

تأثير نوعية وسماكة التربة المحيطة بقاعدة بركة شمسية على أداءها

د. م. منذر سليمان*

د. م صفاء الأحمد**

(تاريخ الإيداع 2023/11/17 . قُبِلَ للنشر في 2023/12/19)

□ ملخص □

تم في هذا البحث دراسة أداء نموذج لبركة شمسية يراد بناؤها في طرطوس- سورية وذلك تحت تأثير (نوعية التربة المحيطة بقاعدة البركة وسماكتها d_g) باستخدام مواد خازنة للحرارة متوفرة في القطر، مساحتها 1500 m^2 ، ومطلية قاعدتها بمادة سوداء لتحسين امتصاص الإشعاع الشمسي، ومعزولة بمادة الستيروفوم، والملح المستخدم فيها هو ملح كلوريد الصوديوم (Na Cl) بتركيز $260 \text{ [kg/m}^3]$ ، والحرارة المطلوب اختزانها في طبقتها السفلية تبلغ $95 \text{ }^\circ\text{C}$ ، ودراسة تأثير هذه العوامل على استقرار عمل البركة ، وعلى كمية الحرارة المستخرجة منها q_s ، وبالتالي على كفاءتها η ، وذلك خلال أشهر الصيف (حزيران - تموز - آب - أيلول - تشرين الأول)؛ مستخدمين البرنامج الحاسوبي /EES/ بهدف الوصول إلى النوعية، والسماكة المثلى للتربة تحتها التي تحقق أفضل أداء لهذه البركة. أظهرت التجارب الأثر الواضح لنوعية التربة الموجودة تحت البركة الشمسية، وكذلك أثر سماكتها في تحسين أداء البركة، وذلك من خلال التأثير على كمية الحرارة الممكن استخراجها منها، وعلى مردودها، فقد تحقق الأداء الأفضل لها عند استخدام تربة رملية، في حين تناسب هذا الأداء طرداً مع أكبر سماكة تربة مدروسة وقدرها (5 m) فقد بلغ الأداء عند هذه السماكة القيمة $\eta=25.98\%$ والموافق لأكبر كمية حرارة يمكن استخراجها منها وقدرها $q_s=2158 \text{ W/m}^2$ ، وذلك في شهر حزيران بينما كان الأداء الأسوأ لها في شهر تشرين الأول. **كلمات مفتاحية:** البرنامج الحاسوبي EES، نوعية التربة - سماكة التربة- أداء البركة الشمسية.

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

The effect of the quality and thickness of the soil surrounding the base of a solar pond on its performance

Dr. Monzer Suleiman *
Dr. Safaa Al Ahmad **

(Received 17/11/2023 . Accepted 19/12/2023)

□ ABSTRACT

In this research, the performance of a model of a solar pond to be built in Tartous - Syria was studied under the influence of (the quality of the soil surrounding the base of the pond and its thickness d_g) using heat-storing materials available in the country, with an area of 1500 m^2 , and its base coated with a black material to improve the absorption of solar radiation, insulated with Styrofoam, and the salt used in it is sodium chloride salt (Na Cl) with a concentration of $260 \text{ [kg/m}^3\text{]}$, the temperature required to be stored in its lower layer is 95°C , And to study the effect of these factors on the stability of the pond's operation, and on the amount of heat extracted from it (q_s), and thus on its efficiency (η), during the summer months (June - July - August - September - October); We used the computer program /EES/ in order to reach the optimal quality and thickness of the soil underneath that would achieve the best performance for this pond.

Experiments showed the clear effect of the quality of the soil under the solar pond, as well as the effect of its thickness, on improving the performance of the pond, through a clear effect on both the amount of heat that can be extracted from it, and on its efficiency. Its best performance was achieved when using sandy soil, while this performance was directly proportional to the largest soil thickness studied, which was 5 m. Efficiency at this thickness reached a value of $\eta = 25.98\%$, which corresponds to the largest amount of heat that can be extracted from it, $q_s = 2158 \text{ W/m}^2$, This was in June, while its worst performance was in October.

Key words: EES Program-Soil quality - Soil thickness- Solar pond performance .

*Assistant professor, Department of Renewable Energy, Faculty of Technical Engineering, Tartous University, Tartous, Syria.

** Lecturer, Department of Renewable Energy, Faculty of Technical Engineering, Tartous University, Tartous, Syria.

المقدمة : Introduction

تعتبر الطاقة بأنواعها ركيزة أساسية هامة من ركائز التطور الاقتصادي والاجتماعي العالمي، ومن ناحية أخرى فإن لحرق الوقود الاحفوري من أجل الحصول على الطاقة جانب مُظلم، حيث ينتج عنه العديد من التأثيرات الكارثية على مناخ الأرض وصحة الانسان والكائنات الحية؛ بالإضافة الى حقيقة أن الوقود الاحفوري (نפט، غاز طبيعي، والفحم الحجري) مهدد بالنضوب خلال فترة غير طويلة؛ ومن هنا فان التحول إلى استخدام الطاقات المتجددة سيضمن إنتاج الطاقة بطريقة مستدامة وأكثر نظافة، حيث أن ضمان الطاقة وتأمينها أصبحا مسألة ذات أهمية كبيرة مع تزايد الطلب والحاجة لمصادر الطاقة والكهرباء؛ وتعتبر الطاقة الشمسية من الطاقات الواعدة للمساهمة مع الطاقة التقليدية الآيلة للنضوب خلال السنوات القادمة في تأمين حاجة الدول المتزايدة على الطاقة ولأسيما البلدان التي تمتلك نسبة إشعاع شمسي عالية مثل سورية، ولعلّ من التطبيقات الحرارية الهامة لاستثمار هذه الطاقة هي البرك الشمسية التي تستطيع أن تستقبل الاشعة الشمسية وتجمعها وتخزنها في بحيرات إما أن تكون طبيعية أو اصطناعية من عمل الانسان بحيث يمكن عن طريق هذه البرك سد الطلب على الطاقة في العديد من التطبيقات، لعلّ اهمها توليد الكهرباء وتقنيات التدفئة والتبريد وتحلية المياه؛ ويعزى ذلك الى أن البرك الشمسية لها القدرة على تجميع وتخزين الطاقة الشمسية في نفس المنظومة للاستعمالات اليومية والفصلية.

لقد ازداد التركيز في الآونة الأخيرة على إجراء العديد من البحوث والدراسات النظرية والتجريبية التي تناولت تحسين إنتاجية البركة الشمسية من خلال استخدام طرق ومواد متعددة خازنة للحرارة من أجل تأمين هذا التحسين.

فقد قام الباحث (Quarroot, 2015) [1] بدراسة تضمن محاولة تركيز الاشعاع الشمسي على الطبقة السطحية لبركة شمسية مساحتها $1m^2$ وعمقها 2m بهدف تحسين مردودها الحراري، وقد تبين أثرها في زيادة الانتاجية، كما استعرض الباحث (Simic, 2017) [2] تصميم بركة شمسية تستخدم غشاء بين طبقتيها العلوية، ودراسة أداء البركة كمجمع شمسي وكوعاء خازن للحرارة، والطبقة الوسطى بعد إضافة الحصى والأجر الناري بسماكات متعددة في أرضية المقطر، وقد أشارت النتائج إلى الأثر الواضح لعزل الطبقة العليا عن الطبقة السفلى الخازنة للحرارة وتحسين إنتاجية البركة، واستعرض الباحث (Raizvi, 2015) [3] دراسة تضمنت تغيير التركيز الملحي للطبقات الثلاثة للبركة بهدف دراسة تأثير هذه المواد على إنتاجيتها من الحرارة في الطبقة السفلية. كما قدّم الباحث (Kanan, 2017) [4] دراسة تناولت اختبار نظام تبريد يعمل من خلال بركة شمسية بهدف تحسين أداء النظام. واستعرض الباحث Balaji, (2016) [5] دراسة تأثير استخدام كربونات الصوديوم وسلفات الصوديوم كمحلول ملحي في بركة شمسية، وينسب مختلفة، وذلك بهدف تحسين إنتاجيتها.

إضافة إلى كثير من الأبحاث التي أجريت لتحسين إنتاجية البركة من خلال إضافة مواد مختلفة ككلوريد الصوديوم، والحصى وغيرها من المواد لزيادة درجة حرارة الطبقة السفلية الخازنة للحرارة [6]، [7]، [8].

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث بأنه يتناول إحدى الطرق المباشرة في استثمار الطاقة الشمسية، التي تتمتع بها سورية بشكل جيد على مدار العام، وذلك من خلال الاستفادة من الأشعة الشمسية الساقطة على سطح أفقي لبركة شمسية يراد إقامتها في طرطوس بهدف الحصول على أكبر طاقة حرارية يمكن اختزانها في طبقتها السفلية بحيث يمكن استثمارها في كثير من التطبيقات.

كما يهدف البحث إلى إجراء دراسة حاسوبية لتحديد نوع التربة والسماعة المثلى الموجودة أسفل البركة الشمسية حاسوبياً بحيث تحقق أكبر كمية حرارة يمكن استخراجها من البركة وأفضل مردود لها، وذلك خلال اشهر محددة في السنة.

طرائق البحث ومواده:

تم في هذا البحث اعتماد المنهج:

1- الحاسوبي: من خلال وضع نموذج حاسوبي لحل المعادلات الرياضية الحرارية /ESS/ لبركة شمسية يراد بناؤها في مدينة طرطوس، ودراسة بعض العوامل التصميمية (نوع التربة أسفل البركة وسماعتها) المؤثرة على أداء البركة خلال أشهر محددة من السنة (حزيران- تموز - آب- أيلول- تشرين1).

2- المنهج التحليلي: من خلال تحليل قيم الاشعاع الشمسي الساقطة على سطح البركة الأفقي، بعد أن يتم جمع معلومات الاشعاع الشمسي لفترات طويلة للمكان المراد تنصيب البركة فيه. ليصار بعضها إلى ربط الدراسة مع معادلات الحالة المستقرة لانتقال الحرارة في البركة، ونمذجتها، ومن ثم دراسة تأثير العوامل المذكورة أعلاه على أداء البركة.

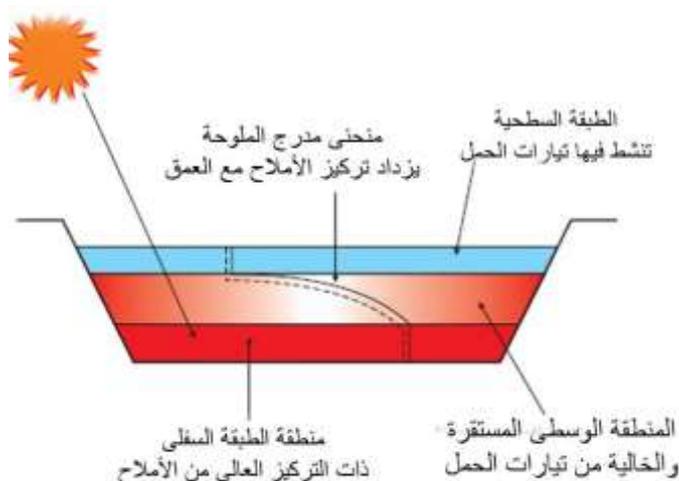
البرك الشمسية [6] Solar Pond (SP):

هي عبارة عن مجمعات طاقة شمسية كبيرة تتكون من مجسم طبيعي أو ممكن إنشاؤه صناعياً يحتوي على الماء، ذات تدرج في تركيز الملح، وتتألف من عدة طبقات فوق بعضها البعض، وتمثل واحدة من ابسط الطرائق المباشرة لتجميع الإشعاع الشمسي وتحويله الى طاقة حرارية، وتخزين الحرارة بمجال يتراوح بين (50-120 C°)، وطبقاتها هي:

- الطبقة السطحية الحملية: وهي طبقة قليلة الملوحة، درجة حرارتها قريبة من حرارة اوسط المحيط، وذات سماكة قليلة تتراوح بين (0.1-0.4 m) وتتعرض لتيارات الهواء، ونتيجة لذلك فهي تتأثر بالحمل الحراري، وتأتي أهمية هذه الطبقة لكونها تمنع بقية الطبقات من التبخر، ومن الرياح وكذلك الملوثات الخارجية.

- الطبقة الوسطى اللاحمالية: وهي طبقة متدرجة الملوحة تقع بين الطبقة العلوية، والطبقة السفلية وتلعب دور العازل بينهما وتزداد درجة حرارتها وملوحتها مع العمق، وهي الأكثر سماكة بين الطبقات.

- الطبقة السفلية الحملية: هي طبقة ذات كثافة ملوحة عالية، تتميز درجة حرارتها بأنها مرتفعة بشكل كبير، و لا يوجد فيها خسارة عن طريق الحمل وبالتالي تكون فيها كل من درجة الحرارة والكثافة الملحية شبه ثابتة، وتدعى بالطبقة الخازنة للحرارة.



الشكل (1) يبين طبقات البركة الشمسية.

الدراسة التحليلية للإشعاع الشمسي على سطح البركة الشمسية [6]:

يتألف الإشعاع الشمسي اليومي الوسطي الساقط على سطح أفقي من مجموع اشعاعين هما الإشعاع المباشر، والإشعاع المبعثر أي:

$$E_{glob.h} = E_{dfu.h} + E_{dir.h} \quad (1)$$

$E_{dir.h}$: الإشعاع الشمسي المباشر [W/m^2] ويعطى بالعلاقة التالية:

$$E_{dir.h} = E_{dir.s} \cdot \sin \beta \quad (2)$$

حيث أن:

β : هي زاوية ارتفاع الشمس.

$E_{dir.s}$: هي شدة الإشعاع الشمسي عند السقوط الحر [W/m^2]. وتحسب بالعلاقة:

$$E_{dir.s} = A e^{-B/\sin B} \quad (3)$$

A : الإشعاع الشمسي النظري عند كثافة هواء تساوي الصفر [W/m^2].

B : معامل توهين الغلاف الجوي ويعطى بالجدول (1) حسب الجمعية الأمريكية لمهندسي التدفئة والتبريد وتكييف الهواء (ASHRA).

أما الإشعاع المبعثر فيعطى بالعلاقة:

$$E_{dfu.h} = C \cdot E_{dir.s} F_{SS} \quad (4)$$

C : معامل تشتيت الإشعاع ويعطى بالجدول (1).

F_{SS} : المعامل الزاوي بين السطح والسماء ويعطى لسطح كروي يميل بزاوية γ عن الأفق بالعلاقة التالية:

$$F_{SS} = 0.5 (1 + \cos \gamma)$$

$F_{SS} = 0.5$ للسطح العمودي.

$F_{SS} = 1$ للسطح الأفقي.

الجدول (1) ثوابت العلاقات السابقة وفقاً لASHRAE لليوم 21 من كل شهر [6]

الشهر	A: W/m ²	B : لا بعدي	C : لا بعدي
Jan.	1230	0.142	0.058
Feb.	1215	0.144	0.060
Mar.	1185	0.156	0.071
April	1136	0.180	0.097
May	1104	0.196	0.121
June	1088	0.205	0.134
July	1085	0.207	0.136
Aug.	1107	0.201	0.122
Sept.	1152	0.177	0.092
Oct.	1193	0.160	0.073
Nov.	1221	0.149	0.063
Dec.	1234	0.142	0.057

زاوية ارتفاع الشمس β تحسب بالعلاقة التالية:

$$\sin \beta = \sin L \cdot \sin \varnothing + \cos L \cdot \cos \varnothing \cdot \cos \omega \quad (5)$$

حيث أن:

L: زاوية خط العرض للمكان المدروس.

\varnothing : زاوية الانحراف الشمسي وتحسب من العلاقة:

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (284 + n) \right] \quad (6)$$

n: هو رقم اليوم في السنة.

ω : هي الزاوية الساعية وتعطى بالعلاقة:

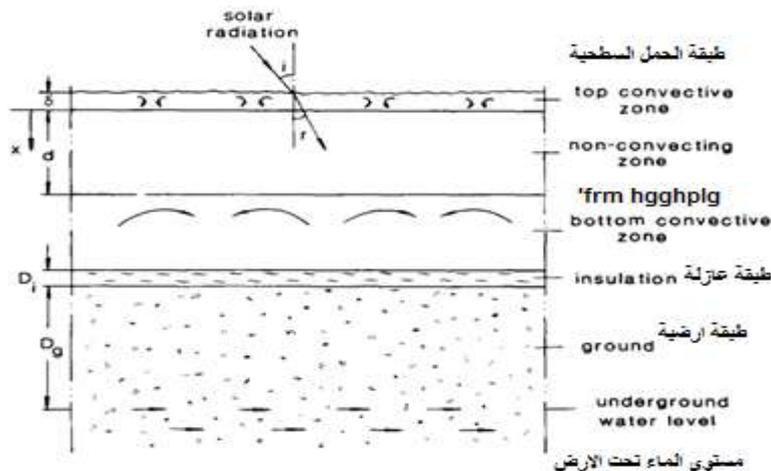
$$\omega = 15 (t - 12) \quad (7)$$

t: هي التوقيت الشمسي (ساعة) والذي يبدأ من منتصف الليل حيث يكون وقت الظهر الشمسي الساعة الثانية عشرة

ظهراً .

النموذج الرياضي الذي يحكم انتقال الحرارة المستقر في البركة الشمسية:

لتوضيح عملية انتقال الحرارة في البرك الشمسية تم تقسيم البركة الشمسية إلى أربعة مناطق كما هو في (الشكل 2):



الشكل (2): صورة توضع الطبقات الأربعة للبركة الشمسية [10].

طبقة الحمل السطحية من الأعلى يليها طبقة اللاحمل، ثم الطبقة السفلية الخازنة للحرارة، لتأتي تحتها طبقة الأرض، حيث تمثل مقاومة الأرض عنصراً هاماً في أداء البرك الشمسية وتتوقف مقاومة الأرض على نوع التربة المستخدمة (وهو ماسنقوم باختياره مع تحديد سماكتها التي تحقق أفضل مردود حراري للبركة).
وتعتبر كمية الإشعاع الشمسي الواصلة إلى الطبقة (z) من البركة في النموذج الرياضي أحد أهم عناصر هذا النموذج وكذلك النموذج المتبع لحساب مقاومة الأرض للسريان الحراري.

تنتشر الحرارة بالتوصيل في طبقة اللاحمل في البركة الشمسية وفقاً للمعادلة التفاضلية التالية [9]:

$$\frac{d}{dz} \left(-K_w \frac{dT}{dz} \right) + \frac{dI}{dz} = 0 \quad (8)$$

حيث:

Z: هي عمق العنصر الحجمي مقاساً من سطح طبقة اللاحمل.

K_w: عامل الايصالية الحرارية لمحلول ملح كلوريد الصوديوم [W/m.c].

ويتم حساب الايصالية الحرارية لمحلول ملح كلوريد الصوديوم بدلالة درجة الحرارة من المعادلة التالية:

$$K_w = 0.5553 - 0.000081 S + 0.0008 (T - 20)$$

I: هي معدل الإشعاع الشمسي الواصل إلى الطبقة z ويحسب من المعادلة التالية:

$$I = \tau * h_1 * b * \ln \left[\frac{y_0}{\frac{z + d_0}{\cos \theta_r}} \right] \quad (9)$$

حيث:

τ: نفاذية الاشعاع الشمسي من سطح البركة وتحسب بالعلاقة:

$$\tau = 0.5 \left[\frac{\sin^2 (\theta_i - \theta_r) + \tan^2 (\theta_i - \theta_r)}{\sin^2 (\theta_i + \theta_r) + \tan^2 (\theta_i + \theta_r)} \right] \quad (10)$$

h₁: الإشعاع الشمسي اليومي الساقط على سطح البركة الأفقي في يوم معين من الشهر المراد دراسته.

b: رقم لابيدي ويساوي (0.08) [9].

$\left(\frac{z+d_0}{\cos \theta_r} \right)$: النسبة تعبر عن المسافة التي تقطعها أشعة الشمس.

θ_r: زاوية الانكسار المؤثرة.

θ_i: زاوية سقوط الإشعاع الشمسي (زاوية السمات الشمسي).

ويلاحظ على أن الإشعاع الشمسي عندما يصل إلى سطح البركة فإن النسبة بين جيب زاوية سقوط الإشعاع

الشمسي θ_i (زاوية سمات الشمسي) وزاوية انكساره θ_r مساوية إلى معامل الانكسار للماء (n=1.33). [9] أي:

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = 1.33$$

زاوية السمات الشمسي الرأسية (solar zenith angle) هي الزاوية بين أشعة الشمس والشاقول، وهي متممة

$$\sin \beta = \cos \theta_i \quad \text{للزاوية } \beta \text{ أي:}$$

ويعتبر حساب جزء الإشعاع الشمسي المفقود نتيجة الانعكاس من سطح البركة معقداً لذلك يمكن استخدام المعادلة التالية لحساب نفاذية الإشعاع الشمسي من سطح البركة على فرض سكون الطبقة السطحية من البركة:

$$\tau = 0.5 \left[\frac{\sin^2(\theta_i - \theta_r)}{\sin^2(\theta_i + \theta_r)} + \frac{\tan^2(\theta_i - \theta_r)}{\tan^2(\theta_i + \theta_r)} \right] \quad (11)$$

بمكاملة المعادلة (8) نجد:

$$\left(-K_w \frac{dT}{dz} \right) + I = C$$

وبتعريف (θ) الفرق بين درجة حرارة المحلول الملحي ومتوسط درجة حرارة الهواء وتعطى بالمعادلة:

$$\theta = T - T_a \quad (12)$$

نحصل على المعادلة:

$$\left(-K_w \frac{d\theta}{dz} \right) + I = C_1$$

بتعويض (I) في المعادلة السابقة وإهمال تأثير التغيير في الإيصالية الحرارية للماء على الحل واعتبار ($-K_w$)

ثابتة تنتج المعادلة التالية:

$$-K_w \frac{d\theta}{dz} + \tau * h_1 * b * \ln \left[\frac{y_0}{\frac{z+d_0}{\cos\theta_r}} \right] = C_1 \quad (13)$$

بالمكاملة مرة أخرى للمعادلة (13) نجد:

$$-K_w * \theta + \tau * h_1 * b * \ln \left[\frac{(y_0 * \cos\theta_r)^2}{(z+d_0)^{z+d_0}} + z \right] = C_1 * z + C_2 \quad (14)$$

نلاحظ أن المعادلة (8) تحتاج إلى شرطين حديين هما

$$z = 0 ; T = T_a ; \theta = 0 \quad (15)$$

وعندما $Z = d$ فإن :

يمكن الحصول على الثابت C_2 بتعويض المعادلة (12) بـ المعادلة (14) ينتج:

$$C_2 = -\tau * h_1 * b * \ln(d_0) \quad (16)$$

وباستخدام المعادلة (13) يمكن إثبات أن:

$$C_1 = q_s + \frac{\theta_d}{\frac{d_i}{k_i} + \frac{d_g}{k_g}} \quad (17)$$

بتعويض كل من الثوابت C_1 و C_2 في المعادلة (14) نحصل على توزيع درجة الحرارة في البركة:

$$\theta = \frac{1}{k_w} \left[- \left(q_s + \frac{\theta_d}{\frac{d_i}{k_i} + \frac{d_g}{k_g}} \right) * z + \tau * h_1 * b * \ln(d_0) + \tau * h_1 * b \left(\ln \frac{(y_0 * \cos\theta_r)^2}{(z+d_0)^{z+d_0}} + z \right) \right] \quad (81)$$

وبالتالي تحسب كمية الحرارة المستخرجة من البركة من المعادلة التالية:

$$q_s = \tau * h_1 * b + \frac{\tau * h_1 * b}{d} \left(\ln \frac{d_0^{d_0} (y_0 * \cos \theta_r)^d}{(d + d_0)^{d+d_0}} \right) - \left(\frac{1}{\frac{d_i}{k_i} + \frac{d_g}{k_g}} + \frac{1}{\frac{d}{k_w}} \right) * \theta_d \quad (19)$$

حيث أن:

d: تمثل سماكة طبقة اللاحمل [m].

d_i: سماكة المادة العازلة أسفل البركة [m].

d_o: تمثل سماكة الطبقة السطحية [m].

K_w: عامل الايصالية الحرارية لمحلول ملح كلوريد المغنيزيوم.

K_i: عامل التوصيل الحراري للمادة العازلة [W/m.C].

K_g: عامل التوصيل الحراري للتربة أسفل البركة الشمسية [W/m.C].

θ_d: تمثل درجة الحرارة المطلوب الحصول عليها من البركة عند السماكة d وهي [95°C].

وتحسب كفاءة البركة الشمسية من النسبة بين معدل كمية الحرارة المستخرجة من البركة الشمسية إلى

$$\text{معدل كمية الإشعاع الشمسي اليومي الوسطي الساقط على سطح البركة وتعطى بالعلاقة: } \mu = \frac{q_s}{h_1} \quad [6]$$

النمذجة الحاسوبية باستخدام برنامج EES:

لحل جملة المعادلات السابقة تم استخدام برنامج حاسوبي EES (برنامج حل المعادلات الحرارية) والذي من

خلاله نتمكن من الحصول على هدف البحث (الوصول إلى درجة الحرارة المطلوبة في الطبقة السفلية الخازنة للبركة)

بحيث يتحقق معها التصميم الفني والاقتصادي الأفضل للبركة المدروسة.

قبل إدخال المعلومات إلى البرنامج تم اعتماد الشروط الحدية والمواصفات التالية للبركة، وكذلك فقد تم اعتماد

الأشهر الخمسة التالية خلال الدراسة: (حزيران - تموز - آب - أيلول - تشرين الأول).

- **المواصفات والشروط الحدية لبناء وتصميم نموذج لبركة شمسية:**

- مدينة طرطوس تقع عند (خط عرض 35°).
- مساحة البركة المدروسة: [1500 m²].
- نوع الملح المستخدم: ملح كلوريد الصوديوم NaCl.
- تركيز الملح عند قمة الطبقة الخازنة للحرارة: S=260 (Kg/m³).
- سماكة المادة العازلة الموجودة في قاع البركة: d_i=0.1 m.
- الايصالية الحرارية للمادة العازلة [k_i=0.036 w/m.c°].
- سماكة التربة أسفل البركة: سيتم دراسة ثلاث سماكا dg=(2.5 - 3- 5 m)
- نوع التربة أسفل البركة: سيتم دراسة تأثير ثلاثة أنواع من التربة (الطمي الجاف - تربة مبللة - تربة رملية).
- استخدام المادة العازلة الستيروفوم (البوليسرين الرغوي).
- طلاء أسفل البركة بطلاء ذي لون أسود.

الشكلين (3) & (4) يبينان حساب الاشعاع الشمسي الساقط على سطح البركة الشمسية والبرنامج الحاسوبي المستخدم لدراسة تأثير العوامل (نوع وسماعة التربة تحت البركة) على أداءها خلال الاشهر المذكورة.

```

Equations Window
n=162
l=35
y=0
k=0
A=1088[w/m2]
B=0.205
C=0.134
F_ss=(1+cos(y))/2
G=23.45*sin(360*(284+n)/365)
Duplicate t=5.19
w[t]=15*(12-t)
beta[t]=arcsin(sin(l)*sin(G)+cos(G)*cos(l)*cos(w[t]))
E_dirs[t]=A*exp(-B/sin(beta[t]))
E_dirh[t]=E_dirs[t]*sin(beta[t])
E_dfuh[t]=C*E_dirs[t]*F_ss
E_globh[t]=E_dirh[t]+E_dfuh[t]
End
  
```

الشكل (3) يبين حساب الإشعاع الشمسي باستخدام البرنامج EES على السطح الأفقي للبركة الشمسية.

```

Equations Window
h1=8312.7[w/m2]
s=260[kg/m3]
tata_d=90
d=4[m]
d0=0.1[m]
d_g=5[m]
k_g=2.5[w/m]
c5=d_g/k_g
d_j=0.1[m]
k_j=0.036[w/m]
c6=d_j/k_j
y0=90[m]
b=0.08
tata_i=14.32
tata_r=75.76
c1=sin(tata_i-tata_r)*sin(tata_i-tata_r)
c2=sin(tata_i+tata_r)*sin(tata_i+tata_r)
c3=tan(tata_i-tata_r)*tan(tata_i-tata_r)
c4=tan(tata_i+tata_r)*tan(tata_i+tata_r)
taww=0.5*((c1/c2)+(c3/c4))
k_w=0.5553-0.0000813*s+0.0008*(tata_d-20)
qs=h1*taww*b+((taww*b*h1)/d)*ln(((d0+d0)*(y0*cos(tata_r))^d)/(d+d0)*(d+d0))-1/(c6+c5)+1/(d/k_w))*tata_d
eta=(qs/h1)*100
  
```

الشكل (4) يبين البرنامج المستخدم لحساب العوامل المؤثرة على أداء البركة الشمسية.

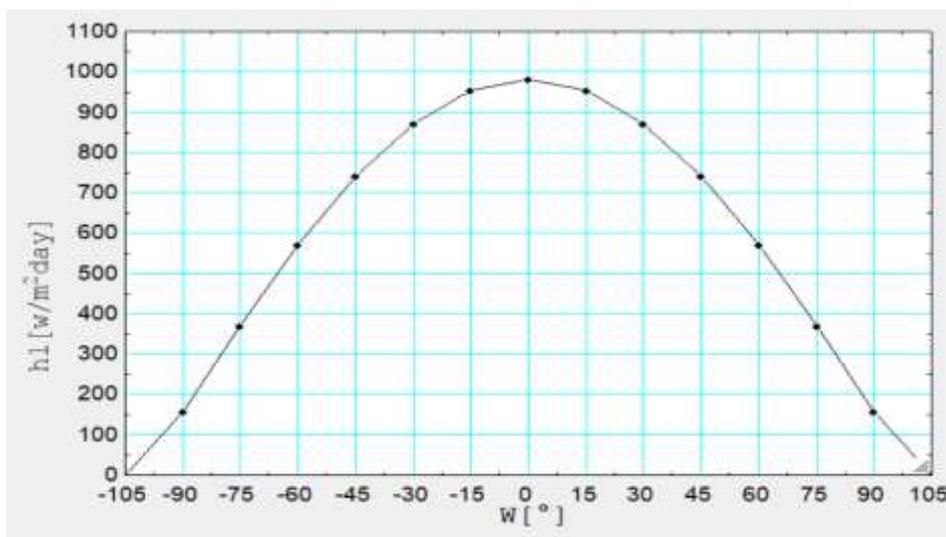
النتائج والمناقشة:

معدل الاشعاع الشمسي اليومي الوسطي الساقط على السطح الافقي للبركة الشمسية:

1- شهر حزيران:

تم اختيار ودراسة يوم الحادي والعشرون منه (كيوم اختياري) من الساعة السادسة صباحاً حتى الساعة الثامنة

مساءً.



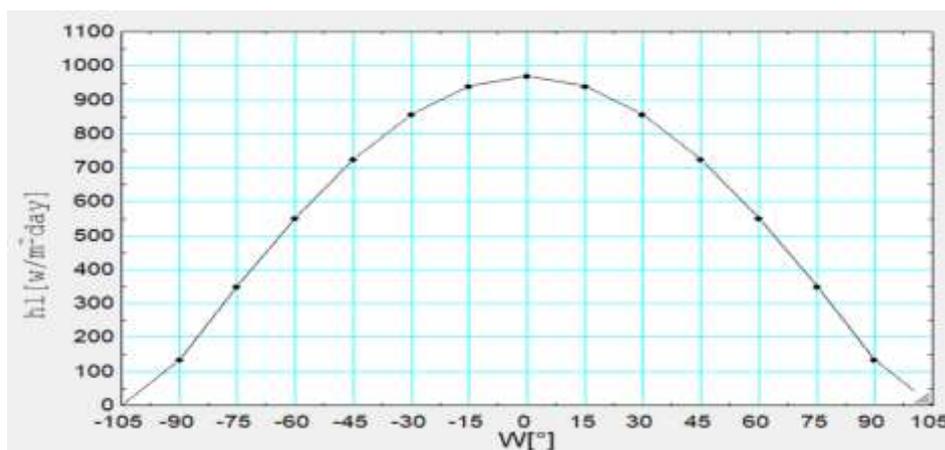
الشكل (5) الإشعاع الشمسي اليومي لشهر حزيران.

نلاحظ من (الشكل 5) بأن ذروة الاشعاع قد بلغ 992 W/m^2 وذلك وقت الظهيرة، يبدأ بعدها بالهبوط

تدريجياً خلال ساعات بعد الظهيرة، وتبعاً للبرنامج الحاسبي فقد بلغ الاشعاع الشمسي اليومي الوسطي الكلي (المباشر

والمبعثر) الساقط على سطح البركة الأفقي في شهر حزيران $h_1=8673.273[\text{W/m}^2\text{day}]$

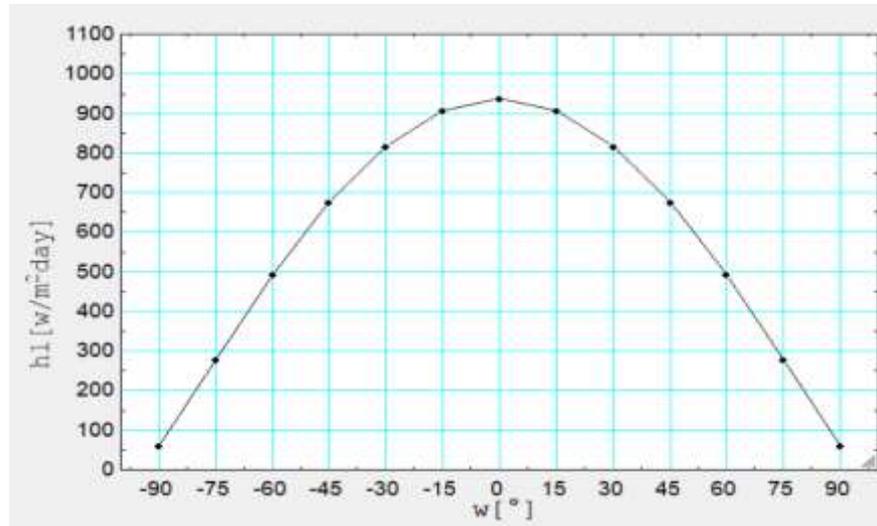
2- شهر تموز



الشكل (6) الإشعاع الشمسي اليومي لشهر تموز.

نلاحظ من (الشكل 6) بأن ذروة الاشعاع ن قد بلغ 980 W/m^2 وذلك وقت الظهيرة، يبدأ بعدها بالهبوط تدريجياً خلال ساعات بعد الظهيرة، وتبعاً للبرنامج فقد بلغ الاشعاع الشمسي اليومي الوسطي الكلي (المباشر والمبعثر) الساقط على سطح البركة الأفقي في شهر تموز $h_1=7896.1 [\text{W/m}^2\text{day}]$.

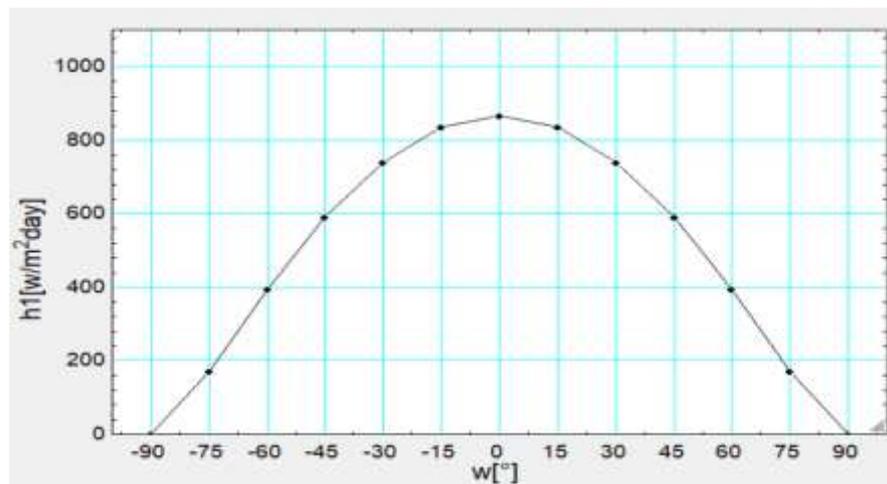
3- شهر آب



الشكل (7) الإشعاع الشمسي اليومي لشهر آب.

نلاحظ من (الشكل 7) بأن ذروة الاشعاع ن قد بلغ 944 W/m^2 وذلك وقت الظهيرة، يبدأ بعدها بالهبوط تدريجياً خلال ساعات بعد الظهيرة، وتبعاً للبرنامج فقد بلغ الاشعاع الشمسي اليومي الوسطي الكلي (المباشر والمبعثر) الساقط على سطح البركة الأفقي في شهر آب $h_1=7414.5 [\text{W/m}^2\text{day}]$

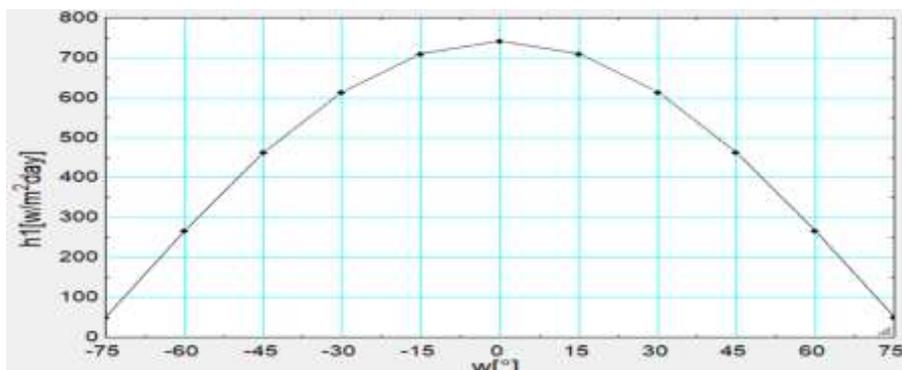
4- شهر ايلول



الشكل (8) الإشعاع الشمسي اليومي لشهر ايلول.

نلاحظ من (الشكل 8) بأن ذروة الاشعاع ن قد بلغ 884 W/m^2 وذلك وقت الظهيرة، يبدأ بعدها بالهبوط تدريجياً خلال ساعات بعد الظهيرة، وتبعاً للبرنامج فقد بلغ الاشعاع الشمسي اليومي الوسطي الكلي (المباشر والمبعثر) الساقط على سطح البركة الأفقي في شهر ايلول $h_1=6329.31 [\text{W/m}^2\text{day}]$.

5- شهر تشرين الأول:



الشكل (9) الإشعاع الشمسي اليومي لشهر تشرين الأول.

نلاحظ من (الشكل 9) بأن ذروة الإشعاع ن قد بلغ 884 W/m^2 وذلك وقت الظهيرة، يبدأ بعدها بالهبوط تدريجياً خلال ساعات بعد الظهر، وتبعاً للبرنامج فقد بلغ الإشعاع الشمسي اليومي الوسطي الكلي (المباشر والمبعثر) الساقط على سطح البركة الأفقي في شهر تشرين الأول $h_1=4930.8 \text{ [W/m}^2\text{day]}$.

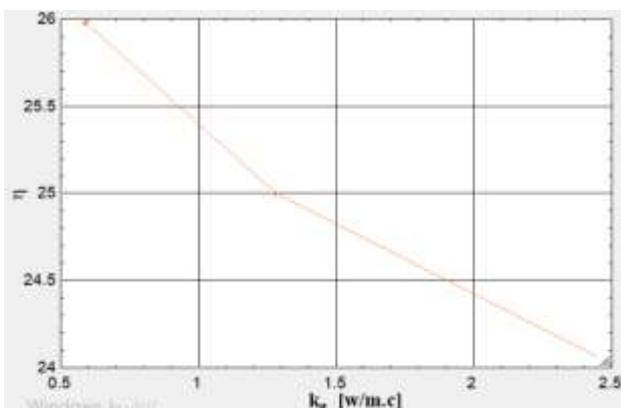
تأثير نوع التربة أسفل البركة على كمية الحرارة المستخرجة من البركة والمردود الحراري:

لكل نوع من التربة إيصالية حرارية خاصة بها (K_g) ولمعرفة تأثير هذا العامل على بناء وتصميم البركة من حيث معدل كمية الحرارة المستخرجة من البركة والمردود الحراري لها قمنا من خلال البرنامج الحاسوبي (الشكل 4) بدراسة الإيصالية الحرارية لثلاثة أنواع من التربة مبينة وفق المواصفات والشروط الحدية التي ذكرت سابقاً لبناء وتصميم نموذج البركة، ونتائج هذه الدراسة موضحة في الأشكال (10-19).

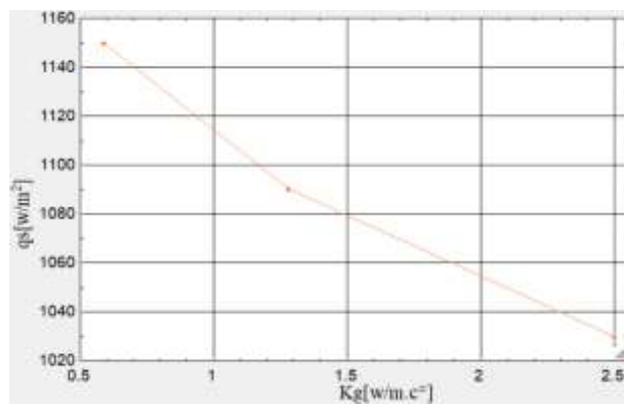
1- شهر حزيران:

الجدول (2): نتائج دراسة تأثير تغيرات نوعية التربة في شهر حزيران.

نوع التربة	$[W/m^2] q_s$	$[W/m^2C] k_g$	η
تربة مبللة	1995	2.5	24.02
الطمي الجاف	2076	1.28	25
تربة رملية	2158	0.59	25.98



الشكل (11) تأثير عامل الإيصالية للتربة على مردود البركة الشمسية.

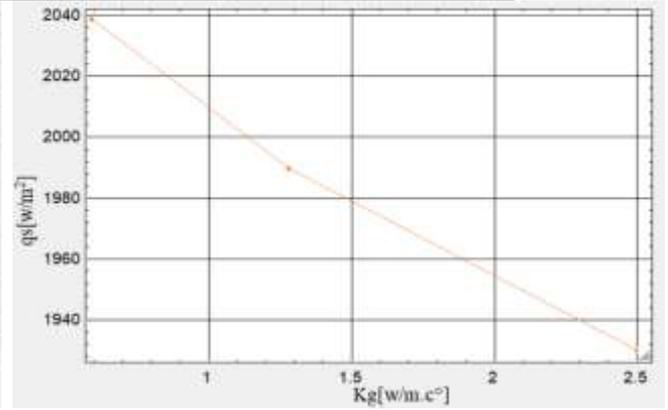
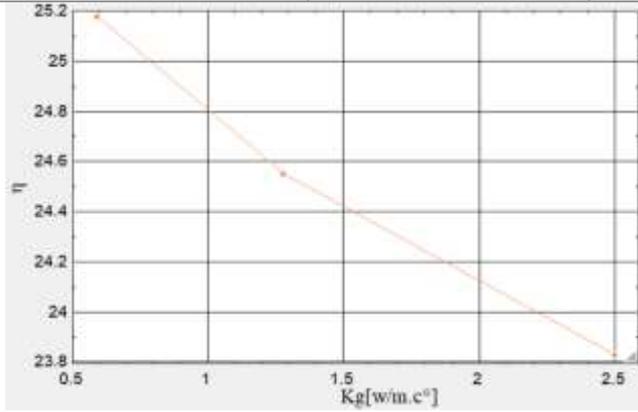


الشكل (10) تأثير عامل الإيصالية للتربة على الحرارة المستخرجة من البركة.

شهر تموز: -2

الجدول (3): نتائج دراسة تأثير تغيرات نوعية التربة في شهر تموز.

η	$[W/m^2] q_s$	$[W/m^{\circ}C] k_g$	نوع التربة
23.83	1930	2.5	تربة مبللة
24.83	2011	1.28	الطمي الجاف
25.18	2039	0.59	تربة رملية

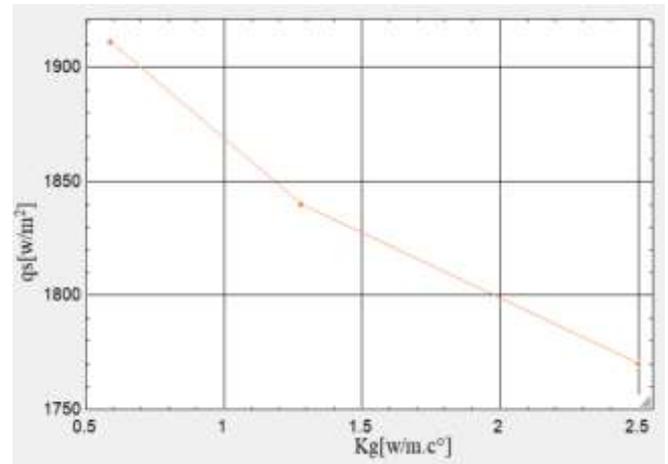
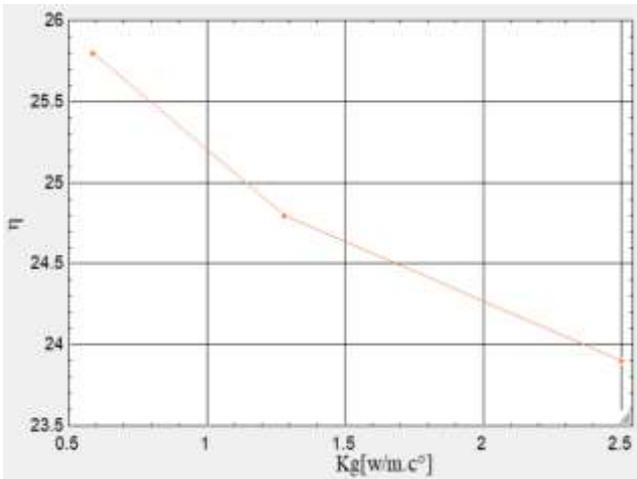


الشكل (12) تأثير عامل الايصالية للتربة على الحرارة المستخرجة من البركة. الشكل (13) تأثير عامل الايصالية للتربة على مردود البركة الشمسية.

شهر آب: -3

الجدول (4): نتائج دراسة تأثير تغيرات نوعية التربة في شهر آب.

η	$[W/m^2] q_s$	$[W/m^{\circ}C] k_g$	نوع التربة
23.9	1770	2.5	تربة مبللة
24.8	1840	1.28	الطمي الجاف
25.8	1911	0.59	تربة رملية

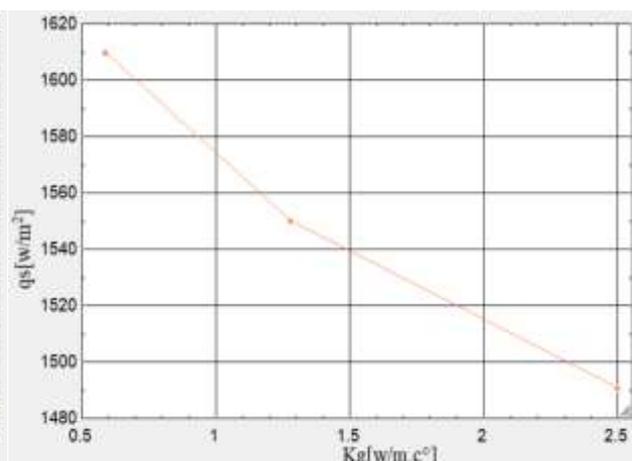
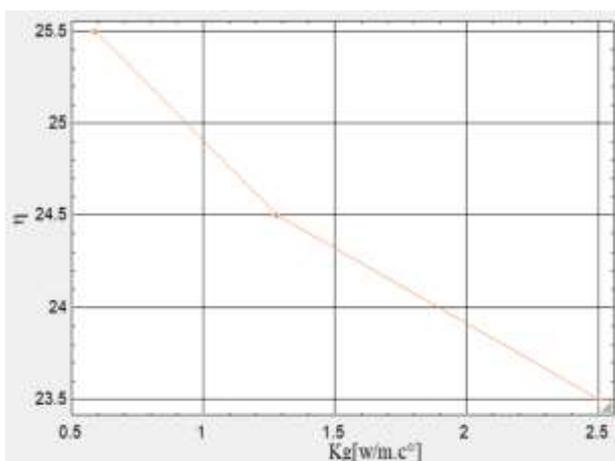


الشكل (14) تأثير عامل الايصالية للتربة على الحرارة المستخرجة من البركة. الشكل (15) تأثير عامل الايصالية للتربة على مردود البركة الشمسية.

4- شهر أيلول

الجدول (5): نتائج دراسة تأثير تغيرات نوعية التربة في شهر أيلول.

η	q_s [W/m ²]	k_g [W/m ^{°C}]	نوع التربة
23.5	1491	2.5	تربة مبللة
24.5	1550	1.28	الطمي الجاف
25.5	1610	0.59	تربة رملية

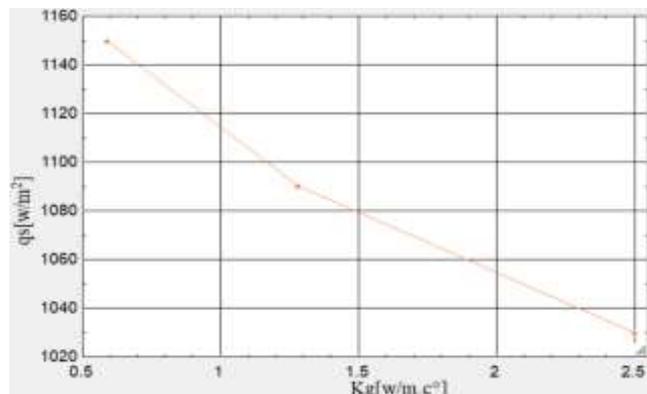
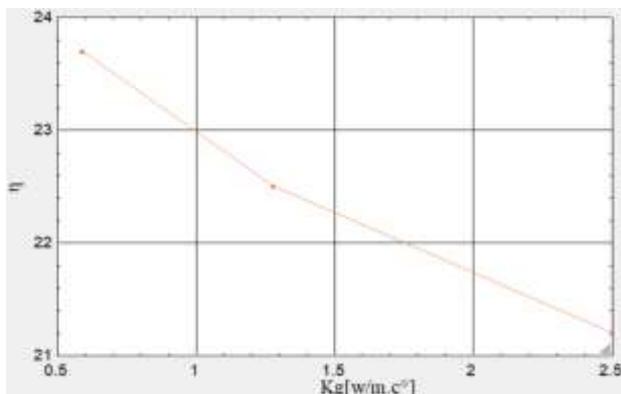


الشكل (16) تأثير عامل الايصالية للتربة على الحرارة المستخرجة من البركة. الشكل (17) تأثير عامل الايصالية للتربة على مردود البركة الشمسية.

5- شهر تشرين الأول:

الجدول (6): نتائج دراسة تأثير تغيرات نوع التربة في شهر تشرين الأول.

η	q_s [W/m ²]	k_g [W/m ^{°C}]	نوع التربة
21.2	1030	2.5	تربة مبللة
22.5	1090	1.28	الطمي الجاف
23.7	1150	0.59	تربة رملية



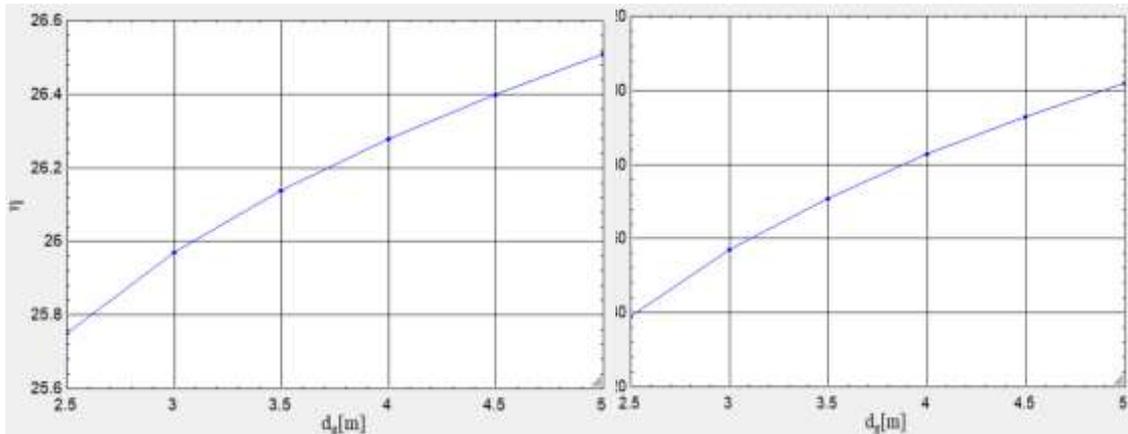
الشكل (18) تأثير عامل الايصالية للتربة على الحرارة المستخرجة من البركة. الشكل (19) تأثير عامل الايصالية للتربة على مردود البركة الشمسية.

-تأثير سماكة التربة الموجودة أسفل البركة d_g على كل من معدل كمية الحرارة المستخرجة والمردود الحراري باستخدام البرنامج الحاسوبي قمنا باختيار نوع التربة الأفضل (التربة الرملية)، وأجرينا الدراسة على عدد من سماكات التربة وهي (2.5 - 3 - 5 m) لتحديد مدى تأثير السماكة الموجودة أسفل البركة (عند تصميم وبناء البركة الشمسية) على معدل كمية الحرارة المستخرجة منها، وتأثيرها على المردود الحراري لها، وذلك خلال الأشهر الخمسة السابقة الذكر. النتائج موضحة في الأشكال من (20) حتى (24).

1- شهر حزيران:

الجدول (7): نتائج دراسة تأثير تغيرات سماكة التربة في شهر حزيران.

η	q_s [W/m ²]	d_g [m]	نوع التربة
26.51	2202	5	تربة رملية
26.28	2183	4	
25.75	2139	2.5	

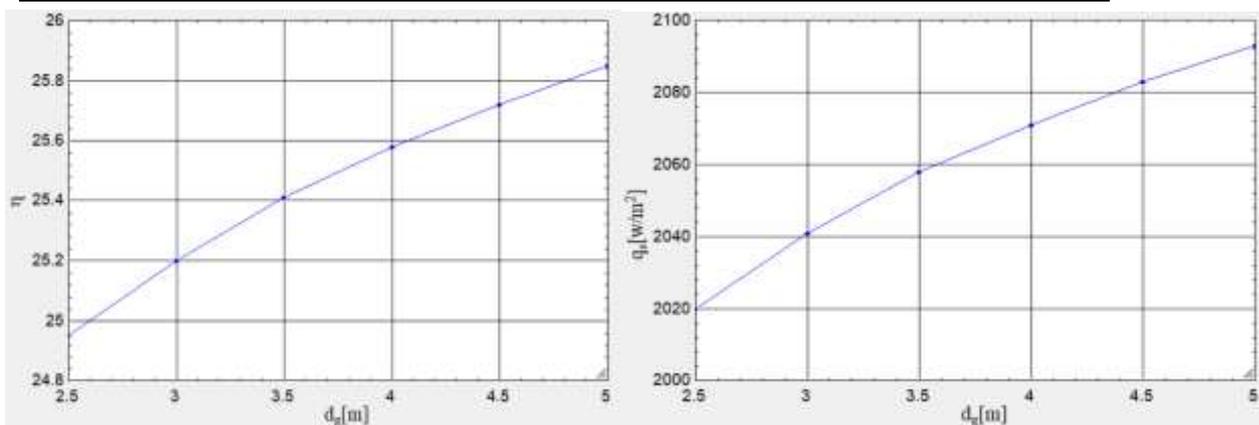


الشكل (20): تأثير سماكة التربة d_g على كل من الحرارة المستخرجة منها q_s وعلى مردود البركة η في شهر حزيران.

2- شهر تموز:

الجدول (8): نتائج دراسة تأثير تغيرات سماكة التربة في شهر تموز.

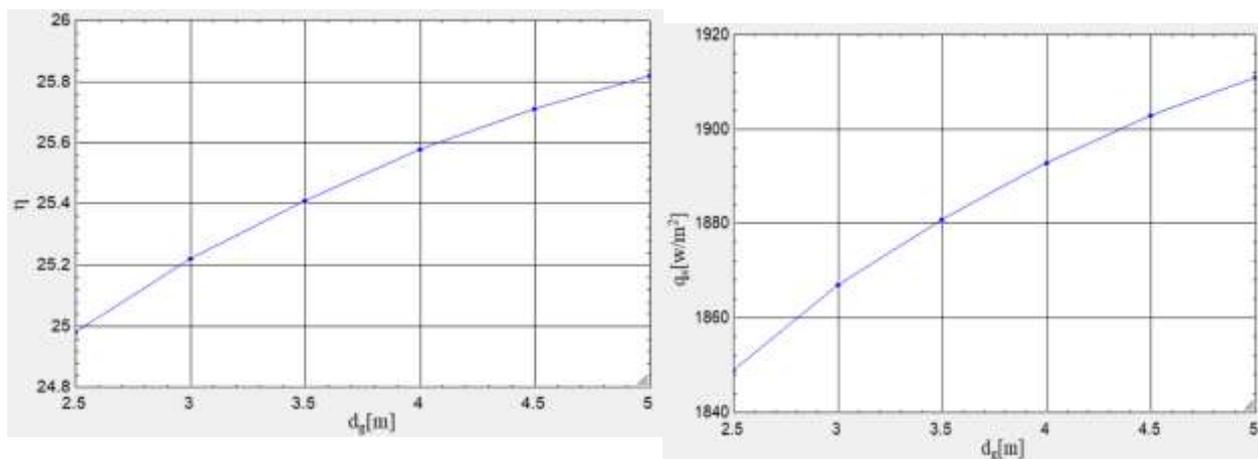
η	q_s [W/m ²]	d_g [m]	نوع التربة
25.85	2093	5	تربة رملية
25.58	2071	4	
24.95	2020	2.5	



الشكل (21) يبين تأثير سماكة التربة d_g على كمية الحرارة المستخرجة من البركة q_s وعلى المردود η في شهر تموز.
3- شهر آب:

الجدول (9): نتائج دراسة تأثير تغيرات سماكة التربة في شهر آب.

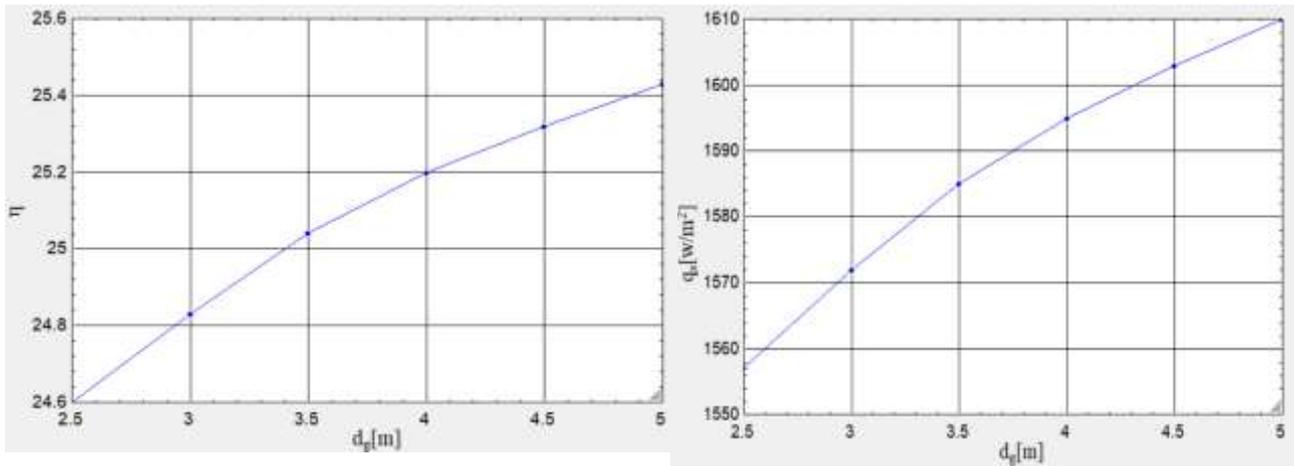
η	q_s [W/m ²]	d_g [m]	نوع التربة
26.14	1935	5	تربة رملية
25.58	1893	4	
24.98	1849	2.5	



الشكل (22) يبين تأثير سماكة التربة d_g على كمية الحرارة المستخرجة من البركة q_s وعلى المردود η في شهر آب.
4- شهر أيلول:

الجدول (10): نتائج دراسة تأثير تغيرات سماكة التربة في شهر أيلول.

η	q_s [W/m ²]	d_g [m]	نوع التربة
25.43	1610	5	تربة رملية
25.2	1595	4	
24.6	1557	2.5	

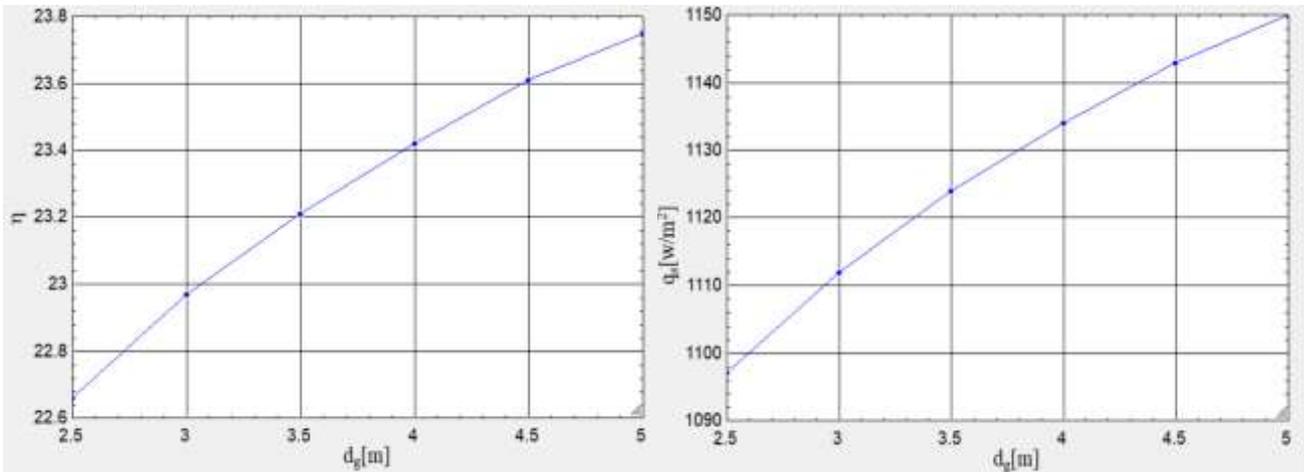


الشكل (23) يبين تأثير سماكة التربة d_g على كمية الحرارة المستخرجة من البركة q_s وعلى المردود η في شهر أيلول.

5- شهر تشرين الأول:

الجدول (11): نتائج دراسة تأثير تغيرات سماكة التربة في شهر تشرين الأول.

η	q_s [W/m ²]	d_g [m]	نوع التربة
24.16	1170	7	تربة رملية
23.42	1134	4	
22.66	1097	2.5	



الشكل (24) يبين تأثير سماكة التربة d_g على كمية الحرارة المستخرجة من البركة q_s وعلى المردود η في شهر تشرين الأول.

تبين الأشكال (10 حتى 19) العلاقة بين نوعية التربة وكل من كمية الحرارة المستخرجة (q_s) والمردود (η) للبركة المدروسة وذلك للأشهر (حزيران - تموز - آب - أيلول - تشرين الأول)؛ ويتضح من هذه الأشكال أن التربة الرملية قد حققت أفضل كمية حرارة مستخرجة، وأفضل مردود للبركة $q_s=2158 \text{ W/m}^2$ & $\eta=25.98\%$ ، وذلك في شهر حزيران.

كما تبين الأشكال (20 حتى 24) العلاقة بين سماكة التربة (d_g) وكل من كمية الحرارة المستخرجة منها (q_s) والمردود الحراري لها (η) وذلك للأشهر المذكورة أعلاه؛ حيث يتضح من خلال هذه الأشكال بأن كمية الحرارة المستخرجة والمردود للبركة يزدادان بشكل طردي مع سماكة التربة الموجودة أسفل البركة، فقد حققت البركة أفضل أداء عند أكبر سماكة مدروسة وهي 5 m، حيث بلغت كل من $q_s=2202 \text{ W/m}^2$ و $\eta=26.51\%$ عند هذه السماكة، وذلك في شهر حزيران.

الاستنتاجات:

- 1- حققت البركة الشمسية المدروسة وفق النموذج الحاسوبي المنفذ قيماً كافية لتؤدي عملها بكفاءة في شروط الإشعاع الشمسي في الساحل السوري، فقد أمكن من خلال هذا النموذج الوصول إلى درجة حرارة في طبقتها السفلية الخازنة تصل إلى 95 C° ، مع المحافظة على مردود جيد فقد حققت البركة المدروسة أعلى أداء لها باستخدام تربة رملية، فقد بلغت كل من $q_s=2158 \text{ W/m}^2$ و $\eta=25.98\%$ في شهر حزيران، بينما كان أسوأ أداء لها في شهر تشرين الأول.
- 2- يتناسب أداء البركة الشمسية المدروسة طردياً مع سماكة التربة المستخدمة تحتها، فقد بلغ كل من $q_s=2202 \text{ W/m}^2$ و $\eta=26.51\%$ عند سماكة قدرها 5 m وذلك في شهر حزيران، بينما كان أسوأ حالة لها في شهر تشرين الأول.

التوصيات:

- 1- اختيار موقع بناء البركة الشمسية بحيث يكون محمي من الرياح وعدم وجود مياه عذبة قريبة من سطح الأرض؛ بالإضافة إلى قرب الموقع من مصدر الأملاح اللازمة.
- 2- تصنيع نموذج حقيقي للبركة الشمسية وإجراء الاختبار ومقارنة النتائج.

المراجع العلمية:

- [1] Qaroot, A. W. Using Solar Evaporation Ponds for Treatment of the Desalination plants Brine. . (2015).
- [2] Simic, M., & George, j. Design of a system to monitor and control solar pond: a review. Energy Procedia, (2017). 110, 322-327.
- [3] Rizvi, R.Z., JAMAL, Y., Ghauri, M. B., Salman, R.,& Khan, I. Solar pond technology for brine Mnagment and beat extraction: a critical review. Journal of Faculty of Engineering & Technology, (2015). 22(2). 69-79.
- [4] Kanan, S. M. J. A. Modeling of a solar pond as a combined heat source and stor to drive an absorption cooling system for a building in Iraq. The University of Manchester(2017).
- [5] Balaj, B. Experimental investigation on a mixed salt gradient solar pond. Ijrras. (2016). Vol 8. No.1 , pp.252-261.
- [6] Al-whoosh, K., Mohammad Aljaradin, M., Bashitialshaaer, R., & Balawneh, H. Establishing Small-scale Salt-Gradient Solar Pond Experiment, Dead Sea Jordan. Sustain. Resour. Manag.(2017). J,2, 1-10 .
- [7] Sathish, D., Veeramanikandan, M., Tamilselvan, R. Experimental Study on Portable Mini Solar pond Using Salt and pebbles. Int j Chem Sci, 2017. 15(2), 121.
- [8] Ito, M., &Azam, S. Feasibility of Saline Gradient Solar Ponds as Thermal Energy Source in Saskatchewan, Canada. Journal of environment informatics letter, 2019. 1 (2), 72-80.
- [9] Wang. Y. F., and Akbarzadeh, A. A parametric study of solar ponds. Solar Energy, Vol. 30. No.6. 1983. Pp. 555-562.
- [10] M. H, Abbood., *Experimental investigation into the performance of the solar pond in Kerbala*, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1067, 2021.