى) يمر الهواء عبر مبادل حراري أو أسطح باردة (باستخدام نظام تبريد) لتبريد الهواء إلى درجة حرارة منخفضة مادون "نقطة الندى."

التكثف :يتحول بخار الماء الموجود في الهواء إلى قطرات ماء سائلة عند اصطدامه بالأسطح الباردة داخل الجهاز يتم تجميع قطرات الماء الناتجة وتوجيهها إلى خزان خاص لتخزين المياه. لايحتاج الماء إلى الفلترة إذا كان مخصصاً لري المزروعات (Magrini et al,2017).

٢- مواد البحث وطرائقه:

تصميم حصادة المياه من الغلاف الجوي تعمل على التيار المستمر للاستغناء عن نظام الأنفرتر وبالتالي يتم تصميم نظام التّبريد المستمر ثم تصميم نظامPV الذي سوف يغذي النظام والقيام بتصميم نظام ملاحقة حركة الشمس أي أن النظام سوف يتحرك بحيث تكون أشعة الشمس ناظمة على المنظومة للحصول على أعلى طاقة ممكنة، من أجل ذوبان الثلج المتشكل على سطوح التبريد وبالتالي زيادة كمية المياه الناتجة. ،ومن ثم إجراء التّجارب.

التجهيزات المستخدمة هي : نظام تبريد، نظام pv كهروشمسي، متحكم Arduino uno ،حساس رطوبة وحرارة DHT11،reley، محرك سيرفو مستمر DM4000 ، مروحة ، LDR.

- نظام تبريد DC (DC cooling system):

لإنجاز ذلك تم القيام بتركيب نظم تبريد DC بسعة 112 لتر ونظام التبريد بضاغط ذو سرعات متغيرة VSDC له أربع سرعات (2000,2500,3000.) r.p.m .الضاغط مجهز بوحدة تحكم الكترونية تعمل على حماية الضاغط والبطارية، ولتنظيم سرعة الضاغط وُصلت مقاومات بقيم مختلفة إلى وحدة التحكم الإلكترونية.

أجريت الاختبارات على سطح مخبر بحوث الطاقة الشمسية في كلية الهندسة التقنية في طرطوس عند الشروط الجوية السائدة في فصل الخريف.

يبين الشكل (١) الضاغط VSDC المستخدم مع وحدة التحكم الإلكتروني المرفقة مع الضاغط.



الشكل (١) الضاغط المستخدم VSDC

تغذى دارة التبريد بواسطة نظام PV الذي يتضمن ثلاثة مكونات رئيسية، ١-ألواح شمسية عدد٢ باستطاعة 585 W لكل لوح.

٢-المحرك : تم استخدام محرك سيرفو DM4000 .

وتم التحكم فيه باستخدام ARduino Uno من خلال كود برمجي محدد لهذه الغاية حيث يبيين الشكل (2) محرك السيرفو DM4000 المستخدم.



الشكل (2) محرك السيرفو DM4000 المستخدم

٣-الحساسات: تم استخدام مقاومتين ضوئيتين و التي هي مقاومة كهربائية حساسة للضوء، تقل مقاومتها عند شدة سطوع الضوء عليها حيث تم استخدام مقاومتين ضوئيتين و ذلك من أجل استدارة انظام باتجاه اليمين أو اليسار (بالاتجاه الأكثر إشعاعاً) وذلك بهدف إذابة الثلج المتشكل على سطوح التبريد و بالتالي زياد كمية الماء و بالتالي زيادة إنتاجية النظام.

- حساسات الرطوبة والحرارة المستخدمة:

تم قياس درجة الحرارة و الرطوبة بواسطة الحساس DHT22 الشكل (3) بمجال من (40TO 120C-)بنسبة خطأ نصف درجة مئوية وبواسطة حساس حرارة و رطوبة رقمي . TA298 الشكل(4) ذو مجال من (50 to10-)\ indoorومن(70 to 50-)outdoor و ذلك باستخدام الأردوينو أنو و البرنامج في الملحق B .

وهنا استخدمنا في البداية نوعين من حساسات الرطوبة للتأكد من دقة القيمة المقروءة و لدى تأكدنا من أن القيمة متقاربة ($\pm 1°C$) ثم تم القيام باستخدام فقط الحساس DHT11 الشكل (٤) في بقية التجارب .



الشكل (4) حساس الرطوبة والحرارةDHT22



الشكل (٣) حساس الرطوبة و الحرارة TA298

- الريليه (releyl) :

هو عنصر كهربائي يتكون من مفتاح ميكانيكي عبارة عن ملف مغناطيسي يستقبل إشارة تحكم معينة طبقاً لها يقوم بتوصيل أو فصل الدارة أو الحمل.

يصنف الريليه حسب نقاط التلامس وعدد حوامل هذه التلامسات.

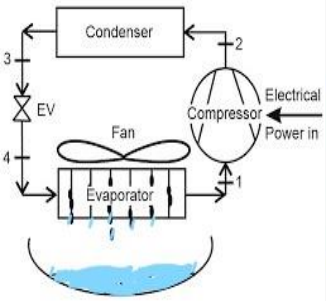
و هنا تم توصيل اريليه الشكل (٥) إلى الاردوينو وإلى أطراف المقاومات المذكورة آنفاً و ذلك للتحكم بدرجة التبريدمن خلال التحكم بسرعة محرك الضاغط و الذي هو محرك تيار مستمر 24فولت.

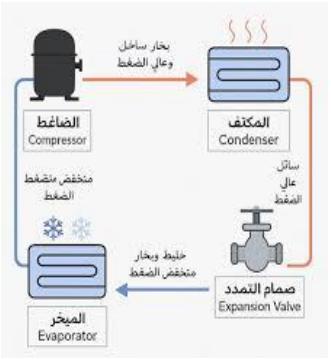


الشكل (5) ريليه finder ذو التماسات الثلاثة المستعمل لوصل المقاومات

يوضح الشكل (٦) الخطوات التي تم اتباعها لتكثيف الماء على سطر بارد وتم إجراء بعض التجارب للتحقق من إمكانية الحصول على كميات كافية من الماء.







الشكل (٦) مراحل حصاد الماء من الهواء

تم استخدام مروحة صغيرة (20 × 20) سم تعمل بتغذية 12 فولت مستمر و ذلك من أجل زيادة تدفق الهواء باتجاه سطوح التكثيف كما هو مبين في الشكل (٧)



.

الشكل (7) المروحة المستخدمة لزيادة تدفق تيار الهواء باتجاه المبخر.

١,٢.تصميم التجارب:

تم إجراء الاختبارات عديدة في أيام متباعدة، في النهار من الساعة التاسعة صباحاً حتى الساعة الثالثة عصراً حيث تم تغيير سرعة الضاغط (...4000 ,3500 ,3000،2500،2000)r,p,m كانت التجارب الأولى بدون استخدام المروحة وفي مرحلة تالية مع استخدام المروحة أما في المرحلة الثالثة ت اختبار النظام كل يوم بسرعة مختلفة مع استخدام المروحة و تم أخذ قراءة للسرعة و الرطوبة و الحرارة كل ساعة ومن ثم تم قياس كمية الماء الناتجة في كل ساعة و على مدار ساعات القياس بكل يوم ومن ثم تم اختيار السرعة المناسبة للحصول على أكبر كمية من الماء.

٣- النتائج والمناقشة:

- **التجربة الأولى:** ٢٠ آب ٢٠٢٥. مكان الاختبار: تم نقل المنصة والتجارب إلى سطح المنزل للتمكن من متابعة تسجيل القياسات حيث تم استخدام بطارية أنبوبية تشحن من مجموعة ألواح مركبة على سطح المنزل، أجري الاختبار لمدة ثلاثة أيام مشمسة متتالية ضمن الشروط التالية: سرعة الضاغط: (٣٠٠٠) r.p.m استطاعة الضاغط تتراوح بين ١٠-١٠٠ واط، وسرعة الضاغط قابلة للتحكم: أقل سرعة r.p.m ٢٠٠٠ وأعلى سرعة r.p.m ٦٠٠٠ . تم قياس درجات الحرارة والرطوبة النسبية وتم حساب كمية الماء الحاصلة في كل ساعة. وكانت النتائج كما هو موضح في الجدول (١).

الجدول (١) قيم درجة الحرارة والرطوبة النسبية وكمية الماء

الساعة	درجة حرارة الوسط	الرطوبة النسبية %	كمية الماء [مل]
9	٢٩,٢	٥٩	---
١٠	٢٩	٥٧	٦٤
١١	٣٠,٣	٥٨	٦٢
١٢	٣٠,٨	٥٨	٦٨
١	٣١,٢	٦١	٦٥
٢	٣٠,٨	٥٩	٦٥
٣	٣٢,٣	٦٠	٦٦
بمتوسط ٦٥ مل في الساعة			

تم قياس القدرة الكهربائية المستهلكة من البطارية خلال تلك الفترة فكانت الطاقة المسحوبة للمروحة والضاغط وق كانت بمعدل 300 w في الساعة. لوحظ أن كمية الماء المتولدة ارتفعت مع زيادة درجة الحرارة قليلا. حيث كانت أحلى قيمة في الظهيرة عند الساعة ١٢ ظهرا.

- تم إعادة الاختبار بالشروط نفسها في اليوم التالي لكن في الليل لإجراء المقارنة، تمت التغذية الكهربائية من المدخرة الموجودة لسهولة إجراء القياسات بافتراض أن القدرة المستهلكة المخزنة في المدخرة هي من الطاقة الشمسية.
- سرعة الضاغط : (٣٠٠٠) r.p.m وتم قياس درجات الحرارة والرطوبة النسبية وتم حساب كمية الماء الحاصلة كماهو موضح في الجدول (٢)

الجدول (٢) قيم درجة الحرارة والرطوبة النسبية وكمية الماء ليلا

الساعة	درجة حرارة الوسط	الرطوبة النسبية %	كمية الماء [مل]
8	٢٨	٦٠	--
٩	٢٨	٦٢	٧٢
١٠	٢٧,٣	٦٢	٧٣
١١	٢٦,٨	٦٣	٧٣،٣
١٢	٢٥,٢	٦٤	٧٤
١	٢٤,٨	٦٥	٧٤
٢	٢٣,٣	٦٥	٧٥
بمتوسط ٧٣،٥ مل في الساعة	معدل استهلاك الطاقة لم يتغير		

- نلاحظ أن معدل إنتاج الماء زاد بمقدار ١ مل في الساعة. في الأيام التالية لم تتغير النتائج بشكل ملحوظ لذلك تم الاكتفاء بالنتائج السابقة. إن الزيادة في كمية الماء المتولدة ليلا يمكن أن يعز إلى أن انخفاض الحرارة ليلا بالتزامن مع تبخير كميات من مياه البحار الدافئة يزيد من رطوبة النسبية بالتالي من كمية الماء المتولدة

- **التجربة الثانية:** بعد شهر في ظروف جوية مختلفة قليلاً.
- **يوم الاختبار ٢١ أيلول ٢٠٢٥**
- سرعة الضاغط : (٣٠٠٠) r.p.m وتم قياس درجات الحرارة والرطوبة النسبية وتم حساب كمية الماء الحاصلة كا هو موضح بالجدول (٣).

الجدول (٣) قيم درجة الحرارة والرطوبة النسبية وكمية الماء في المرحلة الثانية

الساعة	درجة حرارة الوسط	الرطوبة النسبية %	كمية الماء [مل]
٩	٣٠,٢	٥٧	--
١٠	٣٠	٥٨	٧٨
١١	٣١	٦٠	٧٩
١٢	٣٢	٦٣	٨١
١	٣٢	٦٤	٨٣
٢	٣٢،٥	٦٦	٨٤
٣	٣٢	٦٧	٨٥
بمتوسط ٨١ مل في الساعة	معدل استهلاك الطاقة لم يتغير		

يعود سبب الزيادة هو زيادة نسبة الرطوبة وزيادة درجة حرارة الهواء الداخل إلى المكثف.

تم تكرار التجربة في الليل وكانت النتيجة مشابهة للتجربة الأولى ولم نورد النتائج لعدم جدوى تكرار النتيجة نفسها.

التجربة الثالثة: تشغيل المروحة لزيادة تدفق الهواء ضمن المكثف وتم تسجيل النتائج في الجدول التالي: مع استخدام المروحة

يوم الاختبار: ٢٢ أيلول ٢٠٢٥ شروط الاختبار السابقة نفسها وسرعة المروحة ثابتة ١٠٠٠ r.p.m. كماهو موضح في الجدول ٤

الجدول (٤) قيم درجة الحرارة والرطوبة النسبية وكمية الماء مع تشغيل المروحة

الساعة	درجة حرارة الوسط	الرطوبة النسبية %	كمية الماء [مل]
٩	٢٩	٦٠	--
١٠	٣٠	٦١	٨١
١١	٣١	٦٢	٨٢
١٢	٣١	٦٣	٨٣
١	٣٢	٦٤	٨٣
٢	٣٢	٦٦	٨٥
٣	٣١	٦٧	٨٥
بمتوسط ٨٣ مل في الساعة	معدل استهلاك الطاقة لم يتغير	سرعة المروحة 1000 r.p.m	

التجربة الرابعة: تم تغيير سرعة الضاغط هو موضح بالجدول (٥)

الجدول (٥) قيم درجة الحرارة والرطوبة النسبية وكمية الماء مع تشغيل المروحة مع تغيير سرعة الضاغط

الساعة	سرعة الضاغط	الرطوبة النسبية %	كمية الماء [مل]
٩	٢٠٠٠	٦٣	--
١٠	٢٥٠٠	٦٤	٨٠
١١	٣٠٠٠	٦٥	٨٦
١٢	٣٥٠٠	٦٥	٨٩
١	٤٠٠٠	٦٥	٩٢
٢	٥٠٠٠	٦٦	٩٤
٣	٥٠٠٠	٦٧	٩٤
بمتوسط ٨٩ مل في الساعة	معدل استهلاك الطاقة لم يتغير	سرعة المروحة 1000 r.p.m	

يلاحظ بشكل عام أن زيادة سرعة الضاغط ساهم بزيادة توليد كمية الماء المتولدة حيث زادة من ٨٠ مل عند سرعة 2000 rpm إلى ٩٤ مل عند السرعة 5000 rpm. وبشكل عام أن عام زيادة الرطوبة النسبية يمكن أن تسمح بتخفيض سرعة الضاغط.

ولوحظ بوضوح أن استخدام المنظومة في الليل يحسن الإنتاجية بشكل ملحوظ، وكذلك سرعة تدفق الهواء في المكثف يؤدي إلى النتيجة نفسها. النتائج التي تم الحصول عليها هي أقل بكثير من المعدلات العالمية في المنصات التي تم الاطلاع عليها، لكن يمكن تحسين شروط التجربة وتحسين عمليات التصنيع لتقترب من النتائج العالمية.

٤- الاستنتاجات والتوصيات:

- يمكن حصاد الماء من الهواء الرطب مجاناً باستخدام منظومات الطاقة الشمسية المستقلة، في مناطق بعيدة بكلفة استثمار قلياة.

- بلغت أعلى قيمة لكمية الماء المستخلصة لتر واحد في اليوم في أحسن الأحوال وهي كمية قليلة نسبياً قياساً بالتجارب العالمية المشابهة.
- استخدام التقنية في الليل أدى إلى زيادة كميات الماء المولد بنسبة تزيد عن ١٣% ويمكن أن تتحسن مع تحسن شروط التصنيع.
- يمكن إنشاء مشاريع كبيرة لمواجهة الجفاف في أوقات الصيف.
- زيادة تدفق الهواء ونسبة الرطوبة تقود إلى زيادة كمية الماء الناتج.

التوصيات:

- أتمتة عمليات الفصل– وصل للضاغط لتجنب تجمد الماء على ألواح التكثيف.
- ربط سرعة المروحة (تدفق الهواء في المكثف) بدرجة التبريد من خلال قياس دراجات الحرارة للحفاظ عليها حول درجة الندى وترشيد استهلاك الطاقة.
- دمج تقنية حصاد الماء من الغلاف الجوي بتصميم وتصنيع اللوح الشمسي.

5- References

1. SADHWANI, J. J. ;VEZA, J. M. ; SANTANA , C. 2005, *Case studies on environmental impact of seawater desalination*. Desalination.;185

2. IBRAHIM, H. D. ; ELTAHIR, E. A. 2019, *Impact of brine discharge from seawater desalination plants on persian/arabian gulf salinity*. J. Environ. Eng.;145(12):04019084.

3. AL-ZUBARI ,W. ; ELSADEK, A. ; KHADIM, M, 2021, *Environmental Impacts of Seawater Desalination on the Marine Environment in the Kingdom of Bahrain*. J. Eng. Res.;27

٤. WILLIAM, G. E. ; MOHAMED, M. ; FATOUH, M. 2015, *Desiccant system for water production from humid air using solar energy*. Energy.;90:1707–1720.

5. MILANI, D. ; QADIR, A. ; VASSALLO, A. ; CHIESA, M. ; ABBAS, A. 2014, Experimentally validated model for atmospheric water generation using a solar assisted desiccant dehumidification system. Energy Build.;77:236–246.

6. MULCHANDANI, A. ; WESTERHOFF, P. 2020, *Geospatial climatic factors influence water production of solar desiccant driven atmospheric water capture devices*. Environ. Sci. Technol.54(13):8310–8322.

7. WAHLGREN, R. V. 2001, *Atmospheric water vapour processor designs for potable water production: a review*. Water Res.;35(1):1–22.

8. PARKER, A. R. ; LAWRENCE, C. R. 2001, *Water capture by a desert beetle. Nature*.;414(6859):33–34.

9. KIM, H. ; YANG, S. ; RAO, S R. ; NARAYANAN ,S. ; KAPUSTIN, A. ; FURUKAWA, H. , 2017, *Water harvesting from air with metal-organic frameworks powered by natural sunlight*. Science.356(6336):430–434.

10. CANIVET, J. ; FATEEVA, A. ; GUO, Y. ; COASNE, B. ; FARRUSSENG, H. ; UMANS, AS. ; YAGHI, O M ; WANG E N. 2014, *Water adsorption in MOFs: fundamentals and applications. Chem. Soc. Rev.* 2014;43(16):5594–5617.

11. MAGRINI, A. ; CATTANI, L. ; CARTESEGNA, M. ; MAGNANI, L. 2017, *Water production from air conditioning systems: some evaluations about a sustainable use of resources. Sustainability*.;9(8):1309.