إنتاج الطاقة بدرجات حرارة متوسطة من مصادر جيوحرارية في سورية

د. م. بسام بدران*

الملخص

الهدف الأساسي من هذا البحث هو تقدير الطاقة الكهربائية الكامنة التي يمكن استخراجها من الآبار النفطية المغلقة في الحقول الشمالية الشرقية في سورية. أظهر البحث أن استخدام دورة رانكين العضوية (ORC) ذات الوسيط العضوي إيزوبوتان $[ISO-Butane\ (i-C_4H_{10})]$ تعطي طاقة صافية بقيمة $(0.8\ MW)$. تستخدم الدورة الجيوحرارية محلولاً ملحياً **Brine** لامتصاص الحرارة الجوفية من باطن الأرض عند درجة حرارة $(140°C = 413K)$.

الكلمات المفتاحية: الطاقات المتجددة، الطاقة الجيوحرارية، دورة رانكلين العضوية، الآبار النفطية، وسيط عضوي، إيزوبوتان، وسيط ملحي، الإكسرجي.

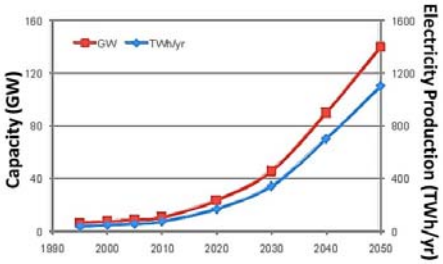
* مدرس في قسم الميكانيك العام– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق.

1 –المقدمة:

بدأ الاهتمام بالطاقات المتجددة بعد أزمة البترول في بدايات عام 1970 عندما قطعت السعودية إمدادات النفط عن دول العالم إثر حرب تشرين التحريرية وبدأت الشركات النفطية تستثمر وبشكل كبير في برامج الطاقات المتجـددة ومنهـا الطاقة الجيوحرارية. تعتمد الطاقة الجيوحرارية على الإفادة من حرارة باطن الأرض التي تقدر بنحـو 5000 درجـة مئوية (9000 درجة فرهنهايت) على عمق **6660** كيلومتر (4000 ميل) **[1]** في توليد الطاقة الكهربائية النظيفة. يقـدر العلماء أن الطاقة الحرارية المخزونة تحت سـطح الأرض تقدر بنحو 42 مليون ميغـاواط $(MW = MJ/sec)$. هذه الطاقة قادرة على تغذية 42000 مليون منزل (واحـد ميغاواط يغذي نحو 1000 منزل من الطاقة **[2]**).

الإحصاءات التي قامت بها منظمة الأمم المتحـدة للطاقـة **(UNWEA)** **[3]** تقدر أن الطاقة الكهربائية المستهلكة عالمياً هي بنحو $(4.18 * 10^{20})$ جـول أو $(1.161 * 10^{14} MW)$ سنوياً، أي إن الطاقة الجيوحرارية التي توجد على عمق 5 كيلومتر من سطح الأرض في العالم تكفي لتلبية الاحتياجات الطاقية الكهربائية إلى 3500 سنة، ولو حفرنا إلى عمق 10 كيلومتر من السطح فيمكن لهذه الطاقة أن تسد الاحتياجـات عدة قرون متتالية.تدل الدراسـات أيـضاً أن الاسـتطاعة الكهربائية المستخرجة من الطاقة الجيوحرارية في العـالم ستزداد من **11,000** ميغاواط في عام 2010 إلـى **140,000** ميغاواط بين عام 2010 و2050 كمـا فـي الـشكل (1) المرفق **[Bertani, 2005,4]**.

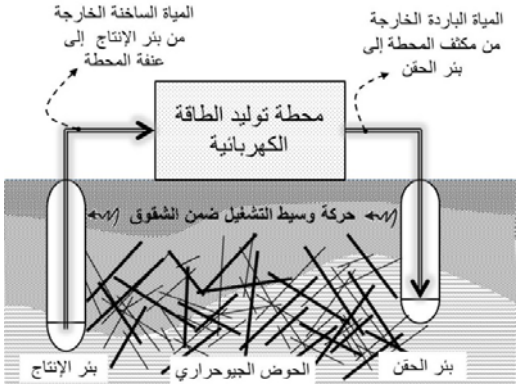
تعمل المحطات الجيوحرارية على دورة رانكين البخاريـة عندما تكون درجة حرارة باطن الأرض بـين 150 و200 درجة مئوية، أو عندما يكون عمق البئـر بحـدود أربعـة كيلومترات أو أقل **[Duffield, 2003,5]**. عندما تكون درجة حرارة باطن الأرض بين 100 و150 درجة مئوية أو أقل فإن الطاقة الجيوحرارية يمكن أن تستثمر في دورة رانكين العضوية**Organic Rankine Cycle (ORC)** التي تـستعمل وسيطاً عضوي بدلاً من المـاء كمـا فـي دورة رانكـين البخارية. تسمى دورة رانكين العضوية في بعض المراجع بالدورات ذات الوسيطين **Binary Power Cycles**.



الشكل (1) إنتاج الطاقة عالمياً وتوقعاتها

2- تحويل الطاقة الجيوحرارية إلى طاقة كهربائية:

تقوم المغما (الصخور المنصهرة) الموجودة فـي بـاطن الأرض وبفعل الحمل الطبيعي**Free Convection** علـى تسخين مياه الأمطار النافذة والمجمعة ضـمن أحـواض طبيعية في جوف الأرض وتحويلها إلى بخار ماء بضغط عالٍ. يبدأ هذا البخار بالخروج إلى سطح الأرض عبـر الصخور النفوذية والتصدعات الطبيعيـة فـي طبقـات الأرض. تحفر الآبار في الأماكن التي تظهر فيها هـذه الأبخرة بقصد السماح لها بالخروج وبشكل سـهل إلـى السطح واستخدامها في توليد الكهرباء.



الشكل (2) النظام الجيوحراري المتطور.

الطريقة المطورة في استخراج الطاقة الجيوحرارية مـن بـاطن الأرض هـي طريقـة النظـام الجيـوحراري

المتطور(Enhanced Geothermal Systems (EGS كما في الشكل (2). في هذه الطريقة نقوم على حفر بئر حقن Injection Well الذي تُضخ فيه المياه المكثفة من محطة التوليد إلى حوض التسخين المصطنع أو ما يسمى الحوض الجيوحراري Reservoirحيث تُرفع درجة حرارة المياه إلى درجة حرارة الحوض ثم تستخرج المياه الساخنة من الحوض عبر آبار إنتاج Production Well وتتحول إلى أبخرة محمصة تدخل إلى عنفة توليد الطاقة الكهربائية. تتألف المحطة الجيوحرارية المطورة (EGS) من قسمين.

القسم الأول يتوضع تحت الأرض (Subsurface Technologies) ويتكون من مرحلة البحث (Exploration) عن المكان المناسب للبدء بعملية الحفر ومن مرحلة التأكيد (Confirmation) على توافر الطاقة المناسبة ضمن الخزان الجيوحراري المقترح لاستخراجها واستثمارها. تصل كلفة القسم الأول لحفر بئر على عمق 4 كيلو ومتر 3 مليون دولار أمريكي بحسب الموديل Wellcost Lite [Augustine, 2006, 6].

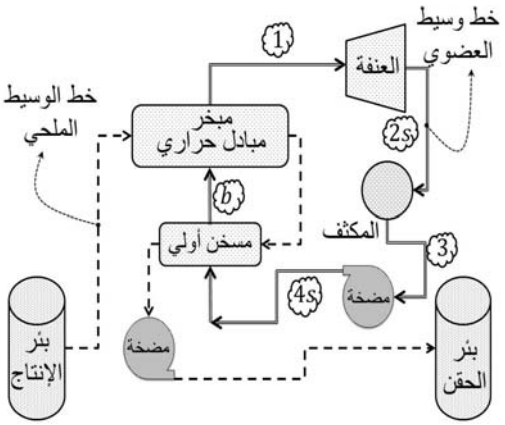
القسم الثاني يتوضع فوق الأرض (Surface Technologies) ويحدد في هذا القسم الموقع المناسب لبناء محطة توليد الطاقة الكهربائية (Site Development) التي تتألف من العنفة والمولدة ومكثف الأبخرة والمضخات.

تقدر الكلف الاستثمارية الإجمالية للقسمين معاً بحسب المرجع [EERE, 2009,7] بقيمة 3400 إلى 4500 دولار أمريكي لكل كيلو واط كهربائي مركب. أما كلفة الكيلوواط الكهربائي المركب $(kW\ installed)$فتقدر بنحو 2300 دولار أمريكي عندما تكون درجة حرارة الأبخرة $(100°C)$ و1500 دولار أمريكي عندما تكون درجة حرارة الأبخرة $(400°C)$[Taylor, 2009,8].

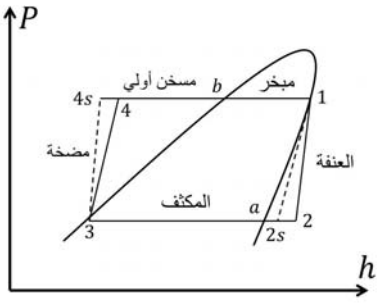
3- دورة رانكين العضوية:

بدأ العمل على هذا النوع من المحطات الحرارية في عام 1980. تتألف الدورة العضوية من العنفة والمكثف والمضخة والمسخن الأولي والمبخرة كما في الشكل (3). يستَعملُ البخار أو الماء الساخن الخارج من آبار الإنتاج في تحميص سائل آخر عضوي مثل الإيزوبنتان أو إيزوبوتان قبل دخوله إلى عنفة الدورة . تراوح درجة حرارة الأبخرة الداخلة إلى العنفة تتراوح بين $(25 - 177°C)$. استطاعة هذه المحطات هي أقل من $(5\ MW)$.

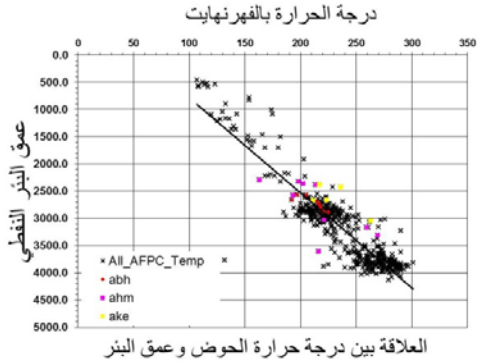
يظهر الشكل (4) الدورة الترموديناميكية لهذه الدورة على مخطط $(P-h)$ إذْ نلاحظ أن التسخين الأولي يمثل بالعملية $(4 \rightarrow b)$ والمبخر يمثل بالعملية $(b \rightarrow 1)$. المسخن الأولي والمبخر في دورة رانكين العضوية هو عبارة عن مبادلات حرارية مغلقة.



الشكل (3) عناصر دروة رانكين العضوية.



الشكل (4) دورة رانكين العضوية على مخطط $(P-h)$.



الشكل (5) العلاقة بين درجة حرارة الحوض وعمق البئر [8].

4- معلومات عن الآبار النفطية في شمالي سورية:

جرى بموافقة المؤسسة العامة للنفط في دمشق، الحصول على معلومات ومعطيات كثيرة متعلقة بالآبار المغلقة والخارجة عن الخدمة الموجودة في مجموعة من الحقول النفطية في المنطقة الشمالية الشرقية من سورية[9]. فُهمتْ ونُفخَتْ هذه المعطيات وتم الحصول على العلاقة بين درجة حرارة الحوض النفطي وعمق هذا الحوض (البئر المحفور). يبين الشكل (5) القيم التي تم الحصول عليها من الشركة السورية للنفط والتي تعطي العلاقة بين درجة حرارة الحوض المقيسة بالفهرنهايت وعمق البئر بالمتر.

نلاحظ من الشكل (5) أنه يمكن استخدام هذه الآبار النفطية المغلقة والخارجة عن الخدمة على شكل آبار إنتاج أو حقن بين عمق $(2500-4000m)$ وبدرجة حرارة تتراوح بين $(200-300°F)$ أو $(94-150°C)$ في توليد الطاقة الكهربائية. باستخدام طريقة الترجيع الخطي الرياضية **Linear Regression** نجد أن الموديل الرياضي الخطي الذي يربط بين درجة حرارة الحوض $(T,°F)$ بالفهرنهايت وعمقه (D,m) بالمتر هو

$$D = 17.5 * T - 961 \quad (1)$$

مع رواسب **Residuals** بقيمة $(R^2 = 0.8366)$. باستخدام طريقة الاستقراء الداخلي الرياضية **Interpolation** على الموديل الرياضي السابق نجد أن درجة حرارة الحوض على عمق $(4000\ m)$ هي $(284°F = 140°C)$. باستخدام طريقة الاستقراء الخارجي الرياضية **Extrapolation** على الموديل نجد أن درجة حرارة الحوض الجوفي تصل إلى $(630°F = 366°C)$ على عمق $(10000\ m)$ ومن ثم يمكن استخدام دروة رانكين البخارية التقليدية على هذه الأعماق.

الجدول (1) مواصفات الوسيط العضوي في دورة رانكين العضوية [13].

الكتلة المولية	$58.123\ g/mol$
درجة الحرارة الحرجة	$134.9°C$
الضغط الحرج	$36.48\ bar$
نقطة الغليان	$-11.7°C$
معامل الانضغاط	0.9675
الحرارة النوعية عند ضغط ثابت	$0.095\ kJ/molK$
الحرارة النوعية عند حجم ثابت	$0.086\ kJ/molK$

5- اختيار وسيط دروة رانكين العضوية.

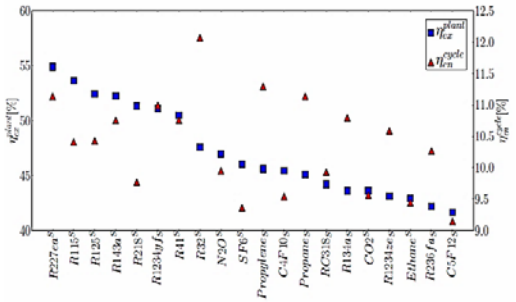
هناك مجموعة من الوسائط العضوية التي يمكن الاختيار منها في دورة رانكين العضوية فمثلاً يمكن استخدام الأمونيا أو الإيزوبنتان أو البوتان أو خلائط متنوعة من هذه المواد العضوية مثل خليط 90% من الوسيط $(i-C_4H_{10})$ و10% من الوسيط $(i-C_5H_{12})$[Gallaher, 1987, 10]. في هذه الدراسة

اخترنـــا الوســـيط العـــضوي إيزوبوتـــان $[Iso-butane, (i-C_4H_{10})]$ ذا البارامترات الحرجـة $(134.9℃, 36.48\ bar)$ الذي يعطى الرمز $(R600\ a)$ فـي المراجع العلمية كلّها [Quoilin, 2009, 11] الذي لا تأثير له في طبقة الأوزون [EPA, 12]. استُخْدم هذا الوسـيط العضوي لأنه:

1) يخرج من العنفة على شكل وسيط جاف dry fluid أو مايسمى بالسائل الجافالإيزونتروبية dry and Isentropic Fluid، و2) ويعطي مردوداً حرارياً مرتفعـاً [Mago, 2006, 13] 3) توفر البارامترات الترموديناميكية كلّها في جداول المؤسسة الوطنية للمعايير والتكنولوجيا $(NIST)$ [14].يبين الجدول (1) بارامترات الوسيط العضوي.

6- اختيار وسيط الدارة الجيوحرارية:

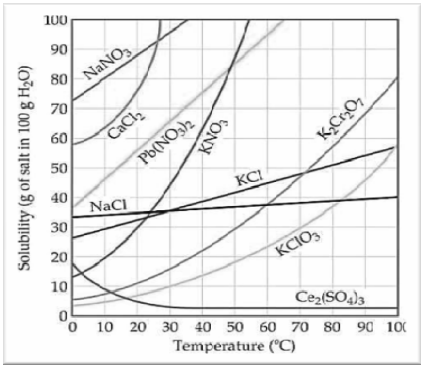
هناك كثير من الوسائط المدورسة في الدارة الجيوحرارية الجوفية [Walraven, 2013, 15] كما في الشكل (6) ومن أفضلها $(R227\ ea)$ بحسب المرجع. في هذه الدراسة اخترنا محلـولاً ملحيـاً $(brine\ Solution)$ بـسيطاً مؤلفاً من ماء و$(NaCl)$ بنسبة 0.90 % وزناً إلى حجـم (9 غرامات من الملح لكل ليتر من الماء).



الشكل (6) المراديد الحرارية والإكسرجي لمجموعة من وسائط الدورة الجيوحرارية [14].

والسبب في اختيار هذا المحلول هو تقارب مواصفاته من مواصفات الماء، ولكن درجة حرارة غليان هذا المحـول أعلى من الماء (القاعدة تقول: إن درجة حـرارة المـاء ترتفع نصف درجة عند إضافة 30 غراماً من الملح إلى واحد كغ ماء).

يبين الشكل (7) أن نسبة الملح في المـاء تـراوح بـين $(30-40\ gram)$ في مجال درجـات الحـرارة بـين $(0-100\ ℃)$ [CRC, 16].



الشكل (7) علاقة نسبة التركيز ودرجة حرارة المحلول الملحي [CRC, 15].

أخذنا درجة حرارة المحلول الملحي المستخدم لامتصاص الحرارة الجوفية بقيمة $(140℃)$ التي تتناسب ودرجـة حرارة الحوض على عمق $(4000\ m)$ بحسب معطيات الشركة السورية للنفط. أما درجة حرارة خروج المحلول الملحي من البئر إلى المبادل الحراري في دورة رانكـين العـضوية فتـراوح بـين $(100-110℃)$ بحـسب معطيات الشركة السورية للنفط.

7- التحليل الطاقي لدورة رانكين العضوية:

الفرضيات التي استُخْدمتْ في التحليل الطاقي لهذه الدورة هي: 1- المضخة والعنفة تعملان بشكل إيزونتروبي 2- الضياعات في الأنابيب مهملة 3- التبادل الحراري بـين الوسيط الملحي والعضوي في المبادلات الحرارية مثالي 4- درجة حرارة التكـاثف الوسـيط العـضوي هـي $(47℃ = 320K)$ 5- الحـرارة النوعيـة للمحـلول الملحي المستخدم$(4.18\ kJ/kgK)$ 6- الضغط عنـد دخول العنفة هو $(2\ MPa)$ 7- درجة حرارة دخـول الوسيط العضوي هي $(100℃ = 373K)$ والموافقـة لضغط الدخول في الحالة الغازية.تعطى بارامترات دورة

رانكين العضوية بحسب المؤسسة الوطنية للمعايير والتكنولوجيا $(NIST)$ في الجدول (2).

الجدول (2) بارامترات دورة رانكين العضوية بحسب $(NIST)$.

$T_1 = 100°C, \quad P_1 = 20\ bar$
$h_1 = 677.23\ \frac{kJ}{kg}, s_1 = 2.3771 \frac{kJ}{kg\ K}$
$T_2 = 55°C, \quad P_2 = 6.3574\ bar$
$h_{2s} = 632.86\ \frac{kJ}{kg}, s_{2s} = 2.3771 \frac{kJ}{kg\ K}$
$T_3 = 47°C, \quad P_3 = 6.3574\ bar$
$h_3 = 314.24\ \frac{kJ}{kg}, s_3 = 1.3824 \frac{kJ}{kg\ K}$
$T_{4s} = 47.9°C, \quad P_4 = 20\ bar$
$h_{4s} = 316.91\ \frac{kJ}{kg}, s_{4s} = 1.3824 \frac{kJ}{kg\ K}$

يعطى المردود الحراري للدورة بالنسبة بين عمل الدورة الصافي وكمية الحرارة المستخرجة من الحوض الجيوحراري بالعلاقة الآتية:

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_{geo}} \qquad (2)$$

العمل الصافي للدورة هو الفرق بين عمل العنفة وعمل المضخة في الدورة كما يأتي:

$$w_{net} = w_{turb} - w_{pump}\ \frac{kJ}{kg}$$

$$w_{net} = (h_1 - h_{2s}) - (h_{4s} - h_3) \qquad (3)$$

بتعويض قيم الانتالبي من الجدول (2) نجد أن قيمة العمل الصافي هي:

$$w_{net} = 50.7\ \frac{kJ}{kg}$$

كمية الحرارة الجيوحرارية المعطاة من المحلول الملحي إلى الوسيط العضوي هي:

$$q_{geo} = (h_1 - h_{4s})\frac{kJ}{kg} \qquad (4)$$

بتعويض قيم الانتالبي من الجدول (2) نجد أن:

$$q_{geo} = 360.32\ \frac{kJ}{kg}$$

بالتعويض في مردود الدورة نجد أن:

$$\eta_{th} = \frac{50.7}{360.32} = 14.07\%$$

تتوافق قيمة المردود السابقة مع الدراسات التي أُجريتْ على دورات رانكين العضوية وبوسائط عضوية مختلفة إذْ دلت هذه الدراسات أن المردود يتراوح بين 10 و20 بالمئة **[Bahaa, 2005,17]** و**[Zyhowski, 2010,18]**.

يعطي عمل العنفة الإيزونتروبي وبحسب القانون الأول في الترموديناميك بالعلاقة:

$$W_{turb,rev} = (h_1 - h_{2s}) \qquad (5)$$

بتعويض قيم الانتالبي من الجدول (2) نجد أن عمل العنفة هو:

$$w_{turb,rev} = (677.23 - 632.86)$$

$$w_{turb,rev} = 53.37\ kJ/kg$$

تقول الدراسات: إن قيمة التدفق المثلى للوسيط العضوي هي **[Lukawski, 2009, 19]**

$$\dot{m} = (15\ kg/sec)$$

ومن ثَم تكون كمية الطاقة التي تعطيها العنفة

$$W_{turb,rev} = \dot{m} * w_{turb,rev} \qquad (6)$$

$$W_{turb,rev} = 800.55\ kW = 0.8\ MW$$

أي إن المحطة الجيوحرارية المدروسة ضمن الشروط السابقة التي تعمل على دروة رانكين العضوية باستخدام الآبار النفطية المغلقة يمكن أن تنتج طاقة صافية وقدرها $(0.8\ MW)$.

يجدر الذكر أن المحطات الجيوحرارية التي تعمل على دورة رانكين العضوية المنفذة في العالم تعطي من $(0.1\ MW)$ إلى $(2\ MW)$، فمثلاً محطة الثيم في النمسا تنتج $(1.0MW)$ **[Gaia, 2002, 20]** ومحطة نوسات في ألمانيا تنتج $(0.2MW)$ **[Bromann, 2003, 21]**.

يمكن حساب العمل الأعظمي لهذه المحطة الجيوحرارية بحسب الشكل (8) باستخدام معادلة التغيير في الإكسرجي لنظام مفتوح مع إهمال الطاقة الحركية والكامنة للمحلول الملحي على الشكل الآتي:

$$w_{geo,rev} = (h_{in} - h_{out}) - T_o(s_{in} - s_{out}) \quad (7)$$

درجة حرارة الدخول للمحلول الملحي هي $(140°C = 413K)$ ودرجة حرارة الخروج هي مطابقة للنقطة $(4s)$ بحسب الشكل (4)، لأن المبادلات مثالية وتساوي $(47.9°C = 320.9K)$.

تتحول معادلة التغيير في الإكسرجي إلى:

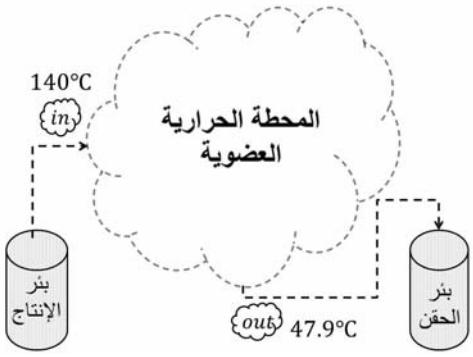
$$w_{geo,rev} = c * (T_{in} - T_{out}) - T_o * c * ln\frac{T_{in}}{T_{out}} \quad (8)$$

ومن ثَم فإن العمل النوعي الأعظمي يكون

$$w_{geo,rev} = 4.19\,(413 - 320.9) - 298 * 4.$$

$$w_{geo,rev} = 386 - 310$$

$$w_{geo,rev} = 76\ \frac{kJ}{kg}$$



الشكل (8) مخطط العمل الأعظمي للمحطة.

المردود الثاني للمحطة الجيوحرارية هو:

$$\eta_{II} = \frac{w_{cur,rev}}{w_{geo,rev}} \quad (9)$$

بالتعويض نجد أن المردود الثاني هو:

$$\eta_{II} = \frac{53.37}{76} = 70.22\ \%$$

أي إن الضياعات ضمن المحطة الجيوحرارية ضمن الشروط السابقة نحو 30% فقط.

8- الاستنتاجات والتوصيات:

مع التطورات الحديثة التي حصلت في العقود الأخيرة على محطات توليد الطاقة الكهربائية باستخدام الوقود الأحفوري (فحم، النفط، غاز طبيعي) فإن هذه المحطات تبقى المصدر الأساسي في تلوث الهواء، وهي تسهم في 60% من تلوث الماء في الولايات المتحدة. صرحت وكالة حماية البيئة الأمريكية بأن محطات توليد الطاقة الكهربائية مسؤولة عن 67% من انبعاثات أوكسيد الكبريت **Sulfur Dioxide** و23% من انبعاثات أوكسيد النتروجين **Nitrogen Oxide** و40% من انبعاثات غاز ثاني أوكسيد الكربون. هذه الأبخرة الضارة تؤثر في الطبيعة وفي الجنس البشري، وهناك دراسات كثيرة على هذه الأضرار. إن الاعتماد على دورة رانكين العضوية باستخدام الطاقة الجيوحرارية كباقي الطاقات المتجددة له مستقبل كبير وواعد لأنها لا تنضب.

- يعطي هذا البحث فكرة أولية عن كمية الطاقة الصافية التي يمكن الحصول عليها من الآبار المغلقة والخارجة عن الخدمة في المنطقة الشمالية الشرقية في سورية ضمن شروط معينة.

- يدل البحث السابق أن الكلف المستثمرة في هذه الآبار (3 مليون دولار لكل بئر على عمق 4 كيلومتر) تساعد على تقليل الكلف الابتدائية في القسم الأول من إنشاء المحطة الجيوحرارية المتطورة.

- يجدر إجراء البحوث الحقلية المكثفة بالتعاون مع وزارة الكهرباء ووزارة النفط والمركز الوطني لبحوث الطاقة لمعرفة مواصفات الآبار السابقة وتصنيفها ومعرفة أي الآبار قابلة للاستثمار؟ وما أحجام الأحواض الجيوحرارية الموجودة تحت هذه الآبار؟

- استجرار العروض الفنية والماليـة مـن الـشركات المختصة بهذا النوع من المحطات ومعرفة البـارامترات الضرورية لبناء هذه المحطات.

9- <u>كلمة شكر</u>.

نود شكر المؤسسة العامة للنفط لموافقتها على تقديم مـا يلزم من معلومات تفيد في إنجاز هذا البحث من خـلال الأطر الفنية الخبيرة في كل من شركة الفـرات للـنفط وشركة دير الزور للنفط.

المصطلحات والرموز:

T	درجة الحرارة
h	المحتوى الطاقي - الإنتالبي
h_s	المحتوى الطاقي في الحالة الإيزونتروبية
P	الضغط
w_{turb}	العمل النوعي للعنفة
$w_{turb,rev}$	العمل النوعي للعنفة العكوس
W_{turb}	عمل العنفة
w_{pum}	العمل النوعي للمضخة
w_{net}	العمل النوعي للصافي
$w_{geo,rev}$	العمل الجيوحراري النوعي العكوس
D	عمق البئر
η_{th}	المردود الحراري
η_{II}	مردود القانون الثاني
T_o	درجة حرارة المحيط
$\dot{m}$	تدفق وسيط التشغيل ضمن الدورة
c	الحرارة النوعية
q_{geo}	كمية الحرارة النوعية من الجوف

10- المراجع*

[1] Clini, C., Musu, I., Gullino, M. L., 2008, "*Sustainable Development and Environmental Management: Experiences and Case Studies*" Springer book, ISBN 978-1-4020-6597-2, Page 207.

[2]Energy and Geosciences Institute, University of Utah, prepared by the U.S. Geothermal Industry for the Renewable Energy Task Force, 1997, "*Briefing on Geothermal Energy*,"Washington, DC.

[3] United Nation World Energy Assessment – UNWEA.

[4] Bertani, R, 2009, "*Geothermal Energy: An Overview on Resources and Potential*," Proceedings of the International Conference on NATIONAL DEVELOPMENT OF GEOTHERMAL ENERGY, USA.

[5] Duffield, W. A., and Sass, J. H., 2003, "*Geothermal Energy Clean Power from the Earth's Heat*" USGSX, Circular 1249.

[6] Augustine, C., Tester, J, Anderson, B., 2006, "*A Comparison of Geothermal with Oil and Gas Well Drilling Costs*," Proceedings, 31 Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University.

[7] EERE, 2009, "*2008 Geothermal Technologies Market Report*," Energy Efficiency & Renewable Energy (EERE),US Department of Energy, 2009.

[8] Taylor, M., 2009, "*New Energy Finance.*"

[9] Syrian Petroleum Company, Alfourat Branch.

[10] Gallaher, J.S., Linsky, D., Morrison, G., 1987, "*Thermodynamic Properties of a Geothermal Working Fluid; 90% ISobutane-10% Isopentane*," National Bureau of Standards.

[11] Quoilin, S., Lemort, V., 2009, "*Technological and Economical Survey of Organic Rankine Cycle System*," 5th European Conference Economics and Management of Energy in Industry, Algarve, Portugal.

[12] www.epa.gov.

[13] Mago,P. J., Chamra, L. M., Somayaji, C., 2006, "*Performance analysis of different working fluids for use in organic Rankine cycles*," Proc. IMechE Vol. 221 Part A, Journal of Power and Energy.

[14] WWW.NIST.GOV.

[15] Walraven, D., Laenen, B., D'haeseleer, W.D., 2013, "*Comparison of Thermodynamic Cycles for Power Production from Low-Temperature Geotethermal Heat Sources*," Energy Conversion and Management, Vol. 66, Pages 220-233.

[16] CRC Handbook of Chemistry and Physics, 2003.

[17] Bahaa, S., Koglbauer, G., 2005, "Working fluids for Low Temperature Organic Rankine Cycles," institute fur Verfahrens und Energietechnik, Universitat fur Bodenkultur, Austria.

[18] Zyhowski, G. J., Brown, A. P., Achaichia, A., 2010,"HFC-245fa Working Fluid in Organic Rankine Cycle - A Safe and Economic Way to Generate Electricity from Waste Heat," Lausanne, Switzerland.

[19] Lukawski, M., 2009, "Design and Optimization of Standardized Organic Rankine Cycle Power Plant for Europpean Conditions," Master Thesis, University of Iceland, School for Renewable Energy Science.

[20] Gaia M., 2002,"The Altheim Rankine Cycle TURBOGENERATOR, 1MW Organic Rankine Cycle Power Plant powered by Low Temperature Geothermal Water". In: GeothermischeVereinigung, Geeste, editor. GeothermischeEnergie, vol. 36/37(3/4).

[21] Bromann E, Eckert F, Möllmann G., 2003, "TechnischesKonzept desKraftwerkesNeustadt-Glewe." In: GeothermischeVereinigung undGeoForschungsZentrum Potsdam, editors. Start in eineneueEnergiezukunft. Tagungsband 1.FachkongressGeothermischerStrom 12–13 November, Neustadt-Glewe.

* تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2013/12/9