

MENOUFIA JOURNAL OF AGRICULTURAL ENGINEERING

<https://mjae.journals.ekb.eg/>

Title of Thesis : Effectiveness of the insulation and evaporation cooling assisted by solar energy for environmental control inside a room for growing barley during the summer

Name of Applicant : Abdelhadi Mahmoud Abdelhadi Ali

Scientific Degree : M.Sc.

Department : Agricultural and Biosystems Engineering

Field of study : Agricultural Engineering

Date of Conferment : Mar. 12 , 2025

Supervision Committee:

- Dr. A. H. A. Eissa: Prof. of Agricultural Engineering, Fac. of Agric., Menoufia Univ.
- Dr. M. N. B. Omar: Prof. of Agricultural Engineering, Fac. of Agric., Menoufia Univ.
- Dr. S. F. B. Elsisi: Associate Prof. of Agricultural Engineering., Fac. of Agric., Menoufia Univ.

SUMMARY

The main objective of this study was to control the environment inside a room to grow barley during the summer using renewable energy (solar energy). The sub main objectives of this study are application of using solar energy in one of the agricultural sectors to avoid impact of climate change, high energy prices and food availability by creating internal conditions in a thermally insulated room cooled by evaporative cooling, raising the efficiency of the renewable energy consumed to achieve the highest cooling efficiency inside a thermally insulated room to produce cultured barley as an alternative to fodder and Providing freshwater by using seawater in the evaporative cooling process. This study was conducted in the Agricultural Engineering and Biosystems Department, Faculty of Agriculture, Shebin El Kom, Menoufia University, Egypt during of the year 2023 from August to October. To achieve this objective, a polyurethane sandwich room was designed with an evaporative cooling system used to reduce thermal loads to save the conditions for barley germination. A mathematical model was designed to predict the factors affecting evaporative cooling. The effect of different air velocities at different water flow rates was studied on indoor air temperature by the mathematical Model under climatic parameters and using silica gel to reduce air humidity. The system was operated using new and renewable energy (solar energy) under the optimal conditions of the mathematical model and the experimental study. The cold exhaust air was used to cool the solar panels and decrease the loss in their efficiency. The effect of using seawater in the evaporative cooling process on the indoor air temperature and cooling efficiency was studied.

The obtained results can be summarized as follows:

- 1- The best results were obtained from the mathematical model at 1.25 m s^{-1} of air velocity and $4 \text{ L min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ of water flow rate using silica gel.
- 2- The mathematical model's results were validated with the experimental study's results, which were consistent and proved the model's success.
- 3- The optimum conditions for barley production were obtained experimentally at 1.25 m s^{-1} of air velocity and $4 \text{ L min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ of water flow rate using silica gel with 97.40 % of Cooling Efficiency, which were consistent with the mathematical model; the indoor air temperature ranged from 18.15 to 23.31 °C theoretically. In contrast, it ranged from 18.36 to 25.21 °C experimentally with a minimum correlation coefficient of 0.944 between predicted and measured values.
- 4- The solar panel system was cooled by exhaust evaporative cooling air at the selected parameters from the evaporative cooling experiment (1.25 m s^{-1} of air velocity and $4 \text{ L min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ of water flow rate using silica gel).

- 5- The daily electrical energy from the solar panel was 7.13 MJ day^{-1} . When cold air was used to cool the panel and reduce its efficiency loss, it increased to 8.32 MJ day^{-1} , an increase of 16.7 % in electrical energy at a daily solar energy of $23.68 \text{ MJ day}^{-1}$.
- 6- The average daily efficiency of the solar panel was 14.01 %, and with cooling the solar panel, the average daily efficiency increased to 16.11 %, with a 14.9% increase in panel efficiency.
- 7- The total daily value of electrical energy production from the designed solar panel system was $33.64 \text{ MJ day}^{-1}$, while the total electrical energy consumed by the fan, pump, and lighting was $30.72 \text{ MJ day}^{-1}$ with an overflow of 2.92 MJ day^{-1} .
- 8- The results of barley obtained during the study under the conditions of the selected treatments from the evaporative cooling experiment during seven days of germination were: The average plant length was 25 cm, and the average yield per kg of grains was 7.5 kg of green fodder. The results of laboratory analysis of random barley samples were Protein: 18.9 %, Raw fiber: 12.5 %, Fats: 3.3 %, Starch: 15.3 %, digestible energy: 12.9 MJ/kg .
- 9- The study of using seawater proves slightly lower cooling performance and energy use efficiency, with no harmful effect on plants. It provides the feasibility of evaporative cooling using seawater. However, it requires cleaning by washing it with salt after a while and not changing it, which increases costs.

Recommendations:

The following recommendations can be drawn from the results of this study:

- The study recommends using the mathematical model for the direct evaporative cooling system to predict and select the optimum main factors affecting the performance of the evaporative cooling system under different climatic conditions.
- The system has helped achieve high efficiency in providing and creating optimal conditions for plant growth with the lowest energy consumption. Therefore, we recommend using this system on reclaimed lands or in new or not reclaimed areas.
- This system can be used to cool out most facilities efficiently, increasing productivity and quality while reducing energy costs.
- The study recommends the use of 1.25 m s^{-1} of air velocity with $4 \text{ L min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ of water flow rate to provide the optimal conditions for barley germination according to the working conditions in the study.
- The study recommends the use of silica gel in cooling evaporative systems, but it needs more study on the continuous removal of moisture from it.
- The use of photovoltaic cells to provide the energy consumed in the evaporative cooling systems and any other use of energy on the farm.
- Using cold exhaust air from the evaporative cooling system to cool solar panels, reduce efficiency loss, and increase electricity production.
- The study recommends the use of seawater as it is suitable for use in cooling, especially in coastal areas, but it needs continuous maintenance.
- Existence of expected profits during the operation of the proposed system.

عنوان الرسالة: فعالية العزل والتبريد التبخيري بمساعدة الطاقة الشمسية للتحكم البيئي داخل غرفة لاستنبات الشعير خلال فصل الصيف

اسم الباحث : عبدالهادي محمود عبدالهادي علي

الدرجة العلمية: الماجستير في العلوم الزراعية (هندسة زراعية)

القسم العلمي : الهندسة الزراعية والنظم الحيوية

تاريخ موافقة مجلس الكلية : ٢٠٢٥/٣/١٢

لجنة الإشراف: أ.د. ايمن حافظ عامر عيسى أستاذ الهندسة الزراعية، كلية الزراعة، جامعة المنوفية
أ.د. محمد نبيه بيومي عمر أستاذ الهندسة الزراعية، كلية الزراعة، جامعة المنوفية
د. سعيد فتحي بدوي السيسى أستاذ الهندسة الزراعية المساعد، كلية الزراعة، جامعة المنوفية

الملخص العربي

مقدمة:

يشكل تغير المناخ تهديدًا كبيرًا للزراعة العالمية، حيث يؤثر على الأمن الغذائي وسبل العيش والاقتصاديات. هناك حاجة إلى اتخاذ إجراءات عاجلة لتبني ممارسات زراعية مستدامة، وتطوير تقنيات مقاومة للتغير المناخي، وتنفيذ سياسات تعمل على الحد من الانبعاثات وتعزيز التكيف حتى يصبح القطاع الزراعي أكثر قدرة على الصمود في مواجهة تغير المناخ مع ضمان الأمن الغذائي. يعد التحكم البيئي الزراعي حلاً واعداً للتخفيف من تأثير تغير المناخ على إنتاج الغذاء. ومن خلال دمج التكنولوجيا وكفاءة الموارد والممارسات المستدامة، يعمل التحكم البيئي الزراعي على تعزيز الأمن الغذائي مع الحد من البصمة البيئية السلبية للزراعة. تشكل أسعار الطاقة المتزايدة والانبعاثات تحديات كبيرة للتنمية الزراعية. وتؤدي تكاليف الطاقة المرتفعة إلى زيادة نفقات الإنتاج، مما يجعل الغذاء أكثر تكلفة، في حين تساهم الانبعاثات في تغير المناخ. ويتطلب التصدي لهذه التحديات التحول نحو الزراعة الموفرة للطاقة المستدامة. إن التحول إلى الطاقة المتجددة أمر ضروري لمعالجة تكاليف الطاقة المتزايدة، وخفض الانبعاثات، وضمان مستقبل مستدام، كما أن الاستثمار في حلول الطاقة المتجددة من شأنه أن يعمل على استقرار الاقتصاديات، وحماية البيئة، وخلق أمن الطاقة على المدى الطويل.

تعد مصر واحدة من أكثر دول العالم تعرضاً لأشعة الشمس، حيث تتميز بمناخ جاف وشبه جاف يتميز بمستويات عالية من الإشعاع الشمسي، وخاصة خلال أشهر الصيف. وتتلقي البلاد ما متوسطه ٢٨٠٠ إلى ٣٢٠٠ ساعة من أشعة الشمس سنوياً (شومان، ٢٠١٧)، مما يجعلها موقعاً مثالياً لإنتاج الطاقة الشمسية. ومع ارتفاع الطلب على الطاقة والتحول العالمي نحو الطاقة المتجددة، توفر موارد الطاقة الشمسية الوفيرة في مصر حلاً مستداماً لمواجهة العقبات التي تعترض عمليات التنمية الزراعية. تتعرض موارد مصر المائية لضغوط شديدة بسبب النمو السكاني السريع والطلب الزراعي وتغير المناخ. ومع محدودية موارد المياه العذبة الطبيعية والحاجة المتزايدة للمياه في القطاعات الحضرية والصناعية والزراعية، تواجه مصر تحديات كبيرة في ضمان المياه الكافية لشعبها واقتصادها. تستهلك الزراعة حوالي ٨٠-٨٥٪ من موارد مصر المائية (نجم، ٢٠١٩) ويتم استخدام المياه بشكل غير فعال في العديد من المناطق مما يؤدي إلى الهدر، لذلك كان من الضروري إيجاد طريقة لتوفير المياه، وتتمثل تلك الطريقة في استخدام مياه البحر ومياه الصرف الزراعي بدلاً من المياه العذبة المستخدمة في عملية التبريد التبخيري المستخدمة في الزراعة البيئية الخاضعة للرقابة، كمحاولة لتخفيف الضغط على استخدامات المياه العذبة في الزراعة.

تشهد مصر مشكلة في توفير الأعلاف اللازمة للإنتاج الحيواني وتحتاج إلى استيراد هذه الأعلاف بتكلفة عالية حيث يصل سعر طن أعلاف دجاج اللحم على سبيل المثال إلى ٢١٣٠٠ إلى ٢٢٣٠٠ جنيه مصري وسعر أعلاف الماشية ١٤٠٠٠ إلى ١٨٥٠٠ جنيه مصري (TRIDGE, 2024) كما أن زراعة هذه الأعلاف في مصر تؤدي إلى تقليص مساحة الأراضي المخصصة لزراعة المحاصيل اللازمة لغذاء الإنسان حيث تبلغ مساحة الأراضي المزروعة ٠,٥ هكتار للفرد (الفاو, ٢٠٢٢) وهو من أقل المعدلات في العالم. ويعتبر استنبات الشعير أحد الحلول للحد من نقص الأعلاف في مصر حيث يتطلب مياه أقل بنحو ٨٠٪ ويستمر عادة لمدة ٧-٨ أيام فقط (فرغلي وآخرون, ٢٠١٩). بالإضافة إلى ذلك، فإن ٥٠ مترًا مربعًا من غرف الاستنبات تعطي نفس إنتاجية ٢,٩٤ هكتارًا من زراعة البرسيم سنويًا (حجاب, ٢٠١٨). يوفر الشعير المستنبت خيارات علف غنية بالمغذيات، مفيدة بشكل خاص للحيوانات المجترة مثل الأبقار والأغنام والماعز بسبب محتواها من البروتين والفيتامينات والإنزيمات (هلال, ٢٠١٥).

يتطلب استنبات الشعير درجة حرارة تتراوح بين ١٨-٢٢ درجة مئوية، ورطوبة نسبية ٧٠٪، ووقت إضاءة ١٦٨ ساعة (كامل وآخرون, ٢٠٢١) والتي يمكن توفيرها من خلال التحكم البيئي داخل الغرف، وهي طريقة فعالة في الأراضي المستصلحة أو في المناطق الجديدة أو غير المستصلحة.

الهدف الرئيسي لهذه الدراسة هي: -

- 1- تطبيق لاستخدام الطاقة الشمسية في أحد القطاعات الزراعية لتجنب تأثير تغير المناخ وارتفاع أسعار الطاقة وتوفير الغذاء.
- 2- رفع كفاءة الطاقة المتجددة المستهلكة لتحقيق أعلى كفاءة تبريد داخل غرفة معزولة حراريًا لإنتاج الشعير المستنبت كبديل للأعلاف التقليدية.
- 3- توفير المياه العذبة وتقليل الاعتماد عليها في أنظمة التبريد التبخيري باستخدام بدائل لها.

ولتحقيق هذه الاهداف:

- تم إنشاء غرفة معزولة حراريًا من مادة البولي يوريثان ذات الموصلية الحرارية ٠,٠٢٢ واط/متر. درجة كلفن ولتوفير الظروف البيئية لإنتاج الشعير خلال فصل الصيف تم استخدام نظام تبريد تبخيري مباشر وكانت متغيرات الدراسة سرعات الهواء المختلفة (١ و ١,٢٥ و ١,٥ م/ث) عند معدلات تدفق مياه مختلفة (٢ و ٤ لتر/دقيقة/م^٢) كما تم استخدام مادة السيلكا جيل لتقليل رطوبة الهواء وزيادة كفاءة التبريد.
- تم تصميم نظام الألواح الشمسية لتشغيل نظام التبريد التبخيري عند أفضل المتغيرات المختارة من التبريد التبخيري.

ولتحقيق أهداف الدراسة، تم تقسيم الدراسة إلى جزئين:

1- الدراسة النظرية

في هذه الدراسة تم تصميم نموذج رياضي للتنبؤ واختيار متغيرات الدراسة المؤثرة على أداء نظام التبريد التبخيري.

٢- الدراسة العملية

هذه الدراسة اشتملت على:

- أ- التحقق من صحة النموذج الرياضي المصمم تحت تأثير متغيرات التبريد التبخيري من سرعات الهواء ومعدلات تدفق المياه بالإضافة الي استخدام السيلكا جيل مع متغيرات التبريد التبخيري لتقليل رطوبة الهواء قبل مروره على وسادة التبريد.
- ب- تقليل استهلاك الطاقة التقليدية وتعزيز إنتاج الطاقة الجديدة والمتجددة من خلال:
 - استخدام الطاقة الشمسية لتشغيل نظام التبريد التبخيري.

- تحسين كفاءة الألواح الشمسية وتقليل الفواقد في الكفاءة لإنتاج الكهرباء عن طريق تبريد الألواح بالهواء البارد المنبعث من نظام التبريد التبخيري.
- ج- توفير المياه العذبة المستهلكة في عملية التبريد التبخيري باستخدام مياه البحر بدلاً منها.

ويمكن تلخيص النتائج التي تم الحصول عليها كما يلي:

- تم الحصول على أفضل النتائج من النموذج الرياضي عند سرعة هواء ١,٢٥ م/ث ومعدل تدفق مياه ٤ لتر/دقيقة/م^٢ باستخدام السيليكا جيل.
- تم التحقق من صحة نتائج النموذج الرياضي بنتائج الدراسة التجريبية والتي كانت متوافقة وأثبتت نجاح النموذج الرياضي.
- تم الحصول على الظروف المثلى لإنتاج الشعير تجريبياً عند سرعة هواء ١,٢٥ م/ث ومعدل تدفق مياه ٤ لتر/دقيقة/م^٢ باستخدام السيليكا جيل مع كفاءة تبريد ٩٧,٤٠% والتي كانت متوافقة مع النموذج الرياضي حيث تراوحت درجة حرارة الهواء الداخلي من ١٨,١٥ إلى ٢٣,٣١ درجة مئوية نظرياً بينما تراوحت تجريبياً من ١٨,٣٦ إلى ٢٥,٢١ درجة مئوية مع معامل ارتباط أدنى ٠,٩٤٤ بين القيم المتوقعة والمقاسة.
- تم تبريد منظومة الألواح الشمسية عن طريق عدم هواء التبريد التبخيري عند المعاملات المختارة من تجربة التبريد التبخيري (١,٢٥ م/ث من سرعة الهواء و ٤ لتر/دقيقة/م^٢ من معدل تدفق المياه باستخدام السيليكا جيل).
- بلغت الطاقة الكهربائية اليومية الناتجة من اللوح الشمسية ٧,١٣ ميغا جول في اليوم وعند استخدام الهواء البارد لتبريد اللوح وتقليل الفاقد في كفاءتها زادت إلى ٨,٣٢ ميغا جول في اليوم بزيادة قدرها ١٦,٧٪ في الطاقة الكهربائية عند طاقة اشعاع يومية ٢٣,٦٨ ميغا جول في اليوم.
- بلغ متوسط الكفاءة اليومية للوح الشمسي ١٤,٠١٪ ومع تبريد اللوح الشمسي زاد متوسط الكفاءة اليومية إلى ١٦,١١٪ بزيادة ١٤,٩٪ في كفاءة اللوح.
- بلغت القيمة الكلية اليومية لإنتاج الطاقة الكهربائية من منظومة الألواح الشمسية المصممة ٣٣,٦٤ ميغا جول يومياً، بينما بلغ إجمالي الطاقة الكهربائية المستهلكة بواسطة المروحة والمضخة والإضاءة ٣٠,٧٢ ميغا جول يومياً مع فائض ٢,٩٢ ميغا جول يومياً.
- كانت نتائج الشعير المتحصل عليها أثناء الدراسة عند المعاملات المختارة من تجربة التبريد التبخيري خلال سبعة أيام من الإستنبات: كان متوسط طول النبات ٢٥ سم، ومتوسط الانتاج لكل كيلو جرام حبوب ٧,٥ كجم علف أخضر. وكانت نتائج التحليل المعملية لعينات الشعير العشوائية: البروتين: ١٨,٩٪، الألياف الخام: ١٢,٥٪، الدهون: ٣,٣٪، النشا: ١٥,٣٪، الطاقة المهضومة: ١٢,٩ ميغا جول / كجم.
- أثبتت دراسة استخدام مياه البحر انخفاض أداء التبريد وكفاءة استخدام الطاقة بشكل طفيف دون أي تأثير ضار على النباتات وتوفر جدوى التبريد التبخيري باستخدام مياه البحر مع ضرورة تنظيفها بغسلها من الأملاح بعد فترة وعدم تغييرها مما يسبب زيادة في التكاليف.

التوصيات

من نتائج هذه الدراسة يمكن وضع التوصيات الآتية:

- توصي الدراسة باستخدام النموذج الرياضي لنظام التبريد التبخيري المباشر للتنبؤ واختيار القيم المثلى للمتغيرات المؤثرة على أداء نظام التبريد التبخيري تحت ظروف مناخية مختلفة.
- ساعد النظام على تحقيق كفاءة عالية في توفير وتهيئة الظروف المثلى لنمو النباتات بأقل استهلاك للطاقة، لذلك نوصي باستخدام هذا النظام في الأراضي المستصلحة أو في المناطق الجديدة أو غير المستصلحة.

- يمكن تطبيق هذا النظام لتبريد معظم المنشآت بكفاءة عالية لزيادة الإنتاجية والجودة مع تقليل تكاليف الطاقة.
- توصي الدراسة باستخدام سرعة هواء ١,٢٥ م/ث بمعدل تدفق مياه ٤ لتر/دقيقة/م^٢ لتوفير الظروف المثلى لاستنبات الشعير وفقاً لمتغيرات الدراسة.
- توصي الدراسة باستخدام السيليكا جيل في نظام التبريد التبخيري ولكن الأمر يحتاج إلى مزيد من الدراسة حول امكانية ازالة الرطوبة الممتصة باستمرار.
- استخدام الخلايا الكهروضوئية لتوفير الطاقة المستهلكة في أنظمة التبريد التبخيري وأي استخدام آخر للطاقة في المزرعة.
- استخدام الهواء البارد الناتج عن نظام التبريد التبخيري لتبريد الألواح الشمسية، وتقليل الفواقد في الكفاءة وزيادة إنتاج الكهرباء.
- توصي الدراسة باستخدام مياه البحر فهي مناسبة للاستخدام في التبريد وخاصة في المناطق الساحلية ولكنها تحتاج إلى صيانة مستمرة.
- وجود أرباح متوقعة أثناء تشغيل النظام المقترح.