**بسم الله الرحمن الرحيم**

**فيزياء التربة النظري**

د. بسام الدين الخطيب هشام

## حرارة التربة Soil Temperature

تعد حرارة التربة صفة مهمة في تحديد معدلات واتجاهات العمليات الفيزيائية للتربة وتبادل الطاقة والكتلة مع الجو بضمنها التبخر والتهوية، كما أن الحرارة تتحكم في أنواع ومعدلات التفاعلات الكيميائية في التربة وتؤثر بقوة في إنبات البذور وبزوغ البادرات ونمو تطور المجاميع الجذرية والفعاليات البيولوجية. تستلم التربة حرارتها عادة من الشمس وتفقد بعض من طاقتها من خلال الأشعة المنعكسة إلى الجو خلال الليل، حيث تمتص الترب الغامقة اللون ما يقارب 80% والكوارتز الفاتح اللون ما يقارب 30% من أشعة الشمس الواصلة. ومن مجموع الأشعة الشمسية المنبعثة إلى الأرض ينعكس ما يقارب 34% إلى الجو حيث يمتص الجو 19% والأرض تمتص 47%.

**السعة الحرارية للتربة:** هي عدد السعرات الحرارية الموجودة في جسم التربة اللازمة لرفع درجة حرارة غرام واحد درجة مئوية واحدة. لذا فأن الحرارة النوعية للماء تكون وحدة واحدة وجميع مكونات التربة لها حرارة نوعية أقل بكثير من الحرارة النوعية للماء.

تحسب الحرارة النوعية للتربة $C_s$ من حاصل جمع الحرارة النوعية للمكونات المفردة مضروبة في كتلتها

$$C_s = C_1 M_1 + C_2 M_2 + C_3 M_3 + \ldots\ldots\ldots + C_n M_n \ (cal/gm\ ^\circ C)$$

كما إن السعة الحرارية لمكونات التربة تكون مساوية للحرارة النوعية مضروبة في كثافة المواد ويمكن حساب السعة الحرارية للتربة كالاتي

$$C_s = C_s X_s + C_w X_w + C_a X_a + \ldots\ldots\ldots + C_n X_n \ (cal/cm^3\ ^\circ C)$$

حيث إن $X_s$ و $X_w$ و $X_a$ حجم الجزء الصلب والماء والهواء على التوالي و $C_s$ و $C_w$ و $C_a$ تمثل السعة الحرارية للمواد أعلاه على التتابع. وبسبب إن المواد الصلبة تتكون من المعادن والمادة العضوية $X_o$ والتي تكون سعتها الحرارية لكل وحدة حجم تقريباً( 0.6,0.46) على التتابع وبسبب إن مكونات الهواء في المعادلة الأخيرة صغيرة جداً فيمكن تبسيط المعادلة إلى

$$C_s = 0.46 X_s + 0.6 X_o + X_w$$

ولان إن السعة الحرارية للترب الرطبة تعتمد على المحتوى الرطوبي للتربة، وبناء التربة والمادة العضوية الموجودة في التربة ويمكن ملاحظة ذلك من العلاقة أدناه

$$C_v = \rho_{wes\ soil}\ C_p + \rho_b(1+\theta_m)C_p$$

حيث إن $C_v$ السعة الحرارية على أساس الحجم و $C_p$ على أساس الكتلة و $\theta_m$ المحتوى الرطوبي على أساس الكتلة و $\rho_w$ كثافة الماء و $\rho_b$ التربة الظاهرية على التوالي ويمكن إعادة كتابة المعادلة بالصيغة أدناه

$$C_v = \rho_b\ (C_p + \theta_m\ C_{\rho w})$$

حيث إن $C_p$ معدل السعة الحرارية للتربة و $C_{pw}$ **الحرارة النوعية للماء** والتي تعرف على إنها الحرارة اللازمة لرفع غرام واحد من الماء درجة مئوية واحدة، وتكون مساوية لسعرة واحدة لكل غرام لكل درجة حراة مئوية، بينما الحرارة النوعية لدقائق التربة تكون مساوية لـ 0.2 سعرة لكل غرام لكل درجة مئوية واحدة وعند التعويض نحصل على.

$$C_v = \rho_b\ (0.2 + \theta_m)$$

وعند ربط المعادلات أعلاه

$$C_v = (0.2 + \theta_m)/1 + \theta_m \Rightarrow C_v = 0.2\ \rho_b + \theta_v$$

كما تحسب كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة حجم معين من التربة $V$ من درجة حرارة معينة إلى درجة حرارية أخرى $Q_d$ من المعادلة أدناه

$$Q_d = C_v V\ (T_2 + T_1) = C_v V \Delta T$$

**الإيصالية الحرارية والانتشار**

**معامل التوصيل الحراري:** نسبة كمية انسياب الحرارة بوحدة مساحة في زمن معين إلى الفرق في درجة الحرارة وهي قياس لكمية الحرارة التي يمكن إيصالها خلال التربة في ظروف قياسية. مصدر حرارة التربة هو الإشعاع الشمسي وكذلك من عمليات الانبعاث الحراري لتحلل المادة العضوية وعمليات تكثف بخار الماء، تعتمد حرارة التربة على حرارة الهواء، وكذلك على الخصائص الحرارية للتربة.

لمقطع تربة ترتفع درجة الحرارة بواسطة كمية صغيرة في وحدة الزمن الصغيرة تكون مساوية إلى

$$AC(d\theta/dt)\ \Delta T$$

حيث إن $C$ السعة الحرارية للتربة إن كمية الحرارة التي تحتاجها تكون مساوية إلى حجم المقطع مضروبة في $C$ في التغيير الحراري $(d\theta/dx)$ فاذا كانت التربة معزولة عن المحيط الخارجي فإنها سوف لا تفقد الحرارة أثناء العزل وعليه

$$Ak(\partial^2\theta/\partial x^2)\ \Delta x = AC(\partial\theta/\partial t)\ \Delta x \Rightarrow k/C(\partial^2\theta/\partial x^2) = (\partial\theta/\partial t)$$

حيث تمثل $(\partial^2\theta/\partial x^2)$ الانحدار الحراري و $(\partial\theta/\partial t)$ التغير في درجة الحرارة مع التغير في الزمن و $k/C$ انتشار الحرارة و $k$ الإيصالية الحرارية و $C$ السعة الحرارية. إذا اعتبر مقطع التربة بشكل مستطيل وان درجة الحرارة عند جانبي المستطيل هي $T_1$ و $T_2$ وسمك المقطع $d$ هي وكمية الحرارة الجارية عبر زمن معين $Q$ ، فمعدل الحرارة لكل وحدة مساحة $(Q/At)$ والانحدار الحراري $(T_1 - T_2)$ فالإيصالية الحرارية ستكون مساوية إلى

$$k = (Q/At)/((T_1 - T_2)/d) = Qd/At(T_1 - T_2)$$

**العوامل المؤثرة في حرارة التربة**

أ-عوامل بيئية.

1-الإشعاع الشمسي.
2-التكييف.
3-المطر.
4-الغطاء النباتي.
5-أشعة السماء.
6-التبخر.
7-العزل الحراري.
8-التبادل الحراري مع الجو.

ب-عوامل التربة الداخلية.

1- السعة الحرارية.
2- التوصيل الحراري.
3- النسجة وبناء التربة.
4- النشاط البايلوجي.
5- الأملاح الذائبة.
6- الأشعة المنبعثة من التربة

**التغيرات في حرارة التربة**

**أ- النموذج الشامل Global pattern**

هنالك عدة حقائق معنوية لهذه القيم

1-حرارة التربة عند العمق 120,30,10 تقريباً نفسها عند خط عرض صفر على مدار السنة.

2-حرارة التربة خلال الصيف عند خط 20° شمالاً وجنوباً تقريباً نفسها عند جميع الأعماق.

3-حارة التربة عند العمق 30,10 تكون تقريباً 5م° أعلى في الصيف عند خط 40° شمال من ذلك عند 40° جنوب.

4-حرارة التربة عند جميع الأعماق تزداد شتاءً من خط العرض العالية إلى أعلى ما يمكن عند خط الاستواء.

5-حرارة التربة الشتوية عند جميع الأعماق وعند خط 40° شمالاً حوالي 5م° أبرد مما عند خط 40° جنوب.

**ب-التغيرات الحرارية اليومية**

عند الصباح وقبل شروق الشمس أدنى درجة حراة التربة عند السطح وتزداد مع العمق، بعد شروق الشمس تكون درجة حرارة السطح قياساً بالعمق 20 سم في حين تكون أعلى درجة حرارة للسطح عند الساعة 12:30 وهذه الزيادة في درجات الحرارة تسبب اقصى موجات حرارية تتحرك نحو الأعماق 20,10,5 سم عند الساعات 14:50 ,16:25 ,20:50 في الترب المزيجة وتستمر حتى الواحدة صباحاً من اليوم التالي لتصل للعمق 30 سم ، بعد الغروب يحدث انقلاب في حرارة التربة إذا تصبح ابرد عند العمق 5 سم عند الساعة 16:50 وبعد ساعتين كانت ابرد من التربة عند العمق 20 سم أما سعة التربة للحرارة لعمق 5 سم تكون تحت التسلسل رملية> المزيجة > الترب العضوية> الطينية وعند العمق 20 سم يصبح التسلسل رملية> المزيجة > الطينية ا> لترب العضوية.

**ج-تغيرات الحرارة الموسمية**

إن التغيرات الموسمية لحراة التربة مع العمق تكون مشابه لخصائصها للتغيرات اليومية ففي أشهر الصيف تصل درجة الحرارة ذروتها وتشبه درجات الحرارة عند الظهر في التغيرات اليومية، في الشتاء ستكون مشابه لحرارة الليل، فهي عند العمق 15 سم أدفأ من السطح من منتصف أذار حتى بداية آب وكان الانحدار الحراري للأعلى بينما يحدث الانقلاب في الأول من أذار إلى منتصف أيلول

تفقد التربة حرارتها عن طريق:

1- تبخر الماء.
2- إعادة الإشعاع الشمسي إلى الجو كأشعة منكسرة طويلة الموجة.
3- تسخين الهواء فوق التربة.
4- تسخين التربة.

في بعض المناطق أو الأجواء الباردة يتعذر نمو النبات أو النظام الجذري فيلجأ العاملون في الزراعة إلى رفع حرارة التربة عن طريق

1- إنشاء البيوت البلاستيكية والزجاجية.
2- تغطية التربة بالبولي اثلين غامق اللون أو تغطيتها بالمادة العضوية أو الحصى.
3- إضافة محسنات التربة وخصوصاً المشتقات النفطية.
4- زيادة العمليات البايولوجية في التربة والتفاعلات الباعثة للحرارة.
5- تحوير مقد التربة والاستفادة من بعض العمليات الصناعية كإمرار الماء الساخن لمعمل ما في أنابيب داخل التربة.

وفي بعض الأحيان وخصوصاً في الصيف يلجأ العاملون في المجال الزراعي إلى خفض درجات الحرارة لزيادة فعالية النبات وتقليل الإجهاد الحراري على النبات عن طريق،

1- إجراء عمليات الري واستخدام أساليب الري الحديثة الري بالرش.
2- إضافة محسنات التربة لتسريع عملية التبريد من جهة ومن جهة أخرى عن طريق رفع سعة حفظها للماء.
3- تغطية التربة بالمخلفات النباتية فاتحة اللون كقش التبن مثلاً والأحجار الفاتحة والمواد ذات الانعكاسية العالية.
4- زيادة التفاعلات الحرارية الممتصة للحرارة.
5- إتباع أنواع من الفلاحة تؤدي إلى زيادة التبادل الغازي وتحسين البزل.

**مثال\ إذا علمت ان المحتوى الرطوبي لتربة معينة 0.2 على أساس الحجم، درجة حرائها 16م° وان كثافتها الظاهرية 1.3 غم\سم$^3$، جد مقدار الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة التبة إلى 22م° لعمق 90 سم بوحدة المساحة.**

$$Q_d = C_v V \Delta T$$
$$C_v = 0.2\,\rho_b + \theta_v$$
$$Q_d = (0.2\,\rho_b + \theta_v) V \Delta T$$
$$= (0.2*1.3\ gm/cm^3 + 0.2(cal/cm^3.C°)(90cm*1cm*1cm(22\ C° - 16\ C°)$$
$$= 0.46 cal/cm^3.\ C°*540 cm^3\ C° = 248.4\ calorie$$

**مثال\ إذا كانت مقدار الحرارة اللازمة لرفع حراة التربة 100 سعرة ومحتوى رطوبة التربة الحجمي بحدود 0.22 وكثافتها الظاهرية 1.3 غم\سم$^3$، جد مقدار التغيير في درجة الحرارة لعمق 80 سم**

$$Q_d = (0.2\,\rho_b + \theta_v) V \Delta T$$
$$\Delta T = Q_d / (0.2\,\rho_b + \theta_v) V \Rightarrow 100/(0.2*1.32+0.22)(80cm*1cm*1cm)$$
$$= 2.582\ C°$$

**مثال\ إذا كانت درجة حرارة سطح التربة 15 م° وعند العمق 5 سم 20 م°، فاذا علمت ان معامل التوصيل الحراري 0.003 سعرة\سم.ثا.م°، جد كمية الحرارة تبقى ثابتة خلال اليوم.**

$$k = (Q/At)/((T_1 - T_2)/d) \Rightarrow Qd = kAt(T_s - T_5)/(d_s - d_5)$$
$$= -0.003(cal/cm.sec.C°)*1cm*1cm*1day*8.64*10^4 sec/day$$
$$= 259.2\ calorie$$

**المعايير التي تحدد التوازن الحراري في التربة**

ويشمل التوازن الحراري

1- توازن الإشعاع على سطح التربة.
2- التبادل الحراري بين سطح التربة والطبقات العميقة.
3- التبادل الحراري بين التربة والهواء.
4- الحرارة المفقودة من رطوبة التربة عن طريق التبخر.

التوازن الحراري = مقدار الطاقة المكتسبة – مقدار المفقودة.

**مقارنة بين تربتين أحدهما جافة والأخرى مشبعة بالماء وتربتين خشنة وناعمة من حيث سرعة التسخين والتبريد**

1- الترب الجافة تسخن وتبرد بشكل أسرع والمشبعة تكون أبطأ.
2- الترب الجافة ذات سعة حرارية أقل من المشبعة بسبب السعة الحرارية النوعية العالية للماء.
3- الترب الرملية تسخن وتبرد بسرعة وتكون بطيئة بالتبريد.
4- الترب الطينية بطيئة التسخين بسبب احتفاظ التربة بالماء والذي يزيد من السعة الحرارية النوعية.

**تبادل الأشعة في الحقل**

يحدث الإشعاع عندما يطلق موجات اليكترومغناطيسية من جميع الأجسام عندما تزيد درجة حرارتها عن الصفر الكلفني، يعد الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الأرض من المكونات الأساسية لتوازن الطاقة، يلاحظ أن النباتات الخضراء لها القدرة على تحويل جزء من الإشعاع الشمسي إلى طاقة كيميائية خلال عملية التركيب الضوئي، إن الإشعاع الشمسي يصل إلى الغلاف الجوي الخارجي بمعدل تدفق مقداره 2 سعرة /دقيقة.سم$^2$ وتكون عمودية على الأشعة الساقطة. إن سطح الأرض يبعث أشعة وبنفس الوقت يمتص الأشعة ويبث أشعة ذات موجات طويلة، إن الفرق بين الأشعة القادمة والأشعة الخارجة يطلق عليها بصافي الإشعاع $Jn$، خلال النهار يكون صافي الإشعاع تشكل جزءً صغيراً من توازن الطاقة، في الليل فان التبادل الحراري من الأرض إلى الجو يكون سائداً في التوازن الحراري،

$$J_n = J_{s\uparrow} + J_{s\downarrow} + J_{l\downarrow} + J_{l\uparrow}$$

حيث إن $J_{s\uparrow}$ الأشعة ذات الموجات القصيرة المنعكسة من السطح، $U_{s\downarrow}$الأشعة ذات الموجات القصية القادمة من الجو و $J_{l\downarrow}$ الأشعة ذات الموجات الطويلة القادمة من الجو، $U_{l\uparrow}$الأشعة المنعكسة والمنبعثة،

**التوازن الكلي للطاقة**

عندما تتوازن الأشعة المكتسبة والمفقودة من السطح ستحصل تحولات لهذه الطاقة، فمنها ما يتحول إلى حرارة تعمل على تدفئة التربة والنبات والجو والجزء الأساسي يمتص على شكل طاقة كامنة للتبخر-نتح $LE$.

$$J_n = LE + A + S + M$$

حيث إن $A$ تدفق الطاقة التي تسخن الهواء $S$ الحرارة المخزونة في التربة، الماء والغطاء الخضري، $M$ تمثل أنواع الطاقة الأخرى. إن انتقال الحرارة المحسوسة وبخار الماء واللذين لهما حرارة كامنة من الحقل إلى

الجو يكون متأثراً بحركة الهواء المضطربة في الجو والطبقات المحيطة. يلاحظ أن تدفق الحرارة المحسوسة $A$ يكون متناسباً مع حاصل ضرب الانحدار الحراري $dT/dZ$ ومكافئ الانتقال $k_a$ المضطرب للحرارة $T$ كما في أدناه

$$A = C_p \rho_a k_a dT/dZ$$

حيث إن $C_p$ السعة النوعية للهواء عندما يكون الضغط ثابتاً (سعرةاسم.م°)، و $\rho_a$ كثافة الهواء و $Z$ الارتفاع عن سطح الأرض سم، إن معدل انتقال الحرارة الكامنة بواسطة بخار الماء من الحقل إلى الجو الخارجي تكون أيضاً متناسبة مع حاصل ضرب انحدار الضغط ومكافئ الانتقال المضطرب للبخار، وعند افتراض تساوي مكافئ الانتقال من الحرارة وبخار الماء، فان نسبة انتقال الحرارة المحسوسة إلى الحرارة الكامنة تصبح

$$\beta = A/LE = \gamma \Delta T/\Delta e$$

حيث ان $\gamma$ ثابت الترطيب ويساوي 0.66 ملبار لكل م° هي $\Delta T/\Delta e$ نسبة الانحدار الحراري إلى انحدار ضغط البخار في الجو فوق نطاق الحقل و $\beta$ ثابت بوين المعتمد على درجة الحرارة ورطوبة الحقل، بعد إعادة كتابة المعادلات السابقة فنحصل على

$$J_n = S+A+LE \quad and \quad \beta = A/LE \quad and \quad LE = (J_n - S)/1+\beta$$
$$A = \beta(J_n - S)/(1+\beta)$$

**مثال\ في احد الأيام استلم احد الحقول أشعة شمسية قدرها 500 سعرةاسم$^2$، قيمة الالبيدو كانت 15% وقيمة صافي الأشعة الخارجة بشكل موجات طويلة 10 سعرة اسم$^2$، إذا علمت ان الحرارة المحسوسة المنتقلة إلى الهواء تساوي 12 سعرة اسم$^2$ وصافي التدفق إلى التربة 6 سعرةاسم$^2$ والطاقة المستخدمة حيوياً 8 سعرة اسم$^2$، احسب صافي الإشعاع، طاقة التبخر نتح، وكذلك التبخر نتح اليومي، في اليوم التالي انعكست الحرارة المعكوسة والمنتقلة واصبح التبخر نتح الكلي 7.5 مم، فعند بقاء القيم الأخرى دون تغير احسب كمية الطاقة الخاصة بالتيار الحراري الأفقي المأخوذة من قبل الحقل.**

$$J_n = J_s\,(albido) - J_l$$
$$= 500(1-0.15)-10 = 415\ cal/cm^2$$
$$J_n = LE + A + S + M \Rightarrow LE = J_n - A - S - M = 415 - 12 - 6 - 8 = 389\ cal/cm^2$$

لغرض تبخير 1 غم أو 1 سم$^3$ من الماء إلى 580 سعرة اسم$^2$ وان

$$Amount\ of\ evaporation = LE/L = 389/580 = 0.67\ cm\ or\ 6,7\ mm$$

اليوم التالي

$$LE = E_o L = 0.75cm * 580\ cal/cm^2$$

$When\ equilibrium\ J_n + A = LE + S + M$

الطاقة المكتسبة = مقدار المفقودة

$$A = LE + S + M - J_n = 435+6+8 - 415 = 34\ cal/cm^2$$