مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (26) العدد (2)2004
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol (26) No (2) 2004

دراسة تجريبية للتربة المحليّة المغلفة لكابلات الطاقة الكهربائية الأرضية

الدكتور محمد زهيرة *
الدكتور وائل حرفوش**
يحيى إبراهيم علي ***

(قبل للنشر في 2004/9/2)

□ الملخّص □

يتعلق الاستثمار الأمثل لكابلات الطاقة الكهربائية المدفونة بالأرض، بالخواص الفيزيائية والحرارية للتربة المغلفة لها.

ويهدف هذا البحث لإجراء دراسة تجريبية لمعرفة الخواص الفيزيائية والحرارية لثلاث عينات من التربة المحلية المستخدمة لهذا الغرض، وتحديد أفضل العينات المختبرة.

وقد أجريت التجارب الفيزيائية للعينات الثلاثة في مخبر ميكانيك التربة بجامعة تشرين، أما الخواص الحرارية فقد تمت دراستها بواسطة جهاز اختبار تم تصنيعه محليا وفق معايير ونظم الهيئة الدولية الكهروتكنيكية IEC.

وقد بينت النتائج التجريبية، أن عينات التربة المختبرة هي ذات خواص جيدة عند استخدامها في تغليف كابل واحد، أما عند زيادة عدد الكابلات المدفونة مع بعضها فكانت هذه الخواص سيئة، وذلك بسبب هجرة الرطوبة ونشوء المنطقة الجافة حول الكابلات، حيث تزداد فيها المقاومة الحرارية النوعية للتربة المغلفة، مما يؤدي لفشل الكابلات وانهيارها.

ولحل هذه المشكلة، والتقليل من تأثير المنطقة الجافة حول الكابلات، فقد تم تحديد أنسب العينات المختبرة وهي رمل الكسارات (3)Soil، ومزجها مع الغبار الصخري الناعم بنسبة معينة. حيث بينت نتائج التجربة، تحسين الخواص الفيزيائية والحرارية لهذه العينة بشكل كبير، مما يجعلها ذات مواصفات جيدة لاستخدامها كتربة مغلفة لعدة كابلات مدفونة مع بعضها.

*أستاذ في قسم هندسة الطاقة الكهربائية– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين– اللاذقية– سوريا.
**أستاذ مساعد في قسم الهندسة الجيوتكنيكية– كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين– اللاذقية– سوريا.
***طالب ماجستير في قسم هندسة الطاقة الكهربائية– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين– اللاذقية– سوريا.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (26) العدد (2)2004
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series Vol (26) No (2) 2004

Experimental Study for Local Soil Surrounding Underground Electrical Power Cables

Dr. Mohamad Zhirh *
Dr. Wail Harfoush **
Yahia Ali ***

(Accepted 2/9/2004)

□ ABSTRACT □

The optimum employment for underground electric power cables is related to the thermal and physical properties of the backfill soil.

This study aims to perform experimental research work to investigate the thermal and physical properties for three samples of local soil used for this purpose, and to determine the best tested samples.

The physical tests on the three samples were performed at the soil mechanic laboratory in Tishreen University; however, the thermal properties were studied through employment of a testing device that is locally made, viewing the standards applied by IEC.

The experimental results proved that the tested local soil samples possess good properties when used to backfill one cable, but when increasing the number of the underground installed cables, these properties were bad, due to moisture migration and formation of dry zone around the cables where we view an increase in the specific thermal resistance to the backfill soil, which leads to failure and breakdown of cables.

To solve this problem, and decrease the effect of the dry zone surrounding the cables, determination was made for the best experimented sample which is soil (3), then to mix some with the soft rock dust in specific ratios. Showed an the results improvement in the thermal and physical properties for this sample to a large extent, which will render it having good characteristics to be used as backfill soil for several burried together cables.

*** Professor, Electrical Engineering Department, Faculty Of Mechanical And Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
**** Associate Professor, Geotechnical Engineering Department, Faculty Of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
***** Master Student, Electrical Engineering Department, Faculty Of Mechanical And Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria**

مقدمة:

تستخدم الكابلات الكهربائية الأرضية في شبكات التوزيع داخل المدن والمنشات الصناعية في البلدان المتقدمة لمزاياها الإيجابية بالمقارنة مع شبكات التوزيع الهوائية [1].

ويتعلق الاستثمار الأمثل لهذه الكابلات بعدة عوامل أهمها: كمية الحرارة المطروحة من الكابلات إلى التربة المغلفة لها، والتي تتعلق بالخواص الفيزيائية والحرارية لهذه التربة [2].

لذلك تنصح الهيئة الدولية الكهروتكنيكية IEC [3] بدراسة الخواص الفيزيائية للتربة المغلفة للكابلات (الوزن النوعي – الكثافة الجافة – محتوى الرطوبة – التدرج الحبيبي..) بالإضافة إلى دراسة الخواص الحرارية لهذه التربة، لتحديد قيمة المقاومة الحرارية النوعية لها وبالتالي قيمة تيار الحمولة في الكابل، حيث أعطيت قيمة حديّة للمقاومة الحرارية النوعية للتربة المغلفة للكابل هي (1.2 Cº.m\w) وأدخلت عوامل تصحيح لحساب تيار الحمولة تتعلق بقيمة المقاومة الحرارية النوعية لهذه التربة[4] [3].

ويسبّب تغليف الكابل بتربة ذات خواص حرارية وفيزيائية غير جيدة تشكّل منطقة جافة حول الكابل ذات مقاومة نوعية حرارية كبيرة، مما يؤدي لزيادة الضياعات بالكابل، وبالتالي حدوث اجهادات حرارية في المادة العازلة للكابل تسبب تلفها خلال فترة قصيرة، ولتخفيف هذه الاجهادات يجب تخفيض قيمة تيار الحمولة في الكابل بمقدارالثلث تقريبا.

انطلاقا من ذلك قامت مراكز الأبحاث في الدول المتقدمة بإجراء العديد من الدراسات للحصول على خليط من التربة بمواصفات حرارية وفيزيائية جيدة تستخدم في تغليف الكابلات[7] [6] [5]، وقد بينت نتائج هذه الأبحاث إمكانية زيادة تيار الحمولة في الكابل بالنسبة لتيار الحمولة المحسوب حسب[3] بمقدار يتراوح بين (14% - 40%) (عند استخدام تربة مكوّنة من مزيج الرمل والغبار بنسب مختلفة، إضافة لذلك فقد بينت النتائج التجريبية [5] إمكانية تخفيض الضياعات والاجهادات الحرارية للكابلات الأرضية المدفونة سابقا عند إعادة تغليفها بتربة ذات مواصفات حرارية جيدة، كما بينت نتائج الدراسات أن الربح الجاري المتوفر من زيادة تيار الحمولة في الكابل عند استخدام تربة ذات خواص حرارية وفيزيائية جيدة أكبر بكثيرمن الإنفاق على إيجاد التربة المثالية[6].

وعلى الرغم من أن العلاقة بين تيار الحمولة في الكابلات الأرضية والمقاومة الحرارية للتربة المغلفة لها والتي تتعلق بالخواص الفيزيائية لهذه التربة معروفة منذ زمن بعيد، فان تغليف الكابلات بطبقة من الرمل يتم في بلدنا بدون دراسة الخواص الفيزيائية والحرارية لهذا الرمل، وبالتالي عدم تحديد قيمة مقاومته الحرارية النوعية بدقة، لذلك لا يمكن إدخال عوامل تصحيح دقيقة عند حساب تيار الحمولة للكابلات الأرضية. مما قد يسبب حدوث اجهادات حرارية كبيرة على الكابل، بالإضافة إلى زيادة الضياعات، وبالتالي عدم الاستثمار الجيد للكابل.

الغاية من هذا البحث:

يهدف هذا البحث إلى إجراء دراسة تجريبية للخواص الفيزيائية والحرارية لثلاث عينات من التربة المحلية الأكثر استخداما في تغليف الكابلات في بلدنا، وذلك من أجل معرفة مقاومتها الحرارية النوعية وإدخال عوامل التصحيح بشكل دقيق عند حساب تيار الحمولة للكابلات الأرضية.

وقد تم اختيار هذه العينات من الأماكن التالية:

1- تربة رملية(1) soil/ منطقة النبك قرب دمشق /

2- تربة رملية(2) soil / منطقة الشاطئ الجنوبي باللاذقية /

3- تربة رملية(3) soil / عدسية إنتاج الكسارات قرب اللاذقية /

وتم إجراء التجارب الفيزيائية على العينات المختبرة في مخبر ميكانيك التربة بجامعة تشرين، أما دراسة الخواص الحرارية فقد تمت بواسطة جهاز صنّع خصيصاً لهذه الغاية (ويحقق الشروط الواردة بالمواصفات العالمية) [8].

وللحصول على تربة محلية ذات مقاومة حرارية منخفضة، تستخدم في تغليف الكابلات الأرضية، وتستثمر بالشكل الأمثل، فقد تم إجراء تجارب فيزيائية وحرارية على مزيج من التربة الرملية(3)" عدسية إنتاج الكسارات" مع غبار الكسارات بنسب مختلفة، حيث بينت الدراسات العالمية[9][7] [6] [2] أن أفضل تربة تستخدم في تغليف الكابلات الأرضية هي التربة المكونة من حصى ورمل وغبار.

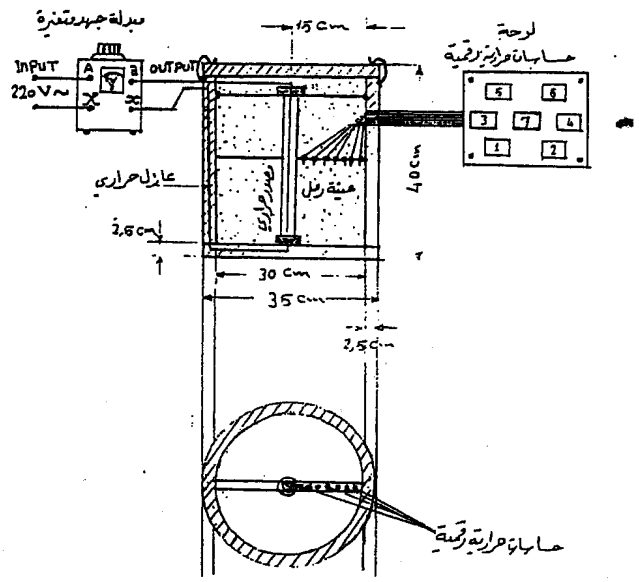
نموذج الجهاز التجريبي المعتمد لدراسة الخواص الحرارية للتربة:

بما أن المقاومة الحرارية النوعية للتربة المغلفة للكابل تتعلق بمحتوى الرطوبة فيها [10]، وتتناسب مع عمق المياه الجوفية عن سطح الأرض، لذلك تم اعتماد نموذجين تجريبيين من قبل IEC [2] عند دراسة الخواص الحرارية للتربة استناداً إلى عمق المياه الجوفية.

أ ـ النموذج الهولندي [7]: الذي يعتمد على أن منسوب المياه الجوفية قريب من سطح الأرض عمقهامن (2-5) متر، مما يساعد على ترطيب التربة المغلفة للكابلات وبالتالي تكون كمية الحرارة المطروحة من الكابل إلى التربة المغلفة له كبيرة.

ب ـ النموذج البريطاني [8]: ويعتمد على أن منسوب المياه الجوفية بعيد عن سطح الأرض وبالتالي لا يوجد ترطيب للتربة المغلفة للكابل مما يساعد في تشكيل المنطقة الجافة حول الكابل.

وفي دراستنا هذه تم تصنيع جهاز الاختبار محليّا وفق النموذج البريطاني على اعتبار أن مناسيب المياه الجوفية بعيدة عن سطح الأرض في بلدنا بشكل عام، والجهاز مصنع على شكل وعاء اسطواني من الصاج المز يبق غير قابل للصدأ ومعزول حرارياً من جميع جوانبه بواسطة عازل حراري من الصوف الزجاجي جيد العازلية كما في الشكل (1):



الشكل (1) نموذج جهاز الاختبار المستخدم

لقد تم تمثيل الكابل بسخان حراري " مصدر حراري " ذو ناقل مغلف بطبقة معدنية ثم وضع ضمن أنبوب زجاجي حراري كي يعطي درجة حرارة ثابتة في نقاط متساوية البعد عن المصدر الحراري، وقد تم التأكّد من ذلك بقياس قيم درجات الحرارة في عدة نقاط متساوية البعد عن المصدر الحراري من جميع الاتجاهات وكانت درجة الحرارة ثابتة في هذه النقاط.

وتمت تغذية السخان الحراري بالطاقة الكهربائية عن طريق محولة توتر متغيرة من (0 - 250v) والغاية من استخدام المحولة هي تغيير قيمة التوتر المطبق على المصدر الحراري، للحصول على استطاعات مختلفة تمثل الضياعات الناتجة عن الكابل (ضياعات الناقل التي تتعلق بقيمة تياراالحمولة ومقطع الناقل + ضياعات المادة العازلة التي تتعلق بقيمة التوتر المطبق + ضياعات الغلاف المعدني وتكون غالباً نسبة من الضياعات في الناقل) [11] وذلك عند مد الكابلات بالأرض بأشكال مختلفة (كابل مفرد أوعدة كابلات بجانب بعضها)، وفي هذه الحالة يجب الأخذ بعين الاعتبارضياعات كل كابل على حدة، وكذلك الفقد الناتج عن عامل التجاور بين الكابلات، ودراسة أثر هذه الضياعات على التربة المغلفة له.

توضع التربة المدروسة على تماس مباشر مع السخان، كما توضع مقاييس حرارة حساسة "رقمية" على مسافة كل (2cm) مغروسة بالتربة، وذلك لقياس توزع درجة الحرارة على امتداد التربة خلال زمن التحميل (12) الذي يمثل الزمن اللازم لجفاف التربة، حيث تبلغ درجة الحرارة ($60c^o$) تقريبا[2][9].

ويتم حساب الناقلية الحرارية النوعية لتربة العينات المختبرة بشكل عام، من العلاقة بين درجة الحرارة والزمن بمقياس نصف لوغاريتمي كما هو مبين بالشكل (2) والتي يعبّر عنها بالمعادلة التالية [12]:

$$l_s = \frac{q}{4p} \frac{\ln(t2) - \ln(t1)}{T(t2) - T(t1)} \qquad (1)$$

حيث أن:

l s = الناقلية الحرارية النوعية للتربة.(C^o.m\ w).

q: الضياعات بالناقل.(m\ w).

t 1 ,t 2: الزمن بالثانية.

T (t1): درجة الحرارة في اللحظة t1.

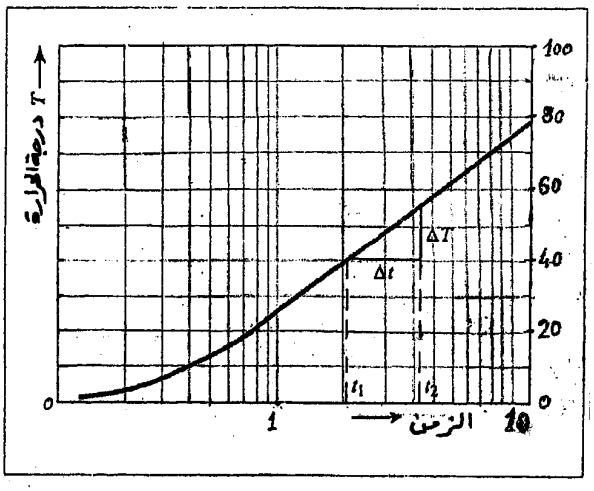
T (t2): درجة الحرارة في اللحظة t2.

و يمكننا إيجاد المقاومة الحرارية النوعية للتربة المدروسة من العلاقة:

$$d = \frac{1}{l_s} \qquad (2)$$

وتعطى بـ(C^o.m\w) .

وتجدر الإشارة إلى أن نسبة الخطأ عند حساب المقاومة الحرارية النوعية للتربة بهذه الطريقة لا تتجاوز (8 %) [12] [7].



الشكل (2) حساب الناقلية الحرارية النوعية للتربة
من العلاقة بين درجة الحرارة والزمن.

الاختبارات الفيزيائية:

تتكون التربة بشكل عام من ثلاثة عناصر أساسية هي:

- حبيبات صلبة (تختلف عن بعضها البعض بالخواص الكيميائية وقطر الحبيبات وشكلها بالإضافة إلى التدرج الحبيبي للتربة).
- الماء في فراغات التربة.
- الهواء الذي يكوّن ثقوب التربة.

إن كمية الماء الحرالموجودة بين الجزيئات تتغير بشكل كبير بالقرب من الكابل، حيث يبدأ الماء الذي يملأ الفراغات بين الثقوب بالتبخر عندما تتجاوز درجة حرارة الغلاف الخارجي للكابل درجة الحرارة الحرجة حوالي($30c^o$) للتربة الرملية و($50c^o$) للتربة الصخرية، يهاجر الماء بعيدا عن الكابل، ثم يتكثف ثانية بالقرب من سطح الأرض، حيث

تسود درجة حرارة منخفضة ويعود باتجاه الكابل، ومع استمرار زيادة درجة حرارة الكابل ينهار هذا الاتزان الديناميكي في حركة الماء ويبدأ تشكّل المنطقة الجافة ذات المقاومة الحرارية النوعية الكبيرة حول الكابل[1] [2] 9].

والتجارب اللازمة لدراسة الخواص الفيزيائية لعينات التربة المختبرة والتي تمت في مخابر ميكانيك التربة بجامعة تشرين، هي:

الكثافة الجافة:

يمكن الحصول على مقاومة حرارية نوعية صغيرة، عندما يتم إملاء الفراغات بين حبيبات التربة التي هجرتها الرطوبة بجزيئات ناعمة بدلا من الهواء ذي المقاومة الحرارية العالية، حيث يتحسن التلامس بين الحبيبات، وبالتالي تتحسن الناقلية الحرارية للتربة.

الوزن النوعي:

يتم إجراء تجربة الوزن النوعي حسب قاعدة الوزن المزاح. يتم ذلك بمعرفة وزن المادة الصلبة للجزيئات مقسوما على حجمها منسوبا لكثافة الماء عند الدرجة (+4) مئوية.

ويستخدم الوزن النوعي لمعرفة نسبة الفراغ في التربة المسامية وتعطى بالعلاقة:

$$n = 1 - \frac{gd}{gs} \qquad (3)$$

حيث إن :

gd: الكثافة الجافة (نسبة الوزن الجاف لعينة التربة على حجمها).

gs: الوزن الحجمي للجزيئات الصلبة.

وكلما زاد عدد الثقوب المملوءة بالهواء(المسامية) بين حبيبات التربة زادت المقاومة الحرارية النوعية لها.

محتوى الرطوبة:

توزن عينة التربة المختبرة وبعد ذلك يتم تجفيفها في فرن حرارته **(105 – 110)** درجة مئوية لمدة لا تقل عن **(12)** ساعة ثم توزن ثانية بعد الجفاف وتحسب نسبتها المئوية .

وتقل المقاومة الحرارية للتربة وخاصة التربة الرملية بزيادة محتوى الرطوبة في التربة ويتم تحديد محتوى الرطوبة للتربة من العلاقة:

$$w = \frac{gb}{gd} - 1 \qquad (4)$$

حيث إن:

gd: الكثافة الجافة

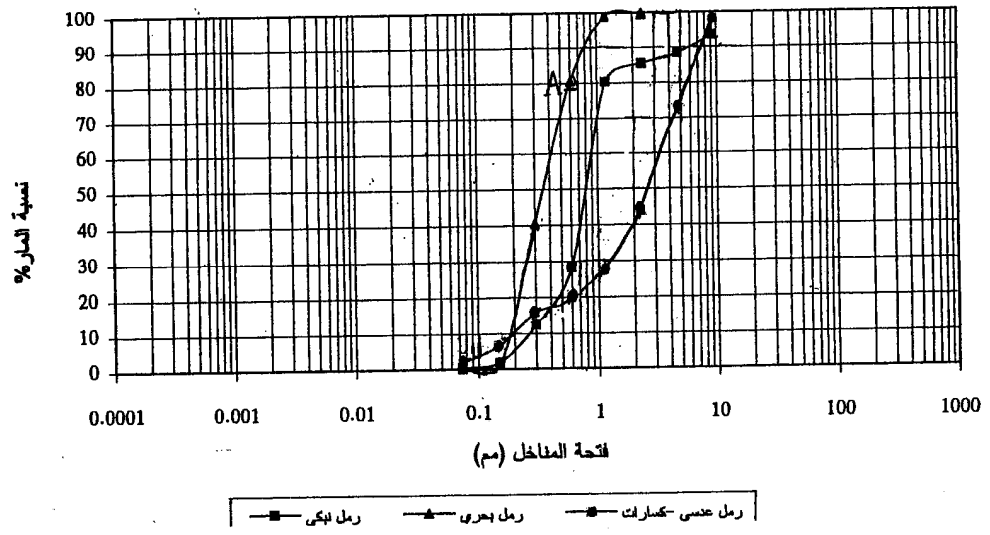
gb: الكثافة الرطبة:(نسبة الوزن الرطب لعينة التربة على حجمها)

وتستطيع التربة ذات الفراغات الصغيرة بين الحبيبات الاحتفاظ بالرطوبة أكثر من التربة ذات الفراغات الكبيرة بين الحبيبات.

التدرج الحبيبي:

إن التربة ذات التدرج الحبيبي الجيد تستطيع نقل الطاقة الحرارية المطروحة من سطح الكابل إلى التربة المغلفة بشكل جيد، حيث تملأ الحبيبات الناعمة للفراغات بين الحبيبات ذات الأقطار الكبيرة وبالتالي نتجنب الفراغات

الهوائيـة ذات المقاومـة الحراريـة الكبيـرة بـين حبيبـات التربـة. ويبـين الشـكل (3) التـدرج الحبيبـي للعينـات المختبـرة باستخدام الأوراق البيانية المعتمدة.



الشكل (3) التدرج الحبيبي لعينات التربة المختبرة.

مثلاً : النقطة A على المنحني (2) تعني أن (80%) من أقطار حبيبات العينة المختبرة لها قطر أقل من (0.6 mm).

وكلما كان منحني التدرج الحبيبي للعينة المختبرة حاداً كانت أقطار الحبيبات متماثلة(المنحني(1)) والتدرج الحبيبي سيء وبالتالي تبقى فراغات هوائية بين الحبيبات، ولذلك تكون المقاومة الحرارية النوعية للتربة كبيرة.أما التربة ذات التدرج الحبيبي المنبسط(المنحني (3)) فيكون تدرجها الحبيبي جيد ومقاومتها الحرارية صغيرة.

ويعبر عن تجانس حبيبات التربة بعامل عدم تجانس التدرج الحبيبي ويعطى بالعلاقة التالية:

$$Cu = \frac{\text{قطر المنخل الذي تمر عبره 60\% من العينة المختبرة}}{\text{قطر المنخل الذي تمر عبره 10\% من العينة المختبرة}} = \frac{¶60}{¶10} \qquad (5)$$

ويكون التدرج الحبيبي جيدا عندما يكون Cu >5 وسيئاً عندما يكون Cu <5.

ويبين الجدول (1) نتائج الاختبارات الفيزيائية للعينات المدروسة.

الجدول(1) نتائج الاختبارات الفيزيائية لعينات التربة المدروسة.

نوع التربة	قطر أكبر الحبيبات (m.m)	بحص %	رمـــل %	المار على المنخـــل 200 %	الكثافة الجافـــة (g/cm^3)	نســـــبة الرطوبة%	الـــوزن النـــوعي (Gs)	عدم التجانس الحبيبـــي (Cu)
رمل نبكي soil (1)	9.25	14.4	85.35	0.25	1.450	9.1	2.677	**5.3**
رمل بحري soil (2)	2.36	0.1	99.9	-	1.543	3.33	2.68	**2.4**
رمـــل عـــد ســـي (كسارات) soil (3)	9.25	56.6	41.8	1.6	1.380	4.52	2.71	**17.5**
رمـــــل عدســـــي (كســـارات)+12% غبارصخري Soil(3)"	**9.25**	**34.4**	**58.4**	**7.2**	**1.44**	**5.2**	**2.825**	**35**

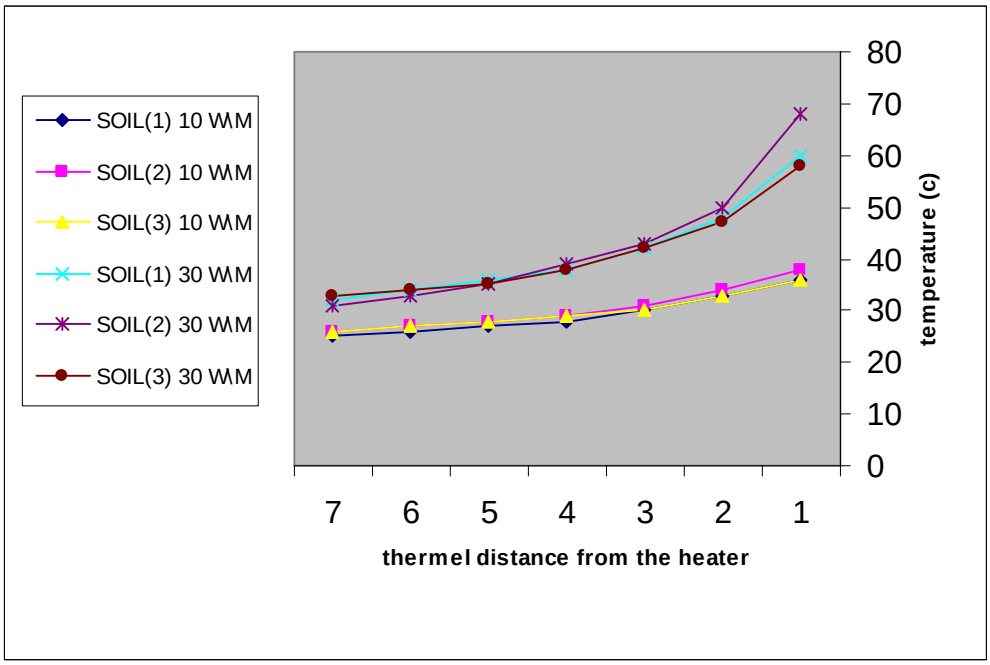
الاختبار الحراري:

تمت دراسة الخواص الحرارية للعينات المختبرة بوضع كل عينة على حدة في جهاز الاختبار، وتم تحميل السخان الحراري بحمولة ثابتة في كل تجربة تتراوح بين:

(3.6 w\m - 30 w\m) ، وقد تم اعتماد هذه الحمولات كي نستطيع دراسة أثر الضياعات الحرارية الناتجة عن الكابل على التربة المغلفة، عند مد الكابلات الأرضية بطرق مختلفة.

فمثلا: تبلغ الضياعات في ناقل من النحاس مقطعه (120) مم٢ عند تحميله بالتيار المحسوب حسب العلاقات الواردة بالمواصفات القياسية الدولية IEC [2] حوالي(10 w\m) في حين تمثل الاستطاعة (30 w\m) مجموع الضياعات الناتجة عن عدة كابلات بجانب بعضها.

ويبين الشكل (4) العلاقة بين درجة الحرارة والبعد عن المنبع الحراري (السخان) بعد (12) ساعة وهو الزمن اللازم لجفا ف التربة المختلفة [9][2] من أجل استطاعة: (10 w\m) و(30 w\m) للعينات الثلاثة المدروسة.



الشكل (4) العلاقة بين درجة الحرارة والبعد عن المصدر الحراري بعد/12/ ساعة من أجل(10, 30 w\m) لعينات التربة المختبرة.

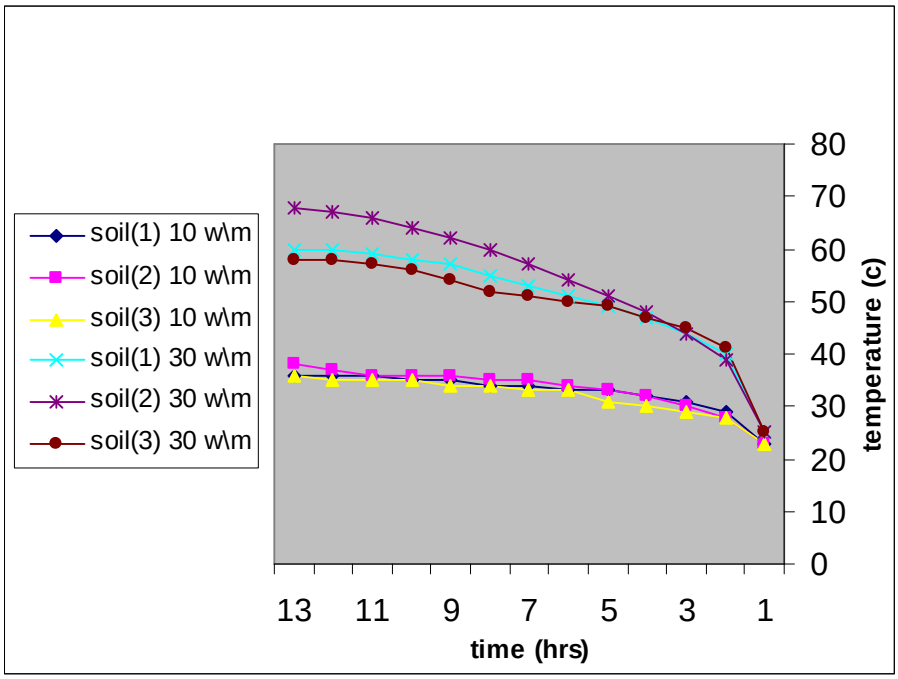
النتائج والمناقشة:

تم تمثيل نتائج الاختبار الحراري للعينات المدروسة بالأشكال (4) و(5) و(6) والجدول (2).

أما نتائج الاختبار الفيزيائي فكانت وفق الشكل (3) والجدول (1).

نلاحظ من الشكل (4) أن درجة الحرارة من أجل حمولة (10 w\m) تبلغ حوالي (40 درجة مئوية) بالقرب من المصدر الحراري لجميع العينات، وتبقى ثابتة تقريبا على الحسّاسات الحراريّة البعيدة عن المصدر الحراري، مما يدل على عدم تشكّل منطقة جافة عند هذه الحمولة.

أما من أجل حمولة (30 w\m) فان درجة الحرارة على الحساس القريب من المصدر الحراري (تم أخذ هذا الحساس بعين الاعتبار لأن درجة الحرارة تكون عنده أكبر مايمكن) للعينات الثلاثة لمدة (12 ساعة) بلغت حوالي (60 درجة مئوية) للرمل النبكي والكسارات، في حين بلغت على الحساس الثالث حوالي(40 درجة مئوية) وبعد ذلك تبقى ثابتة مما يدل على هجرة الرطوبة بالقرب من المصدر الحراري، وبالتالي تشكل المنطقة الجافة. وقد تم التأكد من هجرة الرطوبة في هذه الحالة، بأخذ عينة صغيرة من التربة المختبرة بالقرب من المصدر الحراري للعينات الثلاثة، وتم اختبار محتوى الرطوبة لهذه العينات، فتبين أن نسبة الرطوبة في الرمل البحري (2) soil انخفضت من (3.33 %) إلى(0 %) وفي الرمل النبكي (1) soil من (9.1%) إلى (0.43%) أما في رمل الكسارات(3)soil فانخفضت من(4.52%) إلى (0.38%).



الشكل(5) العلاقة بين درجة الحرارة والزمن (12 ساعة) لعينات التربة المختبرة من أجل (10, 30 w\m) .

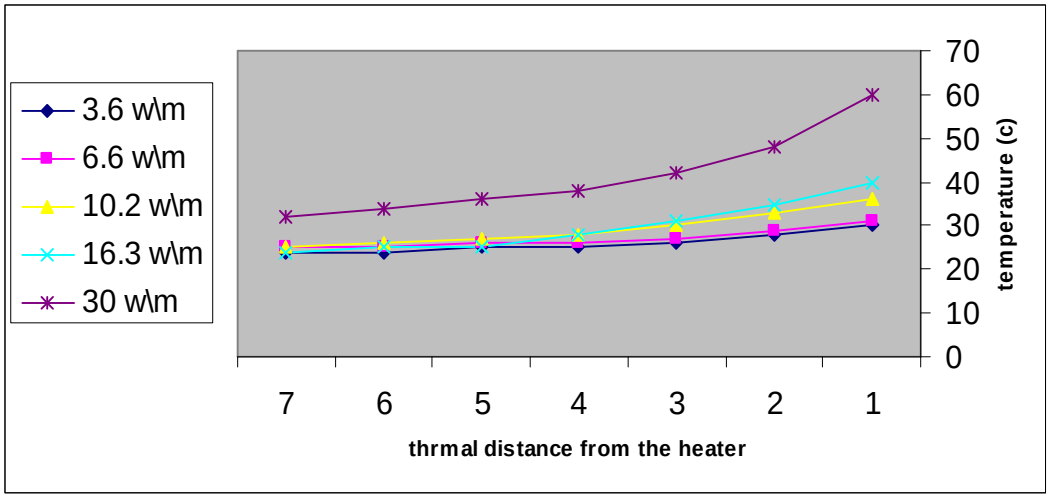
يبين الشكل (5) العلاقة بين درجة الحرارة والزمن للعينات الثلاثة، وذلك بالنسبة للحساس الأول القريب من المصدر الحراري، حيث تكون درجة حرارة التربة أعلى ما يمكن.

نلاحظ من الشكل أن درجة الحرارة تبقى ثابتة تقريباً مع الزمن من أجل (10 w\m)، في حين تزداد درجة الحرارة بشكل كبير من أجل (30 w\m)، وخاصة خلال الساعة الأولى، حيث ترتفع درجة حرارة التربة / بشكل خطي / من (24 إلى 40) درجة مئوية للعينات الثلاث، وهذا يعود إلى سرعة تبخر الماء بالقرب من المصدر الحراري عند هذه الحمولة، ومع زيادة الزمن تزداد درجة حرارة التربة بشكل طفيف لرمل الكسارات soil(3)، في حين تزداد بشكل أكبر بالنسبة للرمل البحري soil(2) ذي التدرج الحبيبي السيئ (أنظر الجدول(1)، مما يدل على تشكل منطقة شديدة الجفاف عند هذه التربة .

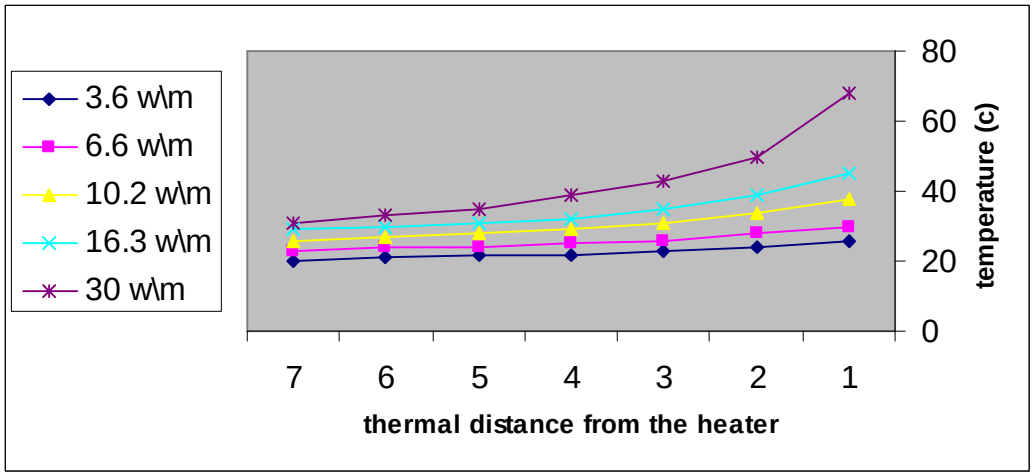
الجدول(2) قيمة المقاومة النوعية الحرارية لعينات التربة المدروسة.

المقاومة الحرارية النوعية $C^o.m\w$	نوع التربة
3.32	رمل نبكي soil(1)
4	رمل بحري soil(2)
2.28	رمل عدسي(كسارات)soil(3)
1.7	رمل عدسي(كسارات)+ 12%غبار صخري"soil (3)

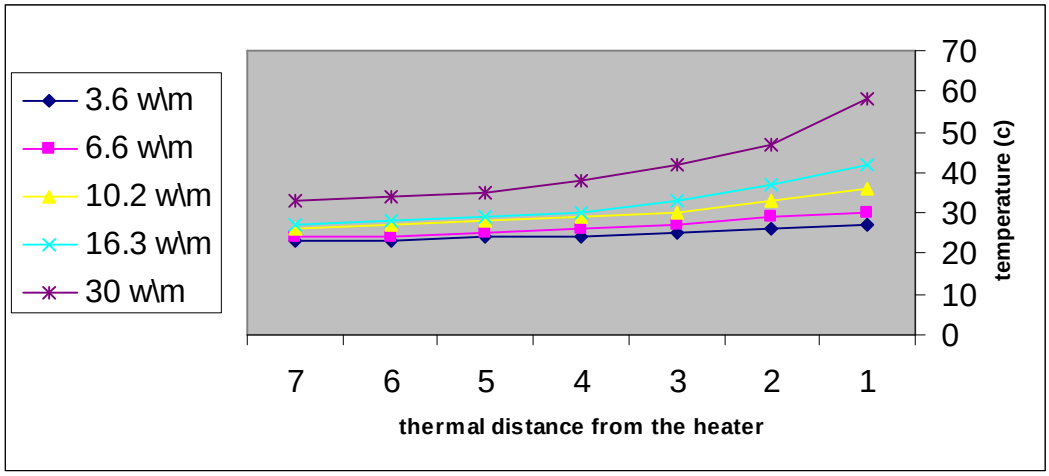
نلاحظ من الجدول(2) أن قيمة المقاومة الحرارية النوعية للتربة أكبر من القيمة الحدية المعطاة في [5][4][3] والبالغة (1.2 C°.m\w)، وهذا يتطلب تخفيض قيمة تيار الحمولة للكابلات المغلفة بهذه التربة إلى حوالي (70%) من تيار الحمولة المسموح به.



(A) الرمل النبكي soil(1)



(B) الرمل البحري soil(2)



(C) الرمل العد سي "كسارات"soil(3)

الشكل (6) يحتوي على الأشكال(A-B-C) التي توضح العلاقة بين درجة الحرارة والبعد عن السخان (بعد 12 ساعة) لعينات التربة الثلاثة عند حمولات مختلفة.

أما الأشكال (A-B-C– 6) فتبين العلاقة بين درجة الحرارة والاستطاعة الحرارية للسخان. ومن أجل استطاعة صغيرة (التي تمثل كابلا مفردا بمقاطع مختلفة)، نلاحظ أن درجة الحرارة تبقى ثابتة للعينات الثلاثة تقريباً، أما من أجل استطاعة حرارية كبيرة (30 W\M)، فان درجة الحرارة للحساس الأول (قرب المصدر الحراري) تكون كبيرة جدا، وخاصة للرمل البحري soil(2) حيث تصل إلى(68 درجة مئوية)، في حين تبلغ هذه الدرجة (60 درجة مئوية) لرمل النبكي soil(1)، و(58 درجة مئوية) للرمل الكسارات soil(3) ، وهذا يدل على تشكل منطقة جافة في العينات الثلاثة بالقرب من المصدر الحراري وبشدات مختلفة.

نلاحظ من الجدول(1) أن الخواص الفيزيائية لكل من الرمل النبكي soil(1) ورمل الكسارات soil(3) جيدة في حين تكون هذه الخواص سيئة بالنسبة للرمل البحري soil(2) ، حيث تدرجه الحبيبي سيء جدا"، وهذا يعود إلى تجانس جميع حبيباته وعدم احتوائه على الطمي لملئ الفراغات بينها، كما يحتوي على رطوبة نسبية قليلة.

وبالمقارنة بين الرمل النبكي ورمل الكسارات، فان رمل الكسارات أفضل لأن منحني تدرجه الحبيبي جيد كما هو مبين بالشكل (3) واحتواءه للطمي بنسبة أكبر وكذلك رطوبته أقل ولكنها جيدة نسبيا وفق الجدول(1).

مما سبق نستنتج مايلي:

1- يمكن تغليف الكابلات المفردة ذات الضياعات القليلة حتى (10 w\m) بأي نوع من عينات التربة السابقة، بدون أن تتشكّل منطقة جافة حول الكابل .

2- بينت نتائج التجارب المخبرية أن الخواص الفيزيائية والحرارية {الوزن النوعي – التدرج الحبيبي – المقاومة الحرارية النوعية– احتواء الطمي} لرمل الكسارات soil(3) هي أفضل من الرمل البحري soil(2) والرمل النبكي soil(1)، ويفضل استخدام هذا الرمل في تغليف الكابلات، علما أ نه متوفر في جميع المحافظات.

3- عند مد عدّة كابلات مع بعضها في خندق واحد، تشكّل الضّياعات الناتجة عن كل كابل على حدة، بالإضافة إلى الضياعات الناتجة عن عامل التجاور، في زيادة الاستطاعة الحرارية المطروحة إلى التربة المغلفة

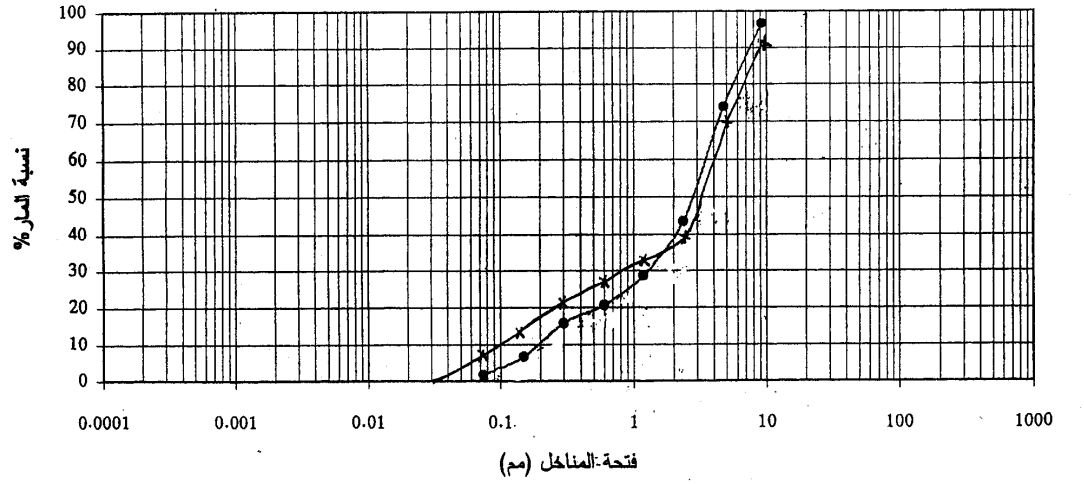
(30 w\m)، مما يؤدي إلى تشكّل منطقة جافة حول هذه الكابلات، وتكون المقاومة الحرارية النوعية لعينات التربة في المنطقة الجافة أكبر بكثيرمن القيمة الحدية كما هو مبين في الجدول (2). ففي هذه الحالة يجب تخفيض قيمة تيار الحمولة للكابلات، وذلك لتخفيض قيمة الضياعات في الناقل، وبالتالي تخفيض قيمة كمية الحرارة المطروحة من الكابل إلى الوسط الخارجي (وهذا ا ستثمار سيئ للكابلات)، أو استخدام تربة ذات مواصفات فيزيائية وحرارية جيدة، كي تستعمل في تغليف الكابلات الأرضية.

التربة المحسّنة:

من الجدول (2) نلاحظ أن المقاومة الحرارية النوعية لرمل الكسارات(3)soil هي أقل بكثير بالمقارنة مع العينات الأخرى، لذلك تم اعتماد تحسين المواصفات الفيزيائية وبالتالي الحرارية لرمل الكسارات، ذي محتوى الرطوبة الجيد نسبيا، بإضافة الغبار الصخري الناعم، أقطار حبيباته صغيرة جدا".

وقد بينت النتائج التجريبية أن أفضل نسبة للغبار المضاف والممزوج في العينة المحسنة تبلغ (12%). وبعد إجراء الاختبار الفيزيائي والحراري للعينة المحسّنة، عند نفس الشروط للعينة الأساسية غير المحسنة [استطاعة حرارية (30 w\m) وبعد زمن قدره (12) ساعة] .

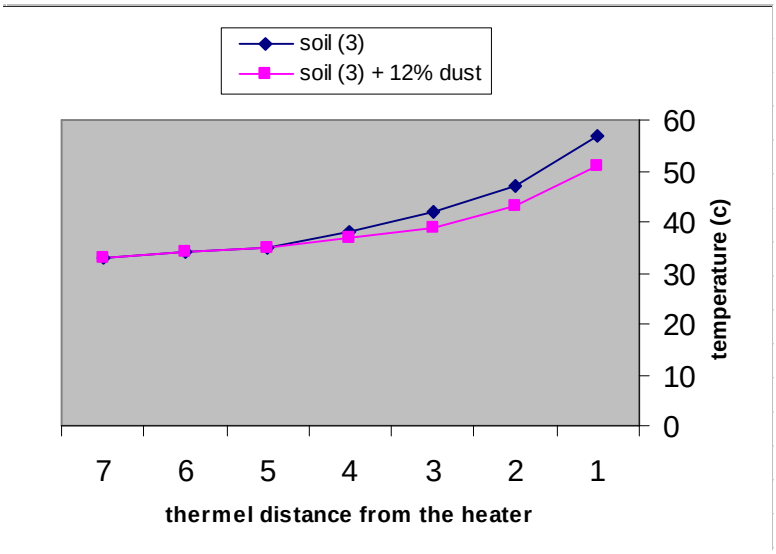
يبين الشكل (7) مقارنة بين التدرج الحبيبي لرمل الكسارات قبل وبعد إضافة الغبار الصخري.أما الشكل (8) فيوضّح العلاقة بين درجة الحرارة والبعد عن المصدر الحراري، ويوضح الشكل (9) العلاقة بين درجة الحرارة والزمن للتربة المحسنة والتربة الأصلية وفق الشروط السابقة.



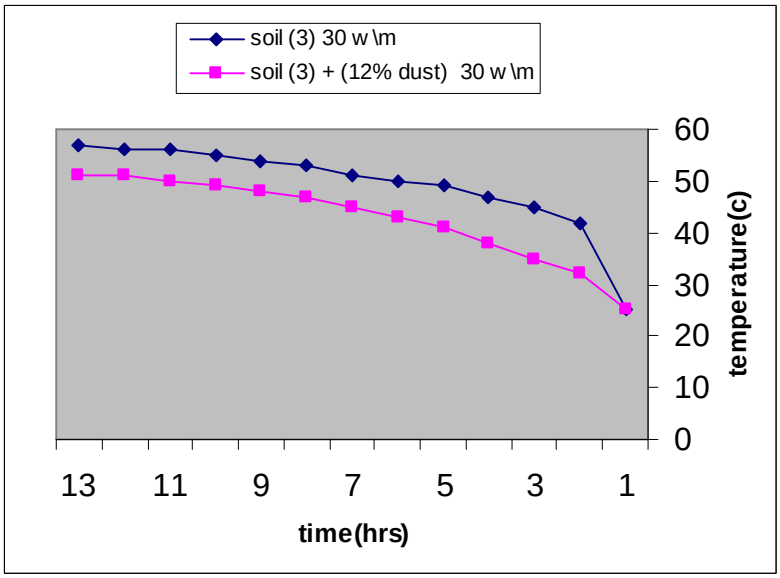
رمل عدسي " كسارات" Soil (3) -·-

رمل عدسي" كسارات" + 12% غبار صخري ناعم "Soil(3) -×-

الشكل(7) التدرج الحبيبي للتربة الأصلية والمحسّنة.



الشكل (8) يبين العلاقة بين درجة الحرارة والبعد عن المصدر الحراري للتربة المحسنة والأصلية



الشكل(9) العلاقة بين درجة الحرارة والزمن للتربة الأصلية والمحسنة.

نلاحظ من الشكلين (8) و(9) أن درجة الحرارة للتربة المحسنة خلال (12) ساعة، انخفضت عند الحساسات الحرارية القريبة من المصدر الحراري (الحساسات 1-4)، فعند الحساس الأول انخفضت درجة الحرارة من (58) إلى (50) درجة مئوية، أما عند الحساسات البعيدة (5–7)، (حيث تكون درجة الحرارة صغيرة)، فقد بقيت درجة الحرارة ثابتة، وانخفضت المقاومة الحرارية النوعية من (2.28 Cº.m\w) إلى(1.7Cº.m\w)، وهذا يدل على تحسّن

جيد في المواصفات الحرارية للتربة المدروسة ، نتيجة تحسين المواصفات الفيزيائية لهذه التربة، وذلك بإضافة نسبة 12%من الغبار الصخري الناعم الناتج عن الكسارات ، والذي يملأ الفراغات الهوائية بين حبيبات التربة لرمل الكسارات حيث يجعل منحني التدرج الحبيبي أفضل ، كما في الشكل (7)، وبالتالي يزيد من قيمة الكثافة الجافة واحتواء الرطوبة كما هو موضح بالجدول(1)، وبالنتيجة تنخفض قيمة المقاومة الحرارية النوعية للتربة الجديدة، وهذه الغاية من تحسين رمل الكسارات soil(3).

الاستنتاجات والتوصيات :

1- نلاحظ مما سبق، إن عينات الرمل المستخدم كتربة مغلفة للكابلات في بلادنا، لها خواص فيزيائية وحرارية جيدة عند ضياعات حرارية صغيرة، وتصبح هذه الخواص سيئة جدا" عند مفاقيد كبيرة، مما يؤدي إلى حدوث اجهادات حرارية كبيرة على الكابلات، تقود لتلفها وانهيارها خلال فترة قصيرة.

2- للتخلص من الاجهادات الحرارية، يجب تخفيض قيمة تيار الحمولة المار بالكابلات إلى الثلث تقريبا" (وهذا استثمار سيء للكابلات)، أو البحث عن تربة ذات مميزات حرارية وفيزيائية جيدة.

3- في هذا البحث تم الحصول على تربة ذات مميزات جيدة، باستخدام غبار الكسّارات الصّخري الناعم، ونقترح ما يلي:

أ- نقل النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة إلى الواقع العملي، بالتعاون مع المؤسسات والشركات الكهربائية بالقطر، ومواكبة الأبحاث العالمية في هذا المجال، حيث أصبحت الشركات العالمية تقوم بتصدير التربة المغلفة (المحسّنة) جيدة المواصفات، مع الكابلات الكهربائية.

ب- دراسة أثر سماكة التربة المغلفة على تحسين المقاومة الحرارية النوعية للتربة، مما يساعد على الاستثمار الأمثل للكابلات الكهربائية الأرضية.

المراجع:

.....

[1] Kreftler, k ., 1991- prufungen zur beurteilung von kabel anlagen in mittel-spnnungsnetzen V WEW verlag, Frankfurt.

[2] Kabel und leitung fur starkstrom teil .1,1987- Verlag Siemens Aktiengesellschaft. Berlin.

[3] IEC-287 ., 1982- Calculation of the continues current rating of cables (100% load factor).

[4] IEC 287-1-1.,1994- Electric cables calculation of the current rating.

[5] Brakelmann, H,.1988- Thermische stablisierung von kabel graben. Elektrizitatswirtschaft, Heft. 9.

[6] Biewald, H, und, a,.1995- ubertragungsfahigkeit von kabeln in standardtrassen der Bewag. Elektrizitatswirtschaft .Heft. 8 .

[7] O, Gouda ; Z, Mater.,1992- Characteristics of Egyptian backfill soils around Underground power cables. Second Middle East Power System Conference. Assiut, uni, Egypt.

[8] Halfter, N.A ; King, S.Y., 1975- Perimental investigation of moisture migration in power cable backfill. Paper no, 3430.

[9] Kabel und leitung fur starkstrom.1999- Pirelli publicis MCD verlag Erlangen.

[10] د.حسن، عز الدين ؛ د. فويتي، فاطمة،1997 – *الري والصرف*. منشورات جامعة تشرين.

[11] د. زهيرة، محمد. ؛ د. أبي سلمان،1999 – *كابلات الطاقة الكهربائية*. مؤسسة غبور للطباعة .

[12] Eine universelle methode zur Bestimmung der warmeleitfaligkeit auf heizkurven konstant geheitzer zylinder quellen. 2001- Dis .Tu. Berlin.