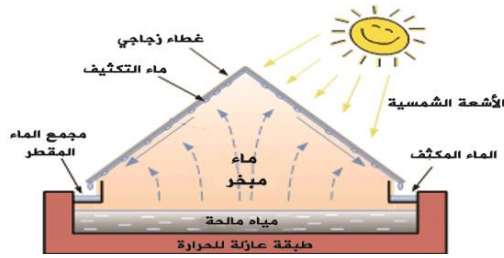


دراسة وتحليل بعض المتغيرات على أداء مقطر شمسي مزدوج معملياً

منار رجب الفقي
كلية الهندسة – جامعة مصراته - ليبيا
قسم الهندسة الميكانيكية
Manarelfaghi94@gmail.com

علي رافع الطويل
كلية الهندسة – جامعة مصراته - ليبيا
قسم الهندسة الميكانيكية
a.altaweel@eng.misuratau.edu.ly

علي المطردي
كلية الهندسة – جامعة مصراته - ليبيا
قسم الهندسة الميكانيكية
ali.mutordri@eng.misuratau.edu.ly



الشكل 1. المقطر الشمسي البسيط

المخلص--- يهدف هذا البحث إلى تصميم ودراسة أداء المقطر الشمسي المزدوج عملياً، حسب الظروف الجوية لمدينة مصراته، حيث يتكون المقطر المقترح من حوض مساحته 1 متر مربع من الخشب وارتفاعه 10 سم به فتحات دخول وخروج الماء، وتم عزل جوانب حوض المقطر بمادة عازلة من الفوم ويطلى الحوض بطلاء اسود من مادة السيلكون ويغلى الحوض بغطاء زجاجي بسمك 3 مللي يميل بزواوية خط العرض لمدينة مصراته وهو موقع البحث لغرض الحصول على أكبر قيمة للإشعاع الشمسي الساقط على الغطاء الزجاجي، وقناتين تكثيف لتجميع المياه المقطرة . تم البحث في بعض الأيام التي تكون فيها السماء صافية، وذلك بوضع كمية من مياه البحر على أعماق مختلفة في حوض المقطر وتؤخذ القراءات كل ساعة. المتغيرات هي درجة حرارة الجو ودرجة حرارة الماء داخل المقطر ودرجة حرارة زجاج المقطر وقياس الإشعاع الشمسي وسرعة الرياح وكذلك كمية المياه المقطرة الناتجة لكل ساعة.

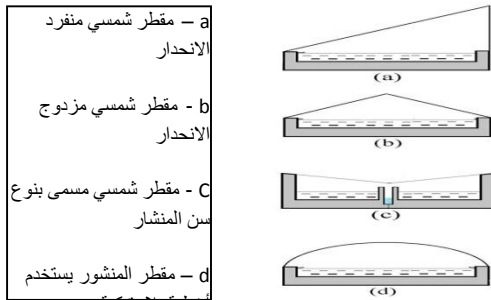
إضافة إلى ذلك تم تحليل عينات المياه قبل وبعد عملية التقطير في مركز البحوث والاستشارات جامعة مصراته حيث تم فيه قياس الأس الهيدروجيني (HP) والموصلية الكهربائية (C.E) ومجمل المواد الصلبة (S.D.T) لمعرفة هذه الخصائص قبل وبعد عملية التقطير .

من خلال النتائج المتحصل عليها اتضح أن إنتاجية المقطر تزداد كلما ازدادت شدة الإشعاع الشمسي الساقط على الغطاء الزجاجي، وكذلك كلما انخفضت نسبة ملوحة الماء. كما أوضحت النتائج إمكانية الحصول على كمية من الماء المقطر في حدود 2.4 لتر خلال 10 ساعات من بداية تشغيل المقطر عندما يكون عمق ماء البحر في الحوض 1.5 سم أما عندما يكون عمق ماء البحر في المقطر 1 سم نتحصل على 1.4 لتر من المياه المقطرة و1.9 لتر عندما يكون عمق ماء البحر 0.5 سم .

1. المقدمة

تتميز الطاقة الشمسية بالوفرة وعدم النضوب وعدم التلوث، ومع ذلك فإن كلفة استخدام المنظومات الشمسية قد تكون مرتفعة ويعود السبب في ذلك إلى كون الإشعاع الشمسي منتشر قليل الكثافة أو الشدة ومنقطع وبالتالي احتياج هذه المنظومات إلى بعض من أشكال الخزن الحراري. علي أية حال، الطبيعة المتقطعة للطاقة الشمسية لا تشكل عائقاً في العديد من التطبيقات ومنها تطبيق تقطير المياه المالحة بحيث يمكن الحصول على المياه المقطرة خلال الساعات التي تكون فيها الطاقة الشمسية متوفرة. وسيتم دراسة هذا النوع من الأجهزة حيث يكون موضوع ومحل دراسة. في هذه الطريقة تستخدم أشعة الشمس المباشرة كمصدر حراري لرفع درجة حرارة الماء الداخل إلى الحوض حيث يتبخر جزء من الماء بفعل الأشعة الشمسية التي تصل إلى سطح الماء عبر الغطاء الشفاف. يتصاعد بخار الماء ليصل إلى السطح الداخلي للغلاف حيث يتكثف عليه مشكلاً قطرات من الماء العذب التي تسيل على سطح الغطاء نحو الأسفل وتتجمع في قناة في النهاية السلفي كما في الشكل (1) [1].

إن قسماً من الأشعة الشمسية التي تسقط على غطاء المحطة ينعكس علي سطحه الخارجي، والقسم الثاني يتمصه الغطاء أما القسم الأعظم الباقي فيخترق الغطاء ليصل إلى سطح الماء. وتكرر نفس العملية مرة ثانية أي انعكاس جزء من الأشعة على سطح الماء وامتصاص جزء آخر منه قبل نفوذ القسم الثالث عبر الماء إلى القاع الأسود الموجود أسفل الحوض الذي يتمصه بكامله تقريباً جزء صغير منه فإنه ينعكس. نتيجة لارتفاع درجة حرارة الماء وتبخر جزء منه وانتقاله إلى الجو الداخلي للمحطة ومن ثم تكثيفه على السطح الداخلي للغطاء ونظراً لأن الغطاء بارد نسبياً فإن جزيئات الماء المتكثف على سطحه الداخلي متحركة إلى قطرات بعد أن تترك جزء من طاقتها وهو طاقة التكثيف التي تؤدي إلى تسخين الغطاء، بالإضافة إلى ذلك يتم انتقال حرارة من سطح الماء المالح والساخن إلى السطح الداخلي للغطاء وذلك عن طريق إشعاعات حرارية علي السطح الداخلي حيث ينعكس جزء صغير من هذه الإشعاعات علي السطح الداخلي أما القسم الباقي الأعظم منها فيمتص من الغطاء أو يخترق ليضيع في الجو الخارجي. تؤدي هذه الطاقات إلى رفع درجة حرارة الغطاء الذي يبدأ بدوره بإصدار أشعة حرارية إلى الوسط الخارجي (الطاقة المفقودة). إن ما يحدث داخل هذه المحطات هو تبخير بطيء للماء وليس غليان حيث تصل درجة حرارة الماء ما بين (50-60 C°) ويكون الضغط داخل هذه المحطات مساوياً للضغط الجوي. هناك العديد من وحدات التقطير التي صنعت حول العالم. ولكن يمكن اختيار أربع أنواع رئيسية كما في الشكل (2) [2] و[3].



الشكل 2. يوضح وحدات التقطير

استلمت الورقة بالكامل في 20 سبتمبر 2021 وروجعت في 19 أكتوبر 2021 وقبلت للنشر في 19 أكتوبر 2021،

ونشرت ومتاحة على الشبكة العنكبوتية في 30 أكتوبر 2021.



شكل 3. المقطر المزدوج

جهاز الثرموكابلز :

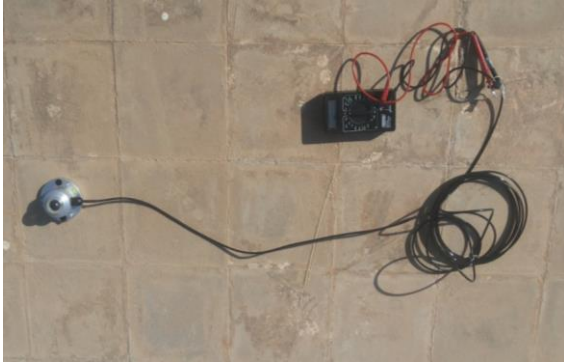
هذا الجهاز لقياس درجات الحرارة لكل من درجة حرارة الزجاج ودرجة حرارة الماء Tw.



الشكل 4. جهاز الثرموكابلز

. جهاز قياس الإشعاع الشمسي (بيرانومتر):

يتكون من قرص مركزي أبيض تحيط به حلقة سوداء القطعة المعدنية السوداء تمتص كل الأشعة التي تصلها بينما تعكس القطعة البيضاء معظمها وبالتالي فإن الفرق بين درجة حرارة القطعتين يتحول إلى تيار كهربائي يقيس الأشعة المباشرة والمنتشرة التي يتعرض لها الجهاز كما هو موضح بالشكل (5).



الشكل 5. جهاز قياس الإشعاع الشمسي (بيرانومتر)

جهاز قياس الرياح (أنيمومتر):

هو عبارة عن عمود مثبت فيه عدد من أنصاف الدوائر المعدنية، ويتصل العمود بعدد ،وعندما تدور الأجزاء المعدنية بفعل الرياح يسجل العداد قراءات يمكن ملاحظتها في فترة محددة من الزمن ثم تحسب سرعة الرياح على أساسها. كما هو موضح بالشكل (6) .

2. تأثير العوامل المتعددة علي أداء وحدات التقطير

1 - تأثير الإشعاع الشمسي العامل الأكثر أهمية المؤثر علي أداء وحدات التقطير الشمسي هو شدة الإشعاع الشمسي، حيث تنخفض إنتاجية التقطير عندما تنقص شدة الإشعاع الشمسي.

2- تأثير درجة حرارة الهواء الجوي :

إن زيادة درجة حرارة الهواء المحيط تحسن من خرج وحدة التقطير الشمسي ومن جهة أخرى هذه التحسينات تكون أكثر لوحدات التقطير ذات العزل السيئ. ويمكن إهمال هذه التحسينات عندما تكون وحدة التقطير معزولة جيداً. [6]

3- تأثير سرعة الرياح:

إن تأثير سرعة الرياح يكون غير ذا أهمية إلا إذا كان التغيير في سرعة الرياح كبير جداً، وضع كوبر (1937) أن معدل الإنتاج يزداد بشكل طفيف مع الزيادة في سرعة الرياح وذلك ناتج عن الاختلاف الكبير في درجات الحرارة بين الماء والغطاء الزجاجي، ومع ذلك فإنه عند سرعات الرياح العالية الزيادة الإضافية لها تأثير مهم، النتائج النموذجية من الشغل الذي قام به كوبر هي الزيادة في سرعة الرياح من (0 إلي 77كم/ساعة) تحسن من معدل الإنتاج بحوالي 11.5 %، بينما الزيادة في سرعة الرياح من (7.7 إلي 31.7 كم/ ساعة) الإنتاج بـ 1.5 % [5].

4- عمق الماء في المقطر:

تم اكتشاف أن معدل التبخير يزداد تماثلياً مع درجة حرارة الماء المالح، وبالتالي في حالة الرغبة في الحصول علي درجة حرارة عالية للماء المالح فإنه يجب أن يكون عمق الماء المالح صغير بقدر الإمكان.

اكتشف كوبر (1969) أن تأثير عمق الماء المالح علي إنتاجية وحدة التقطير يعتمد علي درجة العزل أسفل وحدة التقطير. وإذا لم يتم استخدام أي عزل فإن تقليل عمق الماء المالح يحسن الإنتاج بمقدار قليل فقط. ولكن إذا كان هناك عزل حراري جيد أسفل وحدة التقطير. فإن إنقاص عمق الماء المالح يؤدي إلي تحسين الإنتاجية بشكل أكثر وضوحاً، خصوصاً عند أعماق الماء المالح السطحية، ولذلك يجب تجنب وجود البقع الجافة علي طبقة الحوض مما يجعل عمق الماء المالح يجب أن يكون حوالي 5 سم عادة في وحدات التقطير ذات الأحواض الكبيرة [4].

5- تأثير تركيز الملح في الماء:

يتناقص أداء وحدة التقطير كلما ازداد تركيز الملح في الماء. حيث ينقص الأداء بحوالي 10% إذا ارتفع تركيز الملح في الماء إلي 20%.

6- تأثير درجة حرارة الماء المالح:

تؤدي الزيادة في درجة حرارة الماء المالح إلي الزيادة في أداة المحطة، والتي تؤدي إلي زيادة انتقال الحرارة بالتبخير داخل المقطر [7].

3. الأجهزة المستخدمة

عند إجراء أي دراسة عملية لا بد من استخدام أجهزة معينة تساعدنا في الحصول على القراءات والنتائج التي من خلالها نتعرف علي أداءها والعوامل التي تؤثر عليها.

1. المقطر الشمسي نوع (مزدوج) :

تم تصنيعه هو عبارة عن وعاء على شكل متوازي الأضلاع صنع من مادة الخشب وأبعاده (100*100*10 سم) ويوجد في قاعدة الوعاء فتحة لتفريغ الوعاء من الماء ومطلي الوعاء بلون الأسود بماده (السليكون) لزيادة كفاءة امتصاصه للأشعة الشمسية، تم ثقب فتحة في هيكل المقطر من الجانب يمر فيها أنبوب بلاستيكي يتصل بالخارج بقمع لتغذية الحوض بالمياه، كما حفر مجرى على طول الحافة السفلى للهيكل وبزاوية مائلة يثبت في المجرى أنبوب من البلاستيك مشطوف عند نصف قطره ، داخل المجرى لتجميع الماء المتكثف بواسطة السطح الداخلي للزجاج كما تم عزل جوانب الوعاء باستخدام بمادة (الفوم) وتم تغطية المقطر بغطاء مصنوع من مادة الزجاج سمكه 3 ملم ، وثبت الزجاج بإحكام باستعمال مادة السيلكون ، وبميل بزاوية ميل تساوي زاوية خط العرض لمدينته مصراثة (32.16) وذلك للحصول على أفضل شدة إشعاع ساقط على الغطاء الزجاج والشكل (3) يوضح المقطر المزدوج .

$P_{wg} \cdot P_w$ يمثلان ضغط التبخر الجزئي لبخار الماء بوحدات (MN/m²) عند درجة حرارة الماء ودرجة حرارة الزجاج على التوالي.
كذلك تعطي الحرارة المنتقلة بالتبخير بالعلاقة التالية:

$$\dots(6) q_e = 0.0061 \left[(T_w - T_g) + \frac{(P_w - P_{wg})(T_w + 237)}{0.265 - P_w} \right]^{\frac{1}{3}} [P_w - P_{wg}] * L_{wg}$$

L_{wg} : هي الحرارة الكامنة للتكثيف للماء (J/Kg).
وأخيراً فإن الفقد الحراري من أرضية المقطر وجوانبه يعطي بالعلاقة التالية:

$$\dots(7) q_b = h_b (T_w - T_a)$$

$$\dots(8) h_b = \frac{K}{\Delta X} A$$

حساب مجموع الفقد الحراري بالحمل والإشعاع من الغطاء الزجاجي إلى الهواء:

$$\dots(9) q_{ga} = h_{ga} (T_g - T_a) + F_{gs} \sigma [(T_g + 273)^4 - (T_g - 263)^4]$$

حيث

h_{ga} : معامل انتقال الحرارة بالحمل من الغطاء الزجاجي إلى الهواء الخارجي ويعطي بالمعادلة التالية:

$$\dots(10) h_{ga} = 5.61 + 1.09 * V_w$$

V_w : سرعة الرياح (km/hr)

تحتسب كمية المياه المقطرة الناتجة من عملية التبخر وتكثفها على السطح السفلي للغطاء الزجاجي وكذلك الكفاءة اللحظية للمقطر من العلاقات التالية:

$$\dots(11) D_H = \frac{q_e}{L_{wg}}$$

$$\dots(12) n_d = \frac{q_e}{A_c * I_t}$$

ويمكن حساب كفاءة المقطر على أساس كمية الماء المقطر الناتج بكل وحدة من مساحة الحوض في اليوم أي اللتر من الماء لكل متر مربع من مساحة الحوض في اليوم:

$$\dots(13) n_{d|day} = \frac{\sum q_e}{\sum I_t}$$

5. النتائج والمناقشة

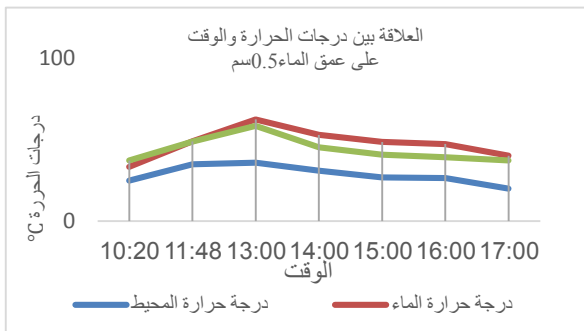
1 تم دراسة العوامل التي تؤثر على الإنتاجية في المقطر وهي:

- 1- وهي تأثير الإشعاع الشمسي .
- 2-تأثير درجة حراره الهواء الجوي .
- 3-تأثير درجة حرارة الماء المالح.
- 4-تأثير سرعه الرياح .
- 5-عمق الماء المالح .

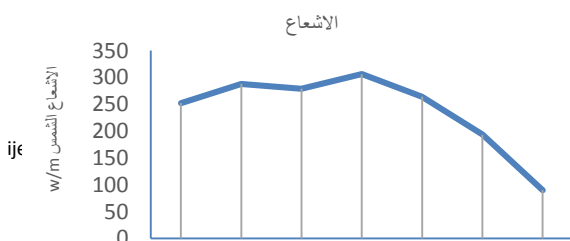
حيث تم دراسة تأثير عمق المياه في المقطر وهي 0.5 سم ، 1 سم ، 1.5 سم .
وجداول (1) يوضح النتائج عند عمق 0.5سم في حوض المقطر .

جدول 1. عمق الماء البحر في الحوض المقطر 0.5 سم

Time	T _a °C	T _w °C	T _g (°C)	V (km/h)	I (W/m ²)	ml
10:20	29	33.4	37.3	1	252	0
11:48	35	49.1	49	0	288	300
13:00	36	62.6	58.6	0	279	410
14:00	31	53	45.4	1	306	310
15:00	27	48.7	40.9	1	264	175
16:00	26.5	47.4	39.3	2	193.5	300
17:00	20	40.2	37.4	1	90	210
9:30	30					250
						1,955



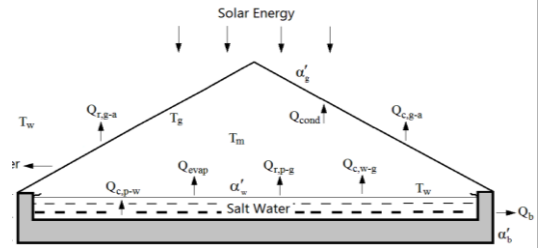
شكل 8. العلاقة بين درجات الحرارة والوقت



الشكل 6. جهاز قياس الرياح (أنيمومتر)

4. التحليل الرياضي الحراري للمقطر الشمسي الحوضي

يمكن توقع أداء المقطر الشمسي وذلك عن طريق كتابة معادلات اتزان الحرارة لمكونات المقطر المختلفة، النموذج الرياضي لحالة الاستقرار تحت كميات مختلفة للتبادل الحراري بين السطح المبخر والسطح المكثف الموضح بالشكل (7) [8] و [9] .



شكل 7. الاتزان الحراري للمقطر الشمسي

عادلة التوازن الحراري للمقطر يمكن كتابتها بالعلاقة التالية:

$$\dots(1) \alpha_g I_t + \alpha_w T_g I_t = (MC_p)_w \frac{\partial T_w}{\partial t} + q_{ga} + q_b$$

I_t : الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على الغطاء الزجاجي (W/m²).

q_{ga} : مجموع الفقد الحراري بالحمل والإشعاع من الغطاء الزجاجي إلى الهواء.

q_b : الفقد الحراري من أرضية المقطر وجوانبه إلى المحيط الخارجي.

α_w : امتصاصية الماء.

α_g : امتصاصية الزجاج.

C_p : الحرارة النوعية للمياه.

T_g : نفاذية الغطاء الزجاجي.

M : كمية الماء في حوض المقطر.

وبالمثل فإن معادلة التوازن الحراري للغطاء الزجاجي تعطي بالمعادلة التالية:

$$\dots(2) q_{ag} = q_r + q_c + q_e + \alpha_g I_t$$

q_r : المعدل الحراري بالإشعاع من الماء إلى الغطاء الزجاجي (W).

q_c : المعدل الحراري بالحمل من الماء إلى الغطاء الزجاجي (W).

q_e : المعدل الحراري بالتبخير من الماء إلى الغطاء الزجاجي (W).

حساب الحرارة المنتقلة بالإشعاع والحمل والتبخير من سطح الماء إلى الغطاء الخارجي:

$$\dots(3) q_r = F_{wg} * \sigma * [(T_w + 273)^4 - (T_g - 273)^4]$$

F_{wg} : هو معامل المواجهة بين الماء والغطاء الزجاجي ويعطي بالعلاقة:

$$\dots(4) F_{wg} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_w} + \frac{1}{\epsilon_g} - 1}$$

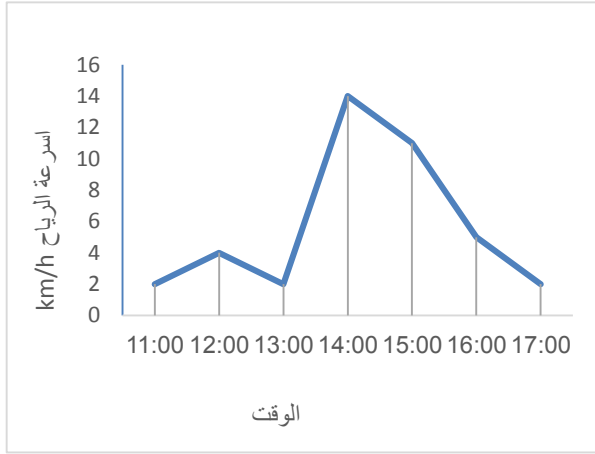
ϵ_w ، ϵ_g يمثلان انبعاثية الماء والزجاج

وكذلك تعطي الحرارة المنتقلة بالحمل بالعلاقة التالية:

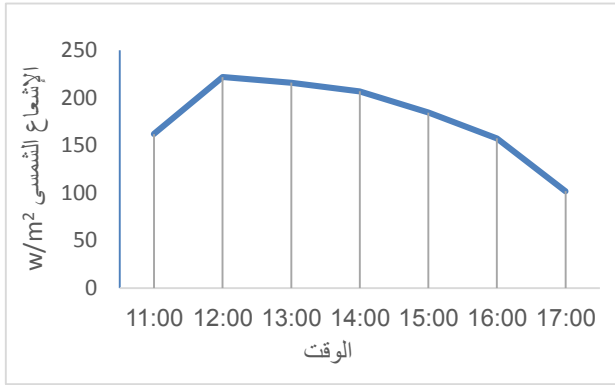
$$\dots(5) q_c = 0.8831 \left[T_w - T_g \right] + \frac{(P_w - P_{wg})(T_w + 273)}{0.265 - P_w} \left[T_w - T_g \right]$$

حيث أن:

شكل 11. العلاقة بين درجات الحرارة والوقت

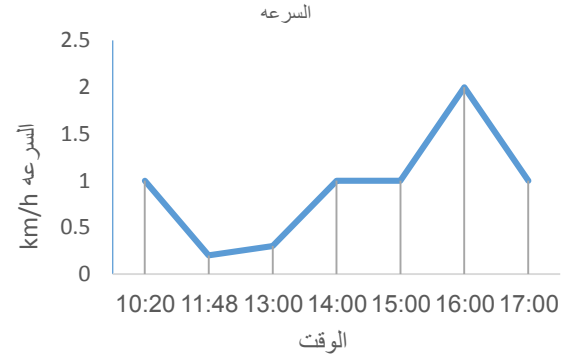


شكل 12. العلاقة بين سرعة الرياح والوقت



شكل 13. العلاقة بين الإشعاع الشمسي والوقت

شكل 9. العلاقة بين الإشعاع الشمسي والوقت



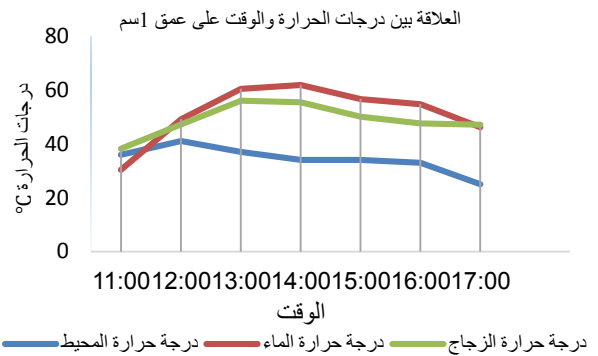
شكل 10. العلاقة بين سرعة الرياح والوقت

جدول 3. خلال شهر أبريل (15-أبريل-2017) السماء صافية عمق ماء البحر في حوض المظطر 1.5م

Time	T _a (°C)	T _w (°C)	T _g (°C)	V (Km/h)	I (w/m ²)	ml
10:00	39	29	43	0	168	0
11:00	45	45.8	43.9	1	199.5	0
12:15	43	59.1	55.1	10	235.5	275
13:15	43	65.6	58.8	4	232.5	380
14:20	43	63	58.6	1	261	400
15:15	40.5	62.1	57.3	0	192	300
16:00	38.5	60.4	52.6	0	165	275
17:00	33.5	55.8	55.2	0	120	240
18:00	32.5	49.3	42.4	0	69	160
10:00						360
						2,390

جدول 2. عمق الماء البحر في الحوض المظطر 1.0م

Time	T _a (°C)	T _w (°C)	T _g (°C)	V (Km/h)	I (w/m ²)	ml
11:00	36	30.3	38.2	2	162	0
12:00	41	49.2	47.2	4	222	110
13:00	37	60.5	56	2	216	200
14:00	34	61.9	55.4	14	207	230
15:00	34	56.7	50.1	11	184.5	210
16:00	33	54.8	47.6	5	157.5	155
17:00	25	46.2	47.1	2	102	150
11:00	31					300
						1,355



6. الاستنتاجات

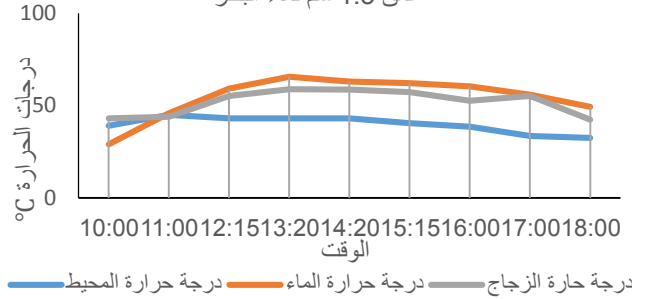
من خلال النتائج التي تم الحصول عليها في هذا البحث يمكن استنتاج الآتي:

1. إمكانية تصميم وتصنيع المقطر الشمسي المزدوج بالإمكانات المتاحة محليا في مدينة مصراته.
2. تزداد إنتاجية المقطر كلما ازدادت شدة الإشعاع الشمسي الساقط على الغطاء الزجاجي.
3. تعتمد إنتاجية المقطر على درجة حرارة الماء الساخن بالمقتر.
4. يعطى المقطر الشمسي المزدوج حسب الظروف الجوية لمدينة مصراته أكبر كمية من المياه المقطرة في حدود 2.4 لتر عندما يكون ماء البحر على عمق 1.5 سم.
5. أعلى قيمة للإشعاع سجلت أثناء البحث ووجدت (W/m^2) 306 عندما كان عمق الماء في المقطر 0.5 سم.
6. مقارنة الأس الهيدروجيني والموصلية ومجموع الأملاح الذائبة للماء قبل وبعد عملية التحلية كانت على التوالي 7.11 و $26600 \mu s$ و $15.93 g/L$ و $5.50 g/L$ و $286 \mu s$ و $0.1709 g/L$ وهي جيدة .

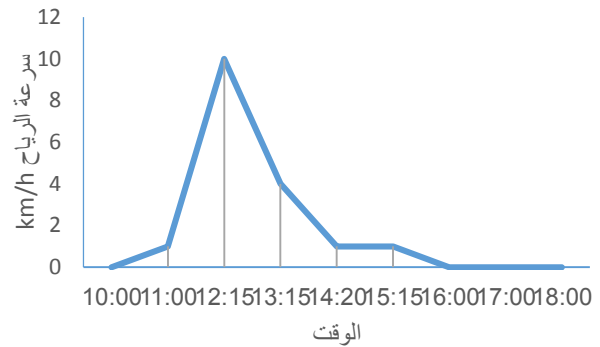
المراجع

- [1] Renewable desalination market analysis in Oceania, South Africa, Middle East & North Africa, 2010.
- [2] Jaber IS, Ahmed MR. Technical and economic evaluation of brackish groundwater desalination by reverse osmosis (RO) process. Desalination 2004;165:209–13
- [3] Sambrailo D, Ivic J, Krstulovic A. Economic evaluation of the first desalination plant in Croatia. Desalination 2005;179:339–44.
- [4] Tzen E. Renewable energy sources for desalination," Paper presented at Workshop on Desalination Units Powered by RES", Athens, 2006
- [5] Delyianni E, Belessiotis B. Methods and Desalination Systems Principles of the Desalination Process, NCSR 'Demokritos', 1995.
- [6] Introduction to Desalination Technologies in Australia, 2002.
- [7] H.T.EL- Dessouky et al., fundamentals of salt water Desalination , Amsterdam, Elsevier ,2002.
- [8] James E. Miller , Review of Water Resources and Desalination technologies ,Denver , March 2003 , Sandia National National Laboratories .
- [9] Mustafa M Elsayed , Ibrahim S. Tah and Jaffar A. shabagh , Deisgn of Solar Thermal systems , Jedda: Scientific Publishing Centre, King Abdul Aziz University ,1994
- [10] Jaber IS, Ahmed MR. Technical and economic evaluation of brackish groundwater desalination by reverse osmosis (RO) process. Desalination
- [11] Delyianni E, Belessiotis B. Methods and Desalination Systems Principles of the Desalination Process, NCSR 'Demokritos', 1995.

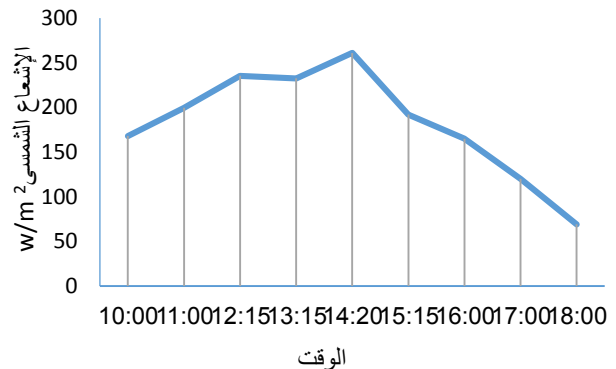
العلاقة بين درجات الحرارة والوقت على عمق 1.5 سم لماء البحر



شكل 14. العلاقة بين درجات الحرارة والوقت



شكل 15. العلاقة بين سرعة الرياح والوقت



شكل 16. العلاقة بين الإشعاع الشمسي والوقت