حساب درجة حرارة سطح الأرض من درجة حرارة التربة المرصودة في العمق

د. عبد الحليم علي المحي
كلية العلوم – جامعة الفاتح

المـــقدمـــة

تعتبر درجة حرارة سطح الأرض من العناصر الأساسية و البالغة الأهمية في إدامة الحياة فوق سطح الأرض، حيث أنها أحد العوامل الأساسية في حدوث تغيرات مختلفة في الظواهر الجوية، ونتيجة لزيادتها أو نقصها فإنها تساهم في ارتفاع أو انخفاض الضغط الجوي، كما أنها تكون وراء تكون المرتفعات والمنخفضات الجوية وهبوب الرياح وشدتها، وتساهم في تكون الغيوم وسقوط الأمطار بعد حصول تيارات الحمل الناتجة من تسخين سطح الأرض وغيرها من الظواهر الجوية الأخرى. إن ارتفاع درجة حرارة سطح الأرض له تأثير كبير علي الزراعة بكل أشكالها، فأنها تؤثر في طبيعة المناخ وبالتالي على اختيار نوعية النباتات المزروعة من حيث ملائمتها وتحملها لدرجة الحرارة، كما أنها تساهم بشكل فعال في تشكيل نوعية وطبيعة التربة عبر الزمن، إضافة إلى أنها تسبب في موت الكثير من المحاصيل الزراعية، وتكون السبب المباشر في عملية الجفاف نتيجة التبخر المستمر للمياه من التربة، مما يؤدي إلى فقد للمحتوى المائي والمخزون المائي وحدوث حالات من التصحر والتشققات الأرضية وموت الحيوانات والنباتات والإنسان أحيانا. إضافة لما ذكر، فأن لسطح الأرض دوراً كبيراً في عملية الامتصاص والانعكاس للإشعاع القادم من الشمس والغلاف الجوي وانبعاث الإشعاع الطويل الموجة، ومن ذلك تبرز الحاجة لدراسة وتحليل درجة حرارة سطح الأرض. ودرجة حرارة سطح الأرض هي درجة حرارة السطح الفاصل بين الهواء والأرض (درجة حرارة التربة

عند العمق صفر) ومن المعلوم إن درجة حرارة الهواء والتربة (للأعماق المختلفة) يمكن قياسها بواسطة المحـــارير (Thermometers) الخاصـــة بذلك، بينما لا توجد وسيلة قياس لدرجة حرارة ســـطح الأرض، ولـــو تـــم استخدام متحسس لقياسها لتأثر بشكل كبير بدرجة حرارة الهواء الملامـــس له من جهة، ودرجة حرارة التربة الملامسة له من جهة أخـــرى، وبـــذلك تصبح عملية القياس فيها نسبة خطأ كبيرة. لذلك وجدت طـــرق حـــسابية عديدة لحساب درجة حرارة سطح الأرض، واحد من هذه الطرق التي تـــم إيجادها في هذا البحث هي استخدام درجة حرارة التربة على عمق 5 ســـم كأساس لحساب درجة حرارة سطح الأرض.

العوامل المؤثرة في درجة حرارة سطح الأرض

هناك عوامل كثيرة تساهم في تغير درجة حـــرارة ســـطح الأرض نذكر منها بإيجاز: تتغير عدد ساعات النهار من يوم إلى أخر علـــى مـــدار السنة وبالتالي يتغير مقدار حرارة سطح الأرض تقريبـــا بـــشكل دوري خلال الأيام والفصول، توفر الغيوم والضباب والغبار والدخان في الجـــو يساهم في تباين درجة حرارة سطح الأرض نتيجة لحجب وعكس أشـــعة الشمس، تتكون التربة من الهواء والماء والمواد المعدنية والمواد العـــضوية والكائنات الحية. أي أن مكونات التربة تختلف في نسبها من مكـــان إلـــى آخر، وطبقا لذلك يحصل تغير في مقدار السعة الحرارية ومعامل التوصيل للتربة، وبالتالي يؤثر على قابليتها في امتصاص وانتقـــال الحـــرارة فـــي سطحها، مما يؤدي إلى الاختلاف في درجة حرارة الـــسطح تبعـــا لتلـــك المكونات، تؤثر رطوبة التربة على الحرارة النوعية لتلك التربـــة لـــذلك تكون الحرارة النوعية للتربة الجافة هي أقل من التربـــة الرطبـــة، أي إن درجة حرارة التربة الرطبة ترتفع وتنخفض بمعدل أقل من التربة الجافـــة، بالإضافة إلى أن معامل التوصيل الحراري للتربة الجافـــة يـــزداد بزيـــادة رطوبة التربة.

إن لون سطح الأرض له دور كبير في كميـــة الأشـــعة الممتـــصة والمنعكسة عنه، فالسطح الأبيض يعكس اكبر كميه من الأشعة الساقطة علية مثل سطح الأرض المغطاة بالجليد، بينما التربة ذات اللون الداكن تمـــتص

الجزء الأكبر من الأشعة الساقطة عليها وتعكس المتبقي، لذلك تكون درجة حرارتها أكبر من السطوح ذات اللون الفاتح مثل الصحراء، تكون درجة حرارة سطح الأرض المغطاة بالنباتات أقل منها عند سطح الأرض المكشوفة، كون الغطاء النباتي يعمل على حجب أشعة الشمس الواصلة إلى سطح الأرض، كما يعمل على التقليل من سرعة تبخر الماء من التربة، أي يساعد التربة على الاحتفاظ برطوبتها والتي بدورها تؤثر على درجة الحرارة الممتصة والمفقودة، كما أن المادة العضوية في التربة له تأثير على معامل التوصيل الحراري والذي مقداره تقريبا مساويا إلى نصف مقدار معامل التوصيل الحراري للتربة المعدنية، وبذلك يكون النشاط الحيوي داخل التربة له تأثير على درجة حرارة التربة وبالتالي على سطحها.

التحليل النظري واشتقاق المعادلات المستخدمة

إن طاقة الأرض الممتصة ناتجة من التسخين المباشر بالإشعاع من الشمس والغلاف الجوي، ولاشتقاق معادله مناسبة لتلك الطاقة نأخذ عمقاً عشوائياً للتربة ΔZ ومساحة مقطعه ΔA وكثافة التربة ρ وبذلك تكون الكتلة هي $\rho\,\Delta Z\Delta A$ والطاقة الداخلية $(\rho\,\Delta Z\Delta A)cT_1$ حيث c الحرارة النوعية للتربة، T_1 درجة حرارة كتلة التربة، بعد فترة زمنية مقدارها Δt التي خلالها تضاف أو تفقد حرارة للتربة وتصبح الطاقة الداخلية $(\rho\,\Delta Z\Delta A)cT_2$ حيث T_2 درجة حرارة كتلة التربة بعد فترة زمنية مقدارها Δt ، وبذلك يكون التغير الداخلي للطاقة الداخلية للتربة خلال الزمن Δt

$$(\rho\,\Delta Z\Delta A)\,c\,(T_2-T_1)=(\rho\,\Delta Z\Delta A)c\Delta T$$

والتي يجب أن تكون مساوية لمحصلة الحرارة المكتسبة أو المفقودة للتربة وهكذا تكون محصلة الحرارة المكتسبة أو المفقودة

$(\rho\,\Delta Z\Delta A)c\Delta T=$

أو تصاغ بدلالة وحدة مساحة المقطع والزمن فتكون

محصلة الفيض الحراري $= \rho\, c \Delta Z \frac{\Delta T}{\Delta t}$ ..... (1)

معدل انسياب الحرارة خلال مستوى التربة على عمق Z تحت السطح يتناسب طرديا مع انحدار درجة الحرارة الرأسي عند ذلك المستوى.

وبذلك عند العمق Z_1

$$G_1 = -\lambda_1 \left(\frac{\Delta T}{\Delta Z} \right)_1 \quad \text{.....(2)}$$

يكون انسياب الحرارة في التربة موجباً نحو الأسفل ودرجة الحرارة تتناقص مع العمق (في الغلاف الجوي يكون انسياب الحرارة موجباً نحو الأعلى)، λ_1 ثابت التناسب ويسمى التوصيلية الحرارية (معامل التوصيل الحراري). التوصيلية الحرارية هي دالة في مكونات التربة ومحتواها من الرطوبة ودرجه حرارتها [1]. فيزيائيا التوصيلية الحرارية تمثل معدل مرور الطاقة الحرارية خلال وحدة المساحة لمادة معينه عند وجود انحدار درجة حرارة ($1\ c^0\ cm^{-1}$).

بإهمال انحدار درجة الحرارة الأفقي، وعندما يكون G_1 هو الفيض الرأسي خلال قمة الطبقة عند العمق Z_1، فإن الفيض الرأسي عند أسفل الطبقة عند العمق Z_2 هو G_2 ويكون كالأتي :

$$G_2 = -\lambda_2 \left(\frac{\Delta T}{\Delta Z} \right)_2 \quad \text{.....(3)}$$

وبعد طرح المعادلة (3) من المعادلة (2) نحصل على

$$\Delta G = G_2 - G_1 = \lambda_1 \left(\frac{\Delta T}{\Delta Z} \right)_1 - \lambda_2 \left(\frac{\Delta T}{\Delta Z} \right)_2 \quad \text{.....(4)}$$

ΔG يمثل معدل فيض الطاقة الحرارية الخارج أو الداخل من وإلى الطبقة والذي يساوي محصلة الفيض الحراري في معادلة (1)، حيث أن فيض الطاقة الحرارية للطبقة يتناسب طرديا مع المعدل الزمني لتغير درجة الحرارة المرصودة.

$$\Delta G = -C \frac{\Delta T}{\Delta t} \Delta Z \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

حيث $C = \rho c$ هي السعه الحرارية للتربة ، ΔZ سمك طبقة التربة.

$$G_2 - G_1 = -C \frac{\Delta T}{\Delta t} \Delta Z$$

$$G_1 = G_2 + C \frac{\Delta T}{\Delta t} \Delta Z \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

حيث $\Delta Z = (Z_2 - Z_1)$ ، Z_1 العمق عند قمة الطبقة ، Z_2 العمق عند أسفل الطبقة

$$G_1 = G_2 + C \frac{\Delta T}{\Delta t} (Z_2 - Z_1) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

$$G_1 + C \frac{\Delta T}{\Delta t} Z_1 = G_2 + C \frac{\Delta T}{\Delta t} Z_2$$

عند سطح الأرض $Z_1 = 0$ وبذلك

$$G_1 = G_2 + C \frac{\Delta T}{\Delta t} Z_2$$

$$G = G_2 + C\,\frac{\Delta T}{\Delta t} Z_2 \quad \text{.....(8)}$$

حيث $G = G_1$ وتمثل فيض الطاقة الداخل أو الخارج من أوالى الطبقة عند السطح.

ولطبقه رقيقة جدا ومتجانسة من التربة (لكون التربة متجانسة فان التوصيلية الحرارية لا تختلف مع العمق ($\lambda = \lambda_1 = \lambda_2$) يمكن أن نفاضل المعادلة (4) و (5) لتصبح

$$\frac{\partial G}{\partial Z} = -\frac{\partial}{\partial Z}\left(\lambda\,\frac{\partial T}{\partial Z}\right) = -C\frac{\partial T}{\partial t}$$

ويمكن أن تكتب بالشكل التالي

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{C}\frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} = k\,\frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} \quad \text{..... (9)}$$

$k = \frac{\lambda}{C}$ تمثل الانتشارية.

المعادلة (9) من الدرجة الثانية ويمكن حلها في حالة تغير درجة حرارة الأرض بشكل دوري.

فعندما تكون الشروط الحدودية لتغير درجة الحرارة عند سطح الأرض مفروضة كالأتي [2]

$$T_{(0,t)} = \overline{T} + \Delta T_0 \sin\omega t \quad \text{..... (10)}$$

حيث $\overline{T}$ المتوسط اليومي لدرجة حرارة التربة في العمق بعيدا عن السطح (يفترض أن تكون نفسها لكل الأعماق) ، ΔT_0 سعة موجة درجة حرارة السطح، $\omega = \frac{2\pi}{P}$ ، ω التردد الزاوي للتذبذب، P الفترة الزمنية للموجة (يوم كامل 24 ساعة)، t وقت الرصده. وبنفس هذه الشروط فإن Carlaw و Jaeger (1959) وجدوا حل المعادلة (9) يكون كالأتي [2]

$$T_{(z,t)} = \overline{T} + \Delta T_0 \, e^{-Z\left(\frac{\omega}{2k}\right)^{\frac{1}{2}}} \sin\left[\omega t - \left(\frac{\omega}{2k}\right)^{\frac{1}{2}} Z\right]$$

حيث $T_{(Z,t)}$ هي درجة الحرارة عند العمق Z وعند الوقت t.

الكميه $\delta = \Delta T_0 \; e^{-Z\left(\frac{\omega}{2k}\right)^{\frac{1}{2}}}$

تمثل سعة موجه درجة الحرارة عند العمق Z. وبأخذ النسبة للسعات بين العمقين Z_1 و Z_2 نحصل على معادلة السعة.

$$\frac{\delta_2}{\delta_1} = e^{-(Z_2 - Z_1)\left(\frac{\omega}{2k}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

وعندما تكون $\delta_1 = \delta_0$ و $Z_1 = Z_0$ حيث δ_0 سعة موجة درجة الحرارة عند سطح الأرض و Z_0 العمق عند سطح الأرض ويساوي صفر، δ_2 سعة موجة درجة الحرارة عند العمق Z_2 حيث أن $Z_2 = Z$ وبذلك تكون سعة الموجة عند سطح الأرض

$$(11)\cdots \delta_0 = \frac{\delta_Z}{e^{-Z\left(\frac{\varpi}{2k}\right)^{\frac{1}{2}}}} = \frac{\delta_z}{e^{-Z\left(\frac{\pi}{kp}\right)^{\frac{1}{2}}}}$$

حيث δ_z سعة الموجة عند العمق Z والتي تمثل المدى الحراري اليومي للعمق Z، و $T_{\min(z)}$ هي أصغر درجة حرارة عند العمق Z و $T_{\max(z)}$ هي أعظم درجة حرارة للعمق Z

$$(12)\cdots\cdots \quad \delta_z = \left[T_{\max(z)} - T_{\min(z)}\right] \Big/ 2$$

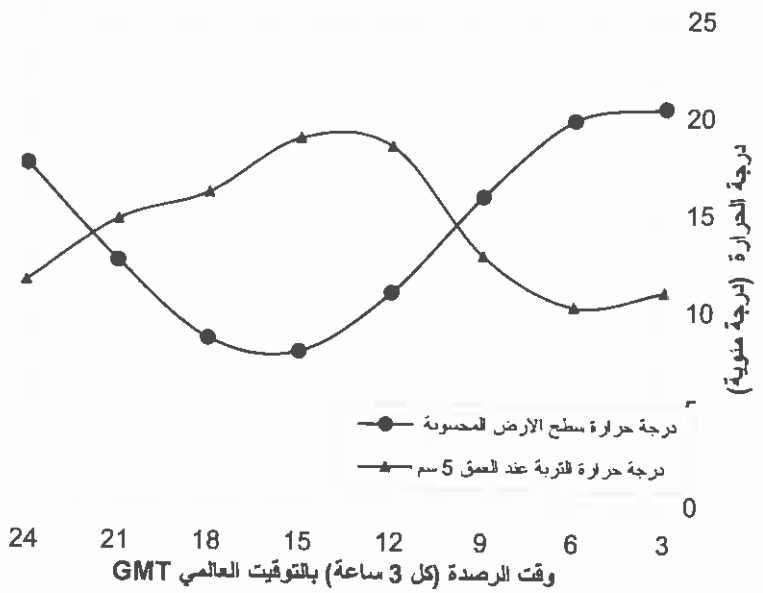
مقدار الانتشارية الحرارية k متغير طبقا لنوعية التربة ونسبه رطوبتها ويكون مقدارها كما في الجدول رقم (1).

سطح من التربة الطينية	$\lambda\left(wm^{-1}K^{-1}\right)$ التوصيلية	$c\left(Jkg^{-1}K^{-1}\right)$ السعة الحرارية	$\rho\left(kgm^{-3}\right)$ الكثافة	$k=\frac{\lambda}{\rho c}\left(m^2s^{-1}\right)$ الانتشارية الحرارية
تربة جافة	0.25	890	1.6×10^3	0.18×10^{-6}
10% رطوبة نسبية	0.62	1005	1.7×10^3	0.37×10^{-6}
20% رطوبة نسبية	1.12	1172	1.8×10^3	0.53×10^{-6}
30% رطوبة نسبية	1.33	1340	1.9×10^3	0.52×10^{-6}
40% رطوبة نسبية	1.58	1550	2.0×10^3	0.51×10^{-6}

جدول رقم (1) يمثل قيم التوصيلية الحرارية، السعة الحرارية، الكثافة والانتشارية الحرارية [3]

حساب درجة حرارة سطح الأرض

لحساب درجة حرارة سطح الأرض بمعرفة درجة الحرارة في عمق معين في الأرض، تم استخدام معلومات درجة حرارة التربة على عمق 5 سم المرصودة لعام 1990 لمحطة الزاوية من مصلحة الإرصاد الجوية في الجماهيرية العربية الليبية، حيث أن نوعية تربة منطقة الزاوية طينية، وبسبب عدم وجود قياس لرطوبة التربة فقد افترضت نسبة رطوبة التربة (30 %) للأشهر التي يكون فيها تساقط الأمطار في معظم الأيام تقريبا والأشهر الصيفية التي لا تتساقط فيها أمطار تم افتراضها بأنها جافة، لذلك فقد اعتبرت قيمة الانتشارية عند الأشهر الشتوية تساوي (0.52×10^{-6}) والأشهر الصيفية تساوي (0.18×10^{-6}). من المعادلة (12) تم حساب سعة الموجة عند العمق 5 سم ومن ثم حساب سعتها عند سطح الأرض باستخدام المعادلة (11) ومن المعادلة (10) عندما (Z=0) تم حساب درجة حرارة سطح الأرض والتي تم تمثيلها في شكل رقم (a1)



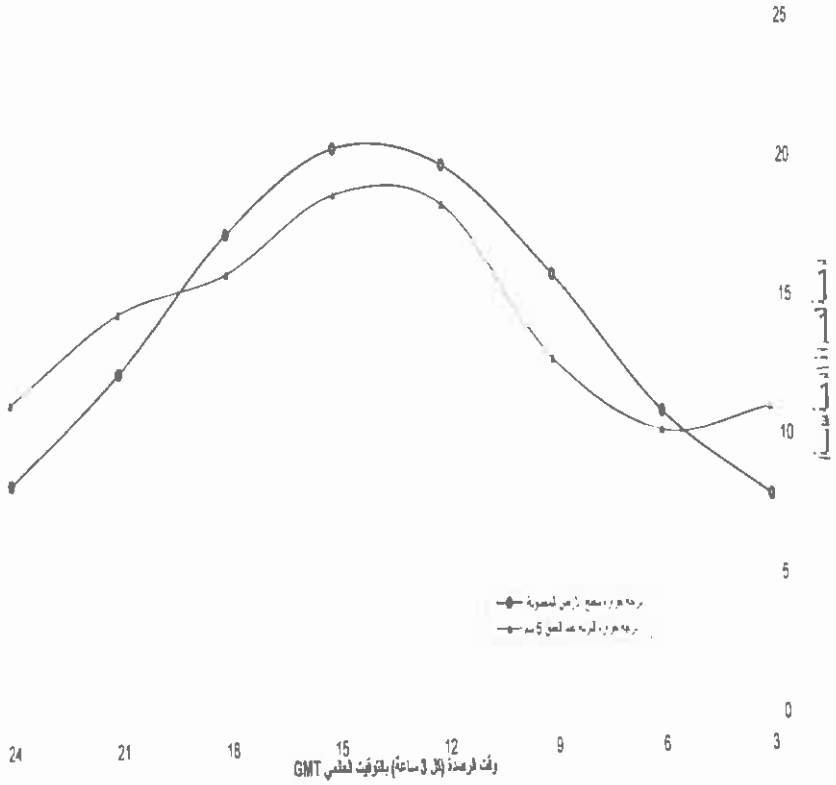
شكل (a1) تغير درجة حرارة سطح الأرض المحسوبة بواسطة المعادلة (10) ودرجة حرارة التربة المرصودة عند العمق 5 سم لمحطة الزاوية (1990/1/15)

ويتضح من الشكل (a1) أن هناك فرقاً بطور الموجة بين درجة الحرارة المحسوبة ودرجة الحرارة المرصودة عند العمق 5 سم مما أعطي نتائج غير منطقية، ولتلافي هذا الفرق في الطور فقد تم تطـوير المعادلـة (10) عند (Z=0) بعد أن تم تغير طور الموجة بإضافة زمن أعلى درجـة حرارة للعمق 5 سم إلى زمن كل رصدة لتصبح بالشكل التالي

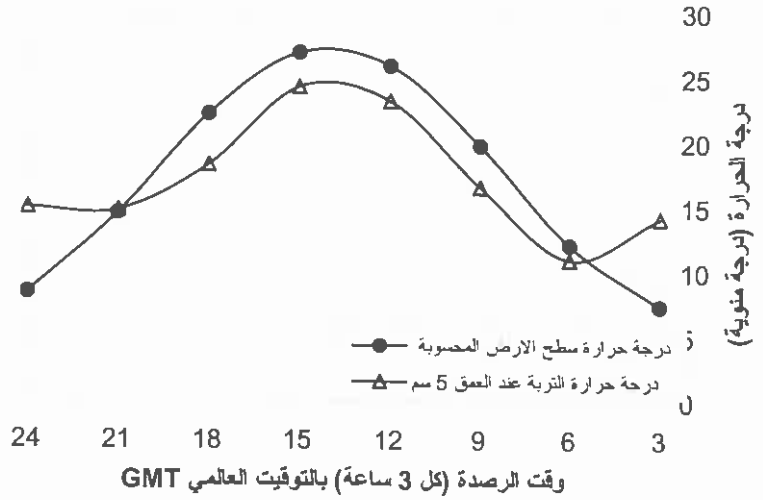
$$T_{(0,t)} = \overline{T} + \delta_0 \sin \frac{2\pi}{p}\left(t + t_{\max}\right) \quad \ldots\ldots\ldots (13)$$

عندما t وقت الرصده و t_{max} زمن أعلى درجة حرارة للعمق 5 سم، من هذه المعادلة تم حساب درجة حرارة سطح الأرض لجميع أيام الـسنة وكانت النتائج منطقية، وبعد رسم النتائج التي تمثيل درجات الحرارة كدالة

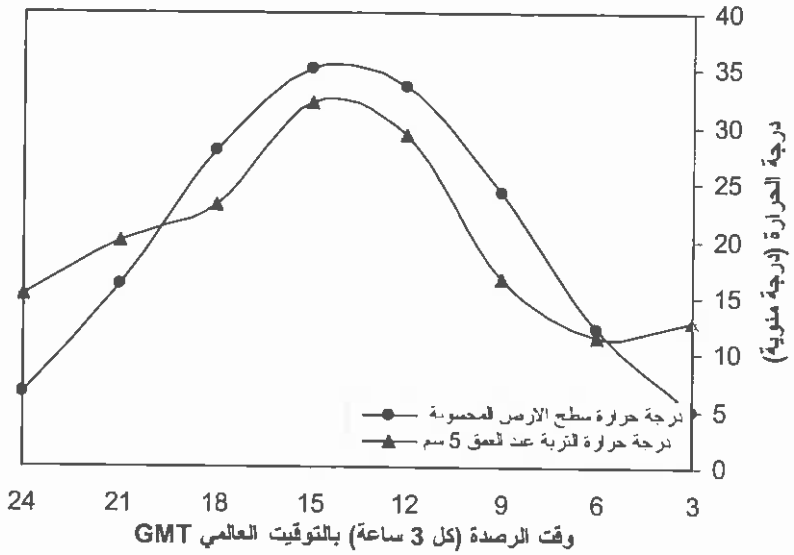
للزمن (بالتوقيت اليومي) والتي تم منها اختيار يوم من كل شهر من أشـــهر السنة والمبينة بالأشكال (1 – 12).



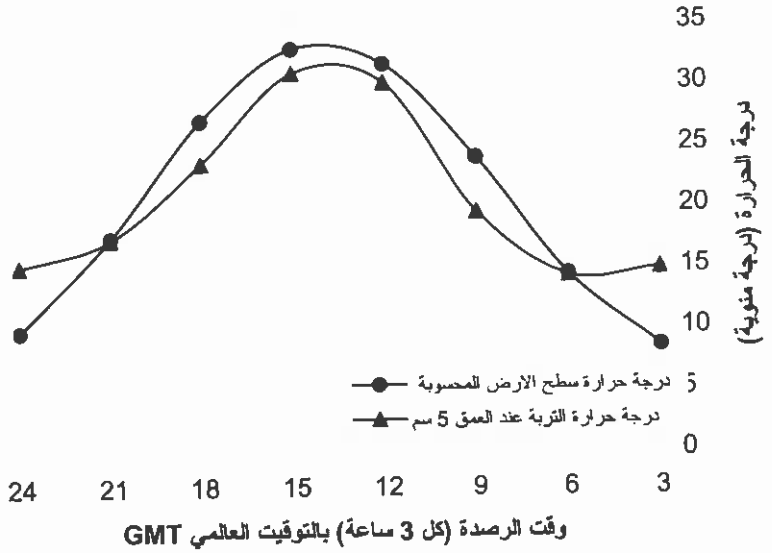
شكل (1) تغير درجة حرارة سطح الأرض المحسوبة ودرجة حرارة التربة المرصودة عند العمق 5 سم لمحطة الزوية (1990/1/15)



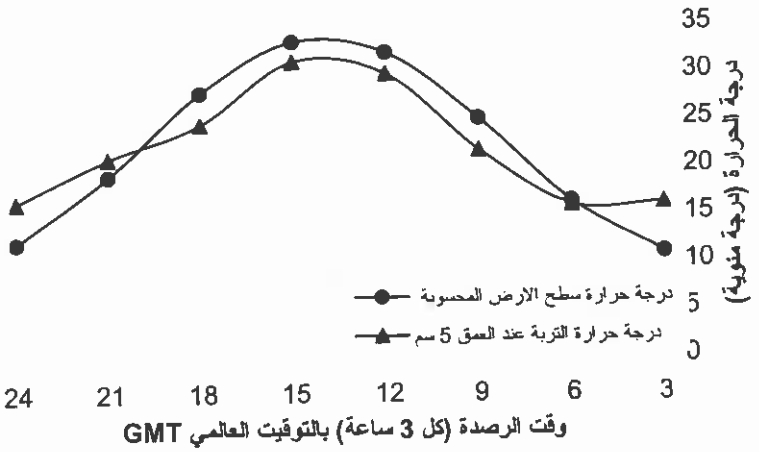
شكل (2) تغير درجة حرارة سطح الارض المحسوبة ودرجة حرارة التربة المرصودة عند العمق 5 سم لمحطة الزاوية (1990/2/15)



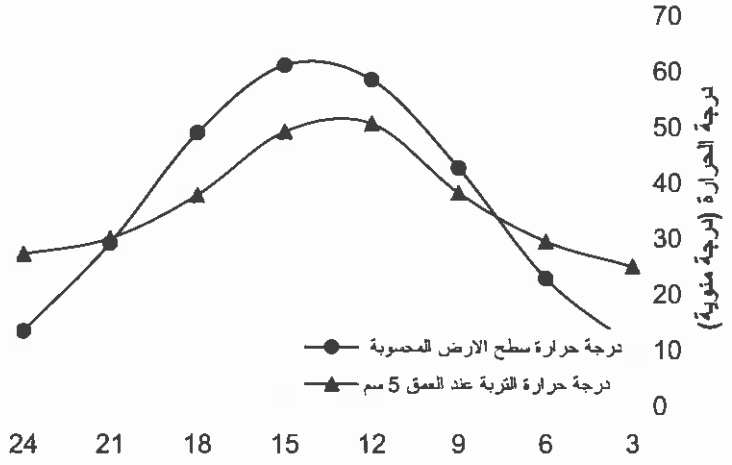
شكل (3) تغير درجة حرارة سطح الارض المحسوبة ودرجة حرارة التربة المرصودة عند العمق 5 سم لمحطة الزاوية (1990/3/1)



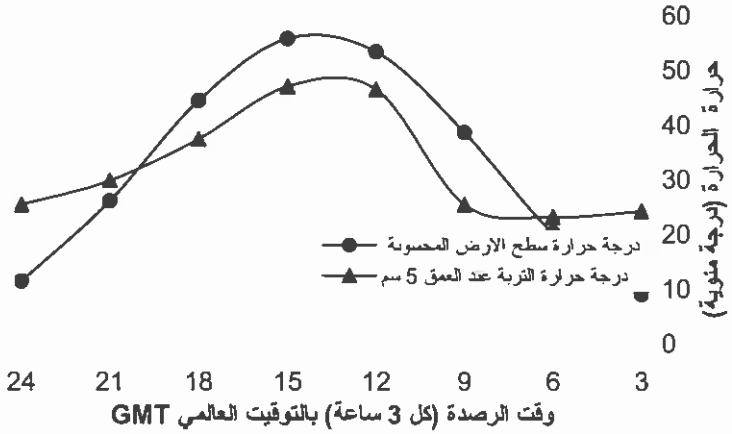
شكل (4) تغير درجة حرارة سطح الارض المحسوبة ودرجة حرارة التربة المرصودة عند العمق 5 سم لمحطة الزاوية (1990/4/1)



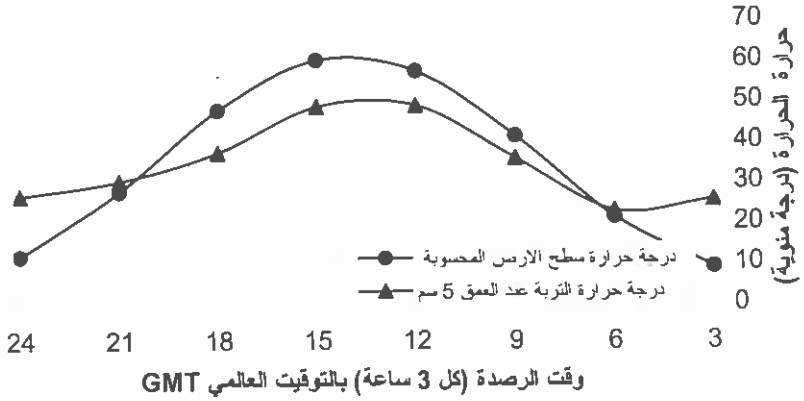
شكل (5) تغير درجة حرارة سطح الارض المحسوبة ودرجة حرارة التربة المرصودة عند العمق 5 سم لمحطة الزاوية (1990/5/1)



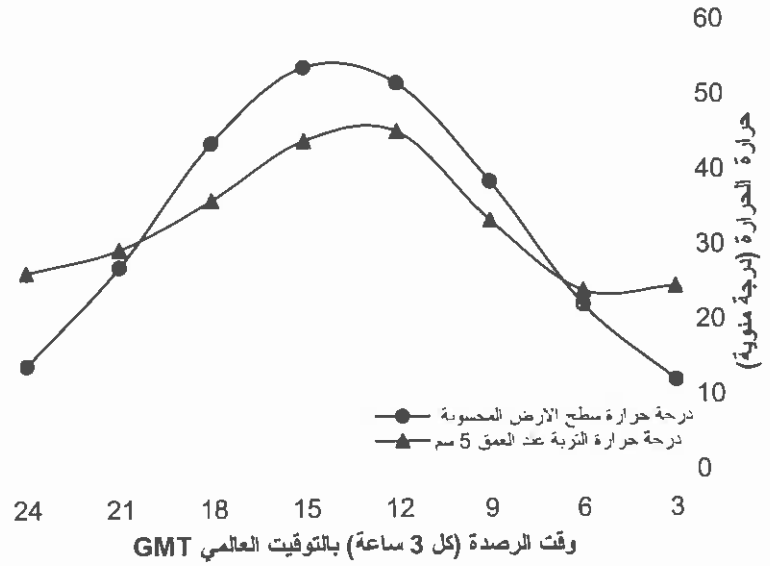
شكل (6) تغير درجة حرارة سطح الارض المحسوبة ودرجة حرارة التربة المرصودة عند العمق 5 سم لمحطة الزاوية (1990/6/15)



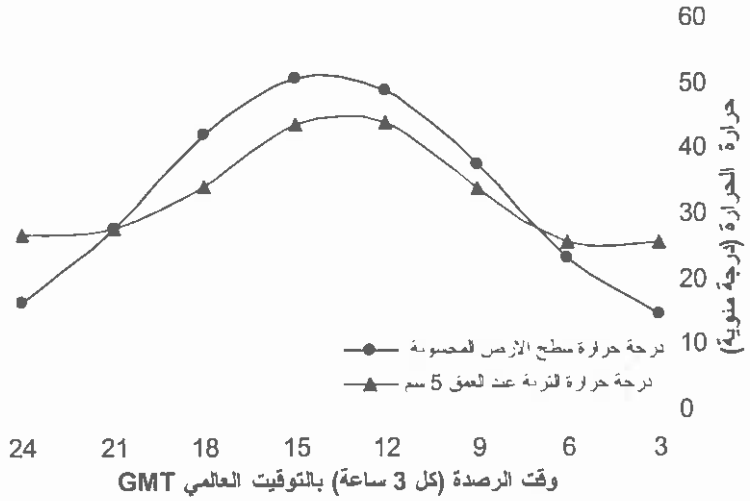
شكل (7) تغير درجة حرارة سطح الارض المحسوبة ودرجة حرارة التربة المرصودة عند العمق 5 سم لمحطة الزاوية (1990/7/15)



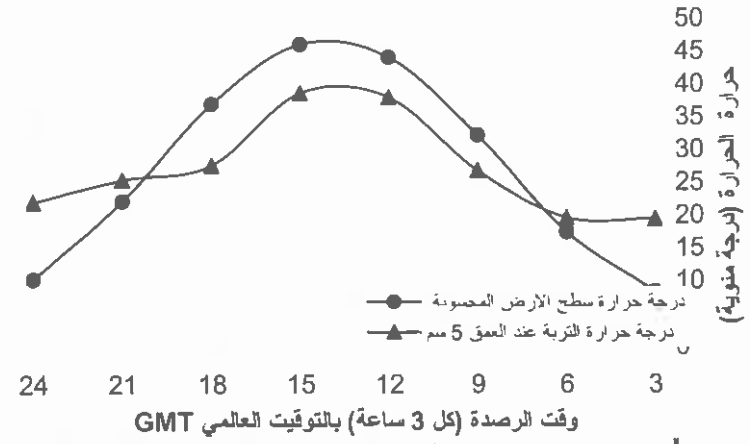
شكل (8) تغير درجة حرارة سطح الارض المحسوبة ودرجة حرارة التربة المرصودة عندالعمق 5 سم لمحطة الزاوية (1990/8/15)



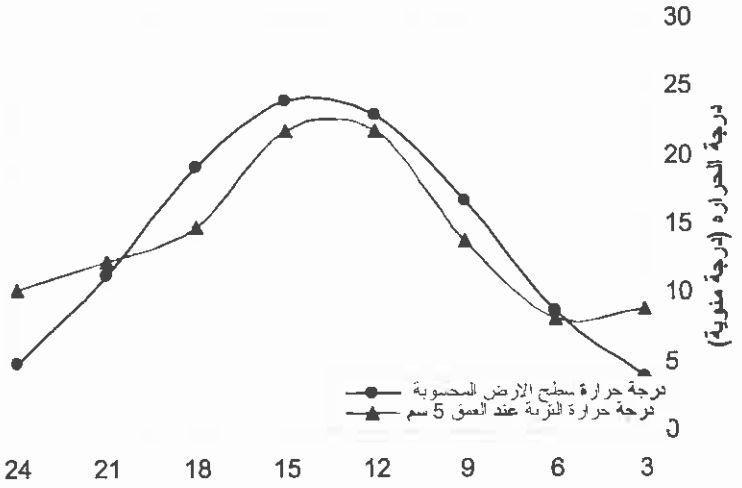
شكل (9) تغير درجة حرارة سطح الارض المحسوبة ودرجة حرارة التربة المرصودة عند العمق 5 سم لمحطة الزاوية (1990/9/15)



شكل (10) تغير درجة حرارة سطح الارض المحسوبة ودرجة حرارة التربة المرصودة عند العمق 5 سم لمحطة الزاوية (1990/10/1)



شكل (11) تغير درجة حرارة سطح الارض المحسوبة ودرجة حرارة التربة المرصودة عند العمق 5 سم لمحطة الزاوية (1990/11/1)



شكل رقم (12) تغير درجة حرارة سطح الارض المحسوبة ودرجة حرارة التربة المرصودة عندالعمق 5 سم لمحطة الزاوية (1990/12/1)

تحليل النتائج

من أهم النتائج التي تم التوصل إليها هو الوصول واستخدام المعادلة رقم (13) والتي منها تم الحصول على النتائج المبينة في الأشكال (1-12) والتي تمثل يوماً من كل شهر من أشهر السنة، في هذه الأشكال هناك منحنيان أحداهما يمثل التغير اليومي لدرجة حرارة سطح الأرض المحسوبة باللون الأزرق والآخر يمثل التغير اليومي لدرجة حرارة التربة المرصودة على عمق 5 سم والمرسوم باللون الأحمر.

ويلاحظ من هذه الأشكال أن درجة حرارة سطح الأرض المحسوبة أثناء النهار أكبر من درجة حرارة التربة المرصودة على عمق 5سم بينما في الليل فان درجة حرارة سطح الأرض تكون أقل من درجة حرارة التربة عند العمق 5 سم والسبب هو أنه أثناء النهار يكون امتصاص الإشعاع الحراري من الشمس بواسطة سطح الأرض، حيث تسري الحرارة من

سطح الأرض إلى عمقها وبذلك يكون انحدار منحنى درجة الحرارة إلى الأسفل أي أن درجة حرارة سطح الأرض اكبر من درجة حرارة عمقها بينما في الليل فان الأرض تفقد الحرارة بواسطة الإشعاع والحمل إلى الجو المحيط وبذلك تسري الحرارة إلى السطح الأرض من عمقها وبذلك يكون انحدار درجة الحرارة من العمق إلى السطح أي أن درجة حرارة العمق اكبر من السطح في الليل. كما نلاحظ من الأشكال أيضا أن الفرق في درجة حرارة سطح الأرض ودرجة الحرارة عند العمق 5 سم هو اكبر في الأيام عند الأشهر الصيفية عن الأشهر الشتوية وهذا مطابق للواقع حيث إن مقدار الحرارة المكتسبة أثناء فصل الصيف اكبر مما هو عليه في فصل الشتاء وسبب الاختلاف هذا يعود إلى تغير موقع الشمس في الأفق حسب أيام السنة أي تغير مقدار كمية الإشعاع الواصل إلى سطح الأرض. وعندما يكون الفيض الحراري كبيراً يعني أن انحدار درجات الحرارة كبير.

الاستنتاجات والتوصيات

نستنتج بأنه يمكن حساب درجة حرارة سطح الأرض من المعادلة (13) وباستخدام درجة حرارة التربة المرصودة على عمق 5 سم وتكون النتائج أفضل إذا توفرت قياسات درجة حرارة التربة لأعماق اقل من العمق 5 سم، كذلك كلما كانت درجة حرارة التربة المرصودة للعمق المستخدم حقيقية وخالية من الأخطاء كلما كانت نسبة الخطأ أقل، وبالنظر إلى أهمية رطوبة التربة في زيادة السعة الحرارية للتربة فأن عدم توفر قياس لها واعتماد أسلوب التقدير لها يعد أحد العوامل التي تعطينا نسبة خطأ في دقة الحسابات بينما لو كانت مقاسه لساهمت في أعطاء نتائج ذات دقة أكبر.

المصـــادر

1. **Chang , J. 1959. Ground Temperature. Vol. 1. Harvard University, Blue Hill Meteorological Observatory , Milton.**
2. **Welliam D. Sellers , Physical Climatology , The University of Chicago Press / Chicago & London**
3. **Roger A. Pielk , 1984 , Mesoscale Meteorological Modeling , Academic Press , New York**

4. S. Pal Arya ,1988, Introduction to Micrometeorology , Academic Press , Inc. New York
5. J. W. Deardorff , Efficient Prediction of Ground surface Temperature and Moisture , With Inclusion of a Layer of Vegetation , J. Geophy. Rea. , 1978
6. J. A. Santanelto Jr. and Mark A. Friedl , Diurnal Covariation in Soil heat Flux and Net Radiation, J. Appl. Meteor., 2003, 42, 851-862.