

تحديد التوزيع الحراري في الطبقات الأسفلتية السطحية المستخدمة في تكتيم المنشآت الهيدروليكية في ظروف المناطق الجافة (سورية)

الدكتور محمد منصور الشبلق
قسم الهندسة المائية - جامعة دمشق

الملخص

استخدمت الخرسانة الأسفلتية كطبقات سطحية تتوضع على المنحدر الأمامي للسدود والخزانات والأقنية بهدف منع الرشح منها . إنَّ ثبات هذه الطبقة يتعلق بمقاومة المادة لإجهادات القص وهذه الأخيرة ترتبط إلى حد كبير بدرجة الحرارة العظمى التي تبلغها هذه الطبقة .

تمكن الباحث من خلال معادلة موازنة الطاقة لسطح ستارة أسفلتية سطحية وبعد تحديد بيانات مناخية وجغرافية من تحديد درجات الحرارة العظمى التي يمكن أن تبلغها هذه الستائر وذلك عبر نموذج رياضي- فيزيائي وبرنامج باستخدام الحاسوب طُوِّرَ استناداً للنموذج ، وبعد مقارنة نتائج الحساب حسب النموذج أعلاه مع القياسات المنفذة فعلاً تبين أنه يوجد توافق تام، وبهذا يمكن باستخدام البرنامج التنبؤ عن التوزيع الحراري لسطح الستائر الأسفلتية دون إجراء قياسات . ومن تمَّ تقييم ثبات هذه الستائر على المنحدرات.

1- مقدمة :

تؤدي مواد منع الرشح في المنشآت المائية دوراً أساسياً في اقتصاديات هذه المنشآت كذلك في ديمومتها ، ومنذ القديم استخدمت عدة مواد منها الخرسانة ، الطين ، الطين مخلوط مع مواد رابطة اسمنتية أو أسفلتية ، مواد صناعية .. الخ ، وحديثاً استخدم الأسفلت في المنشآت المائية بشكل واسع خاصة في أوروبا، ولم تخل المنطقة العربية من العديد من المنشآت التي استخدم فيها الأسفلت في تكتيم السدود والخزانات الأرضية وأقنية الري وقد أظهر (Schoenian 1994) في كتابه (الأسفلت في المنشآت المائية ، تصميم وتطبيق) ومن قبله (Asbeck 1968) في كتابه (البيتومين في الهندسة المائية) بعض المنشآت المنفذة في عُمان، المملكة العربية السعودية ، الجزائر ، تونس ، كما بنيت هذه المراجع أسس تنفيذ وتصميم الخرسانة الأسفلتية فسي أعمال التكتيم وبسبب (Schoenian, Haug 1992) الكفاءة والمواصفات التي تحققها الخرسانة الأسفلتية في التكتيم وقال:- "إنه لم يحصل إلى الآن أي فشل لأي طبقة تكتيم من الخرسانة الأسفلتية استخدمت في المنشآت المائية".

2- هدف البحث :

إن أهم ما يميز استخدام الساتر الأسفلتية السطحية في المناطق الحارة عنه في أوربة هو أن درجة حرارة هذه الستارة ترتفع أكثر منها في أوربا بسبب شدة الإشعاع الشمسي في هذه المناطق، إذ إن هذه الساتر الأسفلتية تمتص جزءاً كبيراً من الأشعة الشمسية بسبب لونها الأسود.

وعند ارتفاع درجة الحرارة فإن الساتر الأسفلتية السطحية تنقص لزوجتها ومن ثم تنقص مقاومة هذه الطبقة لإجهادات القص، ولما كانت مقاومة الطبقة لإجهادات القص هي المسؤولة عن الاستقرار على المنحدرات لذا يبدو من الأهمية بمكان تحديد درجة الحرارة العظمى لهذه الستارة.

وبالنظر إلى خطة الحكومة في الجمهورية العربية السورية في استخدام أسفلت جبل البشري في إكساء أقنية الري الثانوية في المنطقة الشرقية من سورية وحيث إن استقرار هذا الإكساء على المنحدرات يرتبط بالظروف الحرارية لمنطقة المشروع لذا فإن تقييم الاستقرار يتم من خلال تجارب القص أو تجارب حقلية مشابهة (Schoenion Haug 1992) ضمن ظروف حرارية مشابهة لتلك السائدة في منطقة المشروع؛ لذلك لا بد أولاً من تحديد درجة الحرارة العظمى التي يجب إجراء تجارب القص ضمن تأثيرها.

3- معادلة موازنة الطاقة لستارة أسفلتية سطحية :

تصف معادلة موازنة الطاقة مجموع تيارات الطاقة الواردة إلى الستارة أو الصادرة عنها ، واستناداً لقانون انحفاظ الطاقة يكون مجموع هذه التيارات مساوياً الصفر ، ويمكن التعبير عن معادلة موازنة الطاقة لسطح الستارة الأسفلتية بالمعادلة :

$$(1) \quad Q+B+K+V=0 \quad W/m^2$$

حيث :

Q - الموازنة الإشعاعية وتشمل الإشعاعات الشمسية المباشرة الواردة إلى السطح I والمنعكسة

عنه A، والإشعاعات بالإصدار (المنبعثة) E، والمقابلة أو العائدة G_{WV} ، والمنعكسة D.

B - تيار الطاقة الأرضي النافذ إلى الأعماق أو الصادر عنها .

K - تيارات التبادل الحراري بين سطح الستارة والهواء .

V - تيارات الطاقة المستهلكة بالتبخير .

أن وحدات الحدود أعلاه هي W/m^2 وسنحاول لاحقاً التعرف على تقدير الحدود السابقة.

4- التوزيع الحراري حسب العمق ، خواص مادة الستارة :

سيتم حساب تغيرات درجة الحرارة في أعماق ستارة ضمن تأثير ظروف مناخية تؤدي إلى درجة حرارة قصوى.

بإهمال تأثيرات الأطراف فإن المسألة المطروحة تعود إلى مسألة (انتشار) انتقال حراري مستقر في جسم أحادي البعد غير محدد من طرف واحد (العمق). إن تغير درجة الحرارة (T) مع العمق (X) في مقطع عمودي على السطح حسب الزمن (t) تعطى حسب علاقة فورييه (Fourier) التالية :

$$(2) \quad \frac{dT}{dt} = a \frac{d^2T}{dX^2}$$

$$(3) \quad a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}$$

a - معامل الانتقال الحراري (m^2/s) أو الانتشارية الحرارية .

λ - معامل التوصيل الحراري (W/m.k)

c - الحرارة النوعية (Ws/kg.k)

ρ - الكثافة (kg/m^3)

الجدول التالي يوضح المواصفات الحرارية لبعض الطبقات المستخدمة في التكتيم حسب (Thieme 1984):

جدول (١) خواص بعض المواد المستخدمة في التكتيم

المادة	ρ (Kg/m ³)	c (Ws/kg.k)	λ W/m.k	a m ² /s
خرسانة أسفلتية مائية	2230	930	1.165	$56.17 \cdot 10^{-8}$
طبقة صرف	2310	942	1.270	$58.34 \cdot 10^{-8}$
رمل / حصي	1990	1206	2.488	$131.12 \cdot 10^{-8}$

تحديد التوزيع الحراري في الطبقات الأسفلتية السطحية المستخدمة في تكتيم المنشآت الهيدروليكية...

لحل المعادلة التفاضلية السابقة يتم تحويلها إلى الشكل التالي :-

$$(4) \quad \frac{\Delta T}{\Delta t} = a \frac{\Delta^2 T}{\Delta X^2}$$

لكل نقطة عند عمق ما (X) نحصل على معادلة، المجاهيل فيها هي درجة حرارة النقطة ذاتها والنقاط المجاورة، ونحصل على درجات الحرارة عند النقاط المختلفة بالحل المشترك لمجموعة المعادلات لكل لحظة زمنية، مع الملاحظة أن درجات الحرارة عند السطح وعند نهاية قطاع الحساب السفلي كذلك درجات الحرارة على كامل العمق عند اللحظة البدائية هي شروط محيطية يجب صياغتها أولاً، انظر الشكل (2) . عند حساب التوزيع الحراري تزداد الدقة بنقصان قيمة (ΔX). وبنقصان قيمة (ΔX) يزداد عدد المعادلات التي يجب حلها معاً. درس الباحث التوزيع الحراري عند عدة قيم (ΔX) فإذا كان العمق المدروس 60 cm وكانت ΔX = 3cm هذا يعني حل 20 معادلة حلاً مشتركاً، وعندما ΔX = 1cm يرتفع عدد المعادلات التي يجب حلها حلاً مشتركاً إلى 60 معادلة. يمكن تحويل المعادلة السابقة إلى الشكل التالي :

$$(5) \quad \frac{T_{n,K+1} - T_{n,K}}{\Delta t} = \frac{a}{2} \left[\frac{T_{n+1,K+1} - 2T_{n,K+1} + T_{n-1,K+1}}{\Delta X^2} + \frac{T_{n+1,K} - 2T_{n,K} + T_{n-1,K}}{\Delta X^2} \right]$$

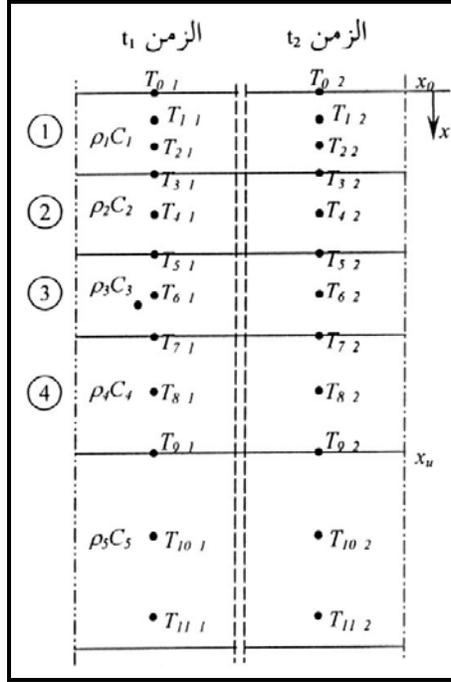
حيث :

T_{n,k} - درجة الحرارة عند النقطة n على المحور X واللحظة k على المحور t.

Δt - خطوة الزمن .

ΔX - خطوة المسافة (العمق) انظر الشكل (1) .

a - الانتشارية الحرارية للمادة



الشكل (1) توضيح لتحديد قيم درجات الحرارة المجهولة عند أعماق مختلفة وعند لحظات زمنية مختلفة

5- حساب حدود معادلة موازنة الطاقة

1-5- التوازن الإشعاعي (Q) Radiation balance

5 - 1 - 1 الإشعاع الشمسي المباشر (I) (Direct Radiation) ذو الأمواج القصيرة:

تحسب شدة الإشعاع الشمسي المباشر ذي الأمواج القصيرة على سطح عمودي على الأشعة بالعلاقة (Thieme 1984):

$$(6) \quad \log_{\perp} = \log I_0 - \frac{T}{\rho}$$

حيث:

I_0 - الثابت الشمسي (Solar constant) وهو يساوي $0.135 \pm 0.004 \text{ w/cm}^2$

تحديد التوزيع الحراري في الطبقات الأسفلتية السطحية المستخدمة في تكتيم المنشآت الهيدروليكية...

ρ - معامل يحدد حسب كتلة الهواء التي تخترقها أشعة الشمس (m_l) وهو أحد بارامترات معامل التعكير للجو (T) (Feussner , Dubois 1930) ويحسب بالعلاقة :

$$(7) \quad \rho = \left(20.5 + \frac{h}{20} \right) \left(\frac{\sinh}{P/P_0} \right)^{0.7 + \frac{h}{300}}$$

$$(8) \quad m_l = \frac{P}{P_0} / \sinh$$

P - الضغط الجوي عند الموقع المدروس .

P_0 - الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر .

h - زاوية الارتفاع الشمسي وهي الزاوية المحصورة بين المستوى الأفقي عند هذا المكان والخط الواصل بين المشاهد والشمس وتعطى بالعلاقة (عمار 1989):

$$(9) \quad h = \sin^{-1} [\cos(\delta) \cos(\varphi) \cos(t) + \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta)]$$

حيث :

φ - زاوية العرض (Latitude angle)

δ - زاوية انحراف الشمس (Declination angle)

t - زاوية الوقت (Hour angle) وهي عدد الساعات بين الظهر الشمسي والوقت مضروباً بـ 15° لكل ساعة .

كما تؤخذ ρ من الجدول التالي حسب قيمة m_l :

m_l	0.5	1	2	3	4	6	8	10
ρ	46	23.65	12.86	9.36	7.52	5.72	4.8	4.19

إن T تعبر عن معامل تعكير الجو والذي يتحدد حسب محتوى الهواء من بخار الماء والشوائب وثاني أكسيد الكربون، ويكون في المدن والمناطق الأهلة أعلى منه في المناطق الداخلية، وفي المناطق المرتفعة عن سطح البحر أقل من المناطق الساحلية.

أما شدة الإشعاع الشمسي على سطح مائل بزاوية (α) مع الأفق فيحسب من العلاقة التالية (عمار 1989).

$$(10) \quad I_\alpha = S^0 I_\perp$$

S^0 - العامل الهندسي ويحدد حسب العلاقة التالية (Junghans 1969) :

$$- \sin \alpha \sin \delta \cos \varphi \cos AF$$

{

$$(11) \quad S^0 = \begin{aligned} & + \sin \alpha \cos \delta \sin \varphi \cos AF \cos t \\ & + \sin \alpha \cos \delta \sin AF \sin t \\ & + \cos \alpha \sin \delta \sin \varphi \\ & + \cos \alpha \cos \delta \cos \varphi \cos t \end{aligned}$$

تتراوح قيمة S^0 بين صفر وواحد .
تمثل AF هنا زاوية السم (Azimuth) وهي محصورة بين المستوى الأفقي الذي يحدد اتجاه الجنوب ومسقط الخط الواصل بين الأرض والشمس على المسقط الأفقي.
لحساب تغيرات S^0 اليومية يتم فرض أن زاوية الانحراف الشمسي δ ثابتة بين غروب وشروق الشمس .

من المعادلة (11) يمكن تحديد الزمن t الذي تبلغ عنده S^0 قيمة عظمى حسب الصيغة $\frac{dS^0}{dt} = 0$ وبذلك يكون :

$$(12) \quad \tan t_{\text{ext.}} = \frac{\sin \alpha \sin AF}{\cos \alpha \cos \varphi + \sin \alpha \sin \varphi \cos AF}$$

2-1-5- الإشعاع الشمسي المنتشر (D) أو السماوي (Diffuse Radiation)

يحسب الإشعاع الشمسي المنتشر على سطح أفقي بالعلاقة التالية (Thieme 1984) :

$$(13) \quad D_H = \frac{1}{3} (I_0 - I_{\perp}) \sin h$$

والإشعاعات المنتشرة على سطح مائل من العلاقة (Thieme 1984) :

$$(14) \quad D\alpha = D_H \cos^2 \left(\frac{\alpha}{2} \right) + r_u G_H \sin^2 \left(\frac{\alpha}{2} \right)$$

حيث :

r_u - عامل يصف ما يصل إلى السطح المدرس من إشعاعات منعكسة من المنطقة المحيطة.

G_H - هو مجموع الإشعاعات المباشرة والمنتشرة على سطح أفقي .

$$G_H = D_H + I_H \quad , \quad I_H = I_{\perp} \sin h$$

يسمى مجموع الإشعاعات الشمسية المباشرة والمنتشرة بالإشعاعات الكلية (العامة) (Global Radiation) .

3-1-5- الإشعاعات المنعكسة (A) Albedo :

تحديد التوزيع الحراري في الطبقات الأسفلتية السطحية المستخدمة في تكتيم المنشآت الهيدروليكية...

عند ورود الأشعة الشمسية المباشرة والمنتشرة ذات الأمواج القصيرة إلى سطح الستارة فإن جزءاً منها ينعكس، وهذا الجزء يتعلق قيمته بنوع الستارة ونعومتها ويؤخذ كجزء من الإشعاعات الكلية.

فإذا فرضنا أن نسبة الأشعة المنعكسة r_0 فإننا نحدد الإشعاعات الكلية الفعالة الواردة على سطح مانل (G_α) بالعلاقة :

$$G_\alpha = (1 - r_0) (D_\alpha + I_\alpha)$$

5-1-4- الإشعاعات بالإصدار – الإشعاعات المقابلة (الجوية غير المباشرة)

بالنظر لما شاهدناه من إشعاعات كلية ذات أمواج قصيرة فإن الستارة الأسفلتية ترسل إشعاعات ذات أمواج طويلة إلى الجو، ويساهم جزء من هذه الإشعاعات (بالإضافة إلى الإشعاعات الشمسية الممتصة ذات الأمواج القصيرة) في تسخين الغلاف الجوي والذي بدوره يصدر إشعاعاً إلى المحيط، بحيث إن جزءاً من هذا الإشعاع يصل إلى سطح الستارة ويسمى هذا الجزء بالإشعاعات المقابلة أو الراجعة، ويسمى أيضاً الإشعاعات الجوية غير المباشرة .

يسمى الفرق بين الإشعاعات بالإصدار والإشعاعات المقابلة بالإصدار الفعال ذي الأمواج الطويلة والتي تحسب استناداً إلى علاقة (Stephan – Bolzman) التالية :

$$E-G_w = \varphi_{1,2} [\varepsilon \cdot C_s (T_0)^4 - C_s (T_L)^4 (a - b \cdot 10^{-ce}) (1 + kw^{2.5})] \quad (15)$$

حيث :

$$\varphi_{1,2} = \cos^2 \left(\frac{\alpha}{2} \right)$$

C_s - العدد الإشعاعي للجسم الأسود (ثابت بولترمان)

$$(C = 5.77 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ k}^4)$$

T_L - درجة حرارة الهواء المطلق بالكلفين

T_0 - درجة حرارة الستارة عند السطح بالكلفين

e - ضغط بخار الماء (mbar)

ε - انبعاثية السطح وتبلغ $\varepsilon = 1$ للجسم الأسود

a, b, c - ثوابت تتعلق بالمنطقة

k - عامل يتبع نوع الغيوم

w - درجة التغييم وهي بين (0 و 1)، والمعادلة السابقة تأخذ بالاعتبار وجود الغيوم ، حيث إنه

وفي حالة وجود الغيوم يزداد الحد (G_w) .

5-2- تيارات الطاقة بالتبادل (K) :

لحساب تيارات الطاقة بالتبادل الحراري بين الستارة والهواء المحيط تستخدم العلاقة (Bhalchander ,B; Robert M.D 1982):

$$K = \alpha (T_0 - T_L)$$

α - معامل الانتقال الحراري بالتبادل $W/m^2.k$

عند الانتقال الحراري بالتبادل (convection) نميز بين الانتقال الطبيعي حيث تكون سرعة الهواء منخفضة والانتقال القسري (Forced convection) عند سرع الهواء العالية ، وفي إطار هذا البحث فان اهتمامنا يتوجه نحو الانتقال الطبيعي وللحصول على درجة حرارة عظمى لسطح الستارة فإن الظروف المواتية هي سرع رياح منخفضة أو رياح ساكنة.
لهذه الحالة يحسب معامل الانتقال الحراري بحالة كون السطح المدروس قائماً بالعلاقة التالية، حسب (VDI – 1977):

$$(17) \quad \alpha_{k,f,s} = 0.129 \lambda_L \left[\frac{g \cdot \beta (T_0 - T_L)}{v_L \cdot \alpha_L} \right]^{1/3}$$

حيث :

g - تسارع الجاذبية الأرضية .

β - معامل التمدد الحجمي للهواء .

v_L - اللزوجة الكينماتيكية للهواء .

α_L - الناقلية الحرارية للهواء .

λ_L - الموصلية الحرارية للهواء .

تؤخذ مواصفات الهواء الحرارية من (VDI – 1977) وتحسب بالنسبة لدرجة الحرارة الوسطية بين حرارة الهواء T_L وحرارة سطح الستارة T_0 أي :

$$(18) \quad T_m = \frac{T_0 + T_L}{2}$$

وبالنسبة للسطح الأفقي يحسب معامل الانتقال الحراري بالعلاقة :

$$(19) \quad \alpha_{k,f,w} = \frac{0.074 \lambda_L Re^{0.8} Pr}{L [1 + 2.443 Re^{-0.1} (Pr^{2/3} - 1)]}$$

Re - عدد رينولدز .

$$(20) \quad Re = \frac{\sqrt{L^3 g \cdot \beta \cdot (T_0 - T_L)}}{2 v_L}$$

$$(Prandtl -No.) p_r = \frac{v_L}{\alpha_L}$$

L- الطول النسبي ويؤخذ مقداره مساوياً للمسافة فوق سطح الماء (Free board). أما معامل الانتقال الحراري لسطح مائل بزاوية (α) فإنه يحسب استناداً إلى (Groeber 1963)؛ حيث أثبتت التجارب أن معامل الانتقال الحراري لسطح مائل بزاوية 45° يساوي معامل الانتقال الحراري لسطح شاقولي (قائم)، وللمجال بين صفر و45 درجة يؤخذ خطياً بين معامل الانتقال الحراري للسطح الأفقي ومعامل الانتقال الحراري للسطح القائم.

3-5- حساب تيار الطاقة الأرضي (B) :

إنّ التوزيع الحراري لدرجات الحرارة داخل الستارة (أو جسم يستند إلى سطح الأرض) ولسطح ذي امتداد جانبي لانتهائي يحدد باستخدام معادلة الانتشار الحراري السابقة لفورييه، وبعد تحديد التوزيع الحراري في الأعماق المختلفة يمكن بسهولة تحديد تيار الطاقة الأرضية (B). بالنظر للشكل (2) فإذا علمت درجات الحرارة في اللحظة (t_1) عند عدة أعماق فإننا يمكن أن نحسب درجات الحرارة عند الأعماق أعلاه عند اللحظة (t_2) باستخدام معادلة فورييه كما ذكر سابقاً، وبعد حساب درجات الحرارة عند الأعماق المختلفة يمكن بعدها حساب التغير في المخزون الحراري بين t_1, t_2 أو ما سنسميه تيار الطاقة الأرضي باستخدام العلاقة (Boellinger 1980).

$$B = \frac{(T_{02} - T_{01}) + (T_{12} - T_{11})}{2} \rho_1 C_1 (X_1 - X_0) + \dots \quad (\text{الطبقة الأولى})$$

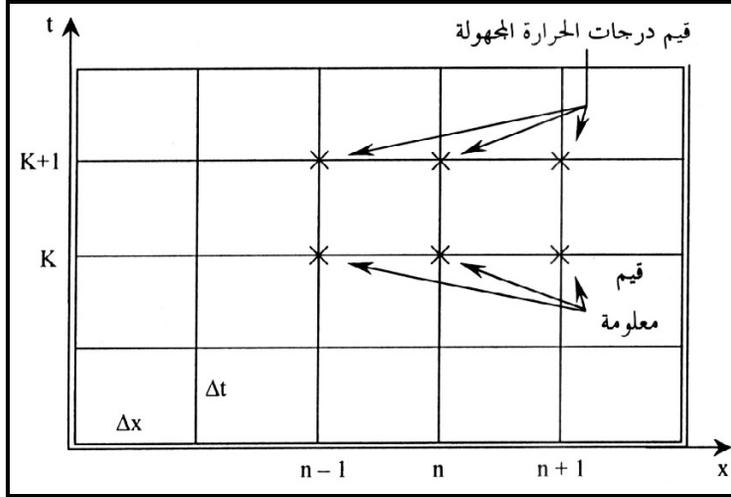
$$+ \frac{(T_{32} - T_{31}) + (T_{42} - T_{41})}{2} \rho_2 C_2 (X_4 - X_3) + \dots \quad (\text{الطبقة الثانية})$$

$$+ \frac{(T_{52} - T_{51}) + (T_{62} - T_{61})}{2} \rho_3 C_3 (X_6 - X_5) + \dots \quad (\text{الطبقة الثالثة})$$

$$\frac{(T_{72} - T_{71}) + (T_{82} - T_{81})}{2} \rho_4 C_4 (X_8 - X_7) + \dots \quad (\text{الطبقة الرابعة})$$

$$(21) \quad + \lambda \frac{dT}{dX} \Big|_{X_{92}}$$

الحد الأخير يأخذ بالاعتبار تغيرات الطاقة الأرضية تحت (X_{ii})، فإذا حددت X_{ii} بحيث تكون تغيرات درجة الحرارة طفيفة فإن تيار الطاقة الناتج سيكون مهملاً، إذ إنّ تغيرات درجة الحرارة اليومية أو الساعية عند أعماق كافية تكون مهملة.



الشكل (2) استنتاج تيار الطاقة الأرضي (B) الخط المزدوج يوضح الشروط المحيطية

6- نموذج رياضي - فيزيائي لحساب التوزيع الحراري في ستارة أسفلتية سطحية:

لتحديد معادلة موازنة الطاقة لستارة أسفلتية سطحية متوضعة على منحدر (سفح أمامي لسد أو خزان أرضي أو سفوح الأقبية...) فإننا نحتاج لتقدير سبعة تيارات طاقة هي :

1- الإشعاعات الشمسية المباشرة ذات الأمواج القصيرة كإشعاعات واردة إلى السطح (I)

2- الإشعاعات السماوية المنتشرة ذات الأمواج القصيرة كإشعاعات واردة (D)؛ والتي تشكل مع الإشعاعات المباشرة الإشعاعات الكلية : $G=I+D$

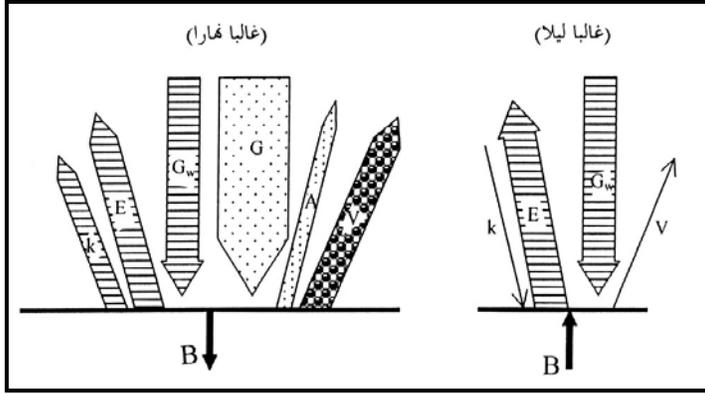
3- الإشعاعات المنعكسة من سطح الستارة (A) كإشعاعات مرتدة أو مبعثرة عن الستارة.

4- الإشعاعات المنبعثة من الستارة بالإصدار في مجال الأمواج الطويلة (E)

5- الإشعاعات الواردة إلى الستارة من الغلاف الجوي والمنطقة المحيطة؛ والتي تسمى الإشعاعات الراجعة أو المقابلة (G_W)؛ وهي ذات أمواج طويلة .

6- التبادل الحراري بين الستارة والهواء المحيط بالتلامس (K) وهذا يكون من الستارة إلى الهواء أو العكس .

7- تيار الطاقة الأرضي النافذ إلى باطن الأرض (غالباً نهراً) والصادر عن الأرض (غالباً ليلاً).



الشكل (3) يوضح معادلة موازنة الطاقة لسطح سنارة أسفلتية سطحية

يبين الشكل (3) موازنة الطاقة لسطح السنارة الأسفلتية، وقد أهمل التبخر عند تحديد درجة الحرارة العظمى لأن وجوده يخفف من إمكانية الوصول إلى درجة عظمى. بذلك تكتب معادلة موازنة الطاقة بشكل تفصيلي كما يلي:

$$(22) \quad [I + D - A - E + G_w \pm K] \Delta t \pm B = 0$$

حيث:

Δt - الفترة الزمنية للحساب.

لتقدير درجة حرارة السطح والأعماق باستخدام المعادلة السابقة فإن تيارات الطاقة السابقة قسمها الباحث إلى مجموعتين:

1 - المجموعة الأولى والمستقلة عن درجة حرارة السطح (T_0)، وتشمل هذه المجموعة G_w, A, D, I

2 - المجموعة الثانية والمرتبطة بدرجة حرارة السطح (T_0)، وتشمل هذه المجموعة B, K, E

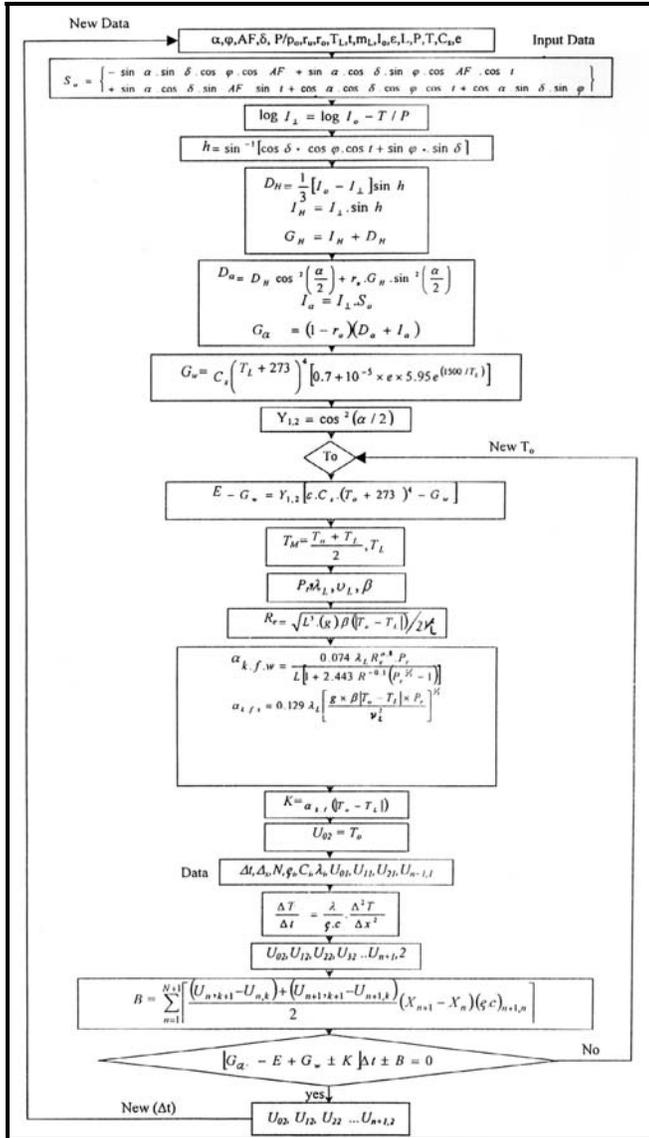
وحل الباحث المعادلة أعلاه لتحديد (T_0) ودرجات الحرارة عند عدة أعماق، عبر الخطوات التالية:

1- حساب حدود المعادلة (22) المستقلة عن T_0

2- تقدير التوزيع الحراري في الأعماق والسطح عند بداية الحساب (الزمن صفر) أو في بداية فترة الحساب الأولى وهذه هي من الشروط المحيطة لحل معادلة فورييه للانتشار الحراري وكذلك تقدير تغيرات درجة الحرارة عند اعماق نقطة حساب (X_{ii})، وإذا كانت هذه التغيرات طفيفة يمكن عندها اعتبار هذه القيمة ثابتة (القيمة المتوسطة) لفترة الحساب، نضيف هنا إلى أن الخطأ في تقدير التوزيع الحراري أعلاه يتلاشى عند استمرار الحساب (Boellinger 1980)

3- لحساب تيار الطاقة الأرضية (B) للفترة الزمنية الأولى (Δt) لا بد من حل معادلة فورييه (1) وهذا يتطلب بالإضافة إلى ما تم ذكره في الخطوة (2) فرض درجة حرارة السطح (T_0)

- في نهاية الفترة، بهذا تكون الشروط المحيطية لحل معادلة فورييه قد أصبحت معلومة.
- 4- بعد فرض قيمة (T_0) عند نهاية (Δt) يمكن بهذا حساب الحدود المرتبطة بـ (T_0)
- 5- بهذا تكون المجموعتان أعلاه من الحدود أصبحت قابلة للحساب والتقدير ، فإذا كانت نتيجة الحساب والتبديل بالمعادلة (22) صفراً (أي مجموع تيارات الطاقة الواردة إلى الستارة والصادرة عنها صفراً) وهذا ما يعبر عنه قانون انخفاض الطاقة ، فإن قيمة (T_0) المفروضة بالخطوة 3 وكذلك التوزيع الحراري في نهاية (Δt) والمحسوب بالاستناد لقيمة (T_0) المفروضة صحيحة، أما إذا كانت نتيجة حساب المعادلة (22) ليست صفراً فلا بد من فرض قيمة جديدة (T_0) .
- تكون قيمة (T_0) الجديدة المفروضة أكبر من سابقتها المفروضة إذا كانت نتيجة الحساب بالمعادلة (22) موجبة، والعكس إذا كانت سالبة .
- 6- بعد حساب (T_0) الصحيحة يكون التوزيع الحراري في نهاية (Δt) الأولى أيضاً صحيحاً، وبهذا ننقل بالحساب إلى فترة زمنية ثانية $(2\Delta t)$ ، ولهذه الخطوة تكون الشروط المحيطية لحل معادلة فورييه كما يلي :
- 1- التوزيع الحراري في بداية الخطوة الثانية هو ذاته المحسوب للخطوة السابقة التي من أجلها كانت المعادلة (22) مساوية للصفر .
- 2- قيمة درجة الحرارة عند أعماق نقطة غالباً ما تقترض ثابتة أو متغيرة تغيراً طفيفاً لأن تغيراتها خلال فترة الحساب بسيطة .
- 3- أما قيمة (T_0) لنهاية الفترة الزمنية الثانية $(2\Delta t)$ فيتم فرضها، والمناقشة تتم حسبما هو وارد أعلاه.
- 7- يتم حساب قيم (T_0) خلال كامل فترة الحساب وكذلك تغيرات درجة الحرارة خلال الأعماق : إن حل المعادلة أعلاه والذي يتضمن حل معادلة فورييه التفاضلية تم بواسطة برنامج خاص طوره الباحث لهذه الغاية . الشكل (4) يوضح مخطط التدفق النهجي لهذا البرنامج



الشكل (4)

8- تحديد درجة الحرارة العظمى وكذلك التوزيع الحراري في ستارة أسفلتية سطحية ضمن تأثير الظروف المناخية في الجمهورية العربية السورية:

بالنظر إلى هدف البحث أعلاه وهو تحديد درجة الحرارة العظمى التي يمكن الوصول إليها في سطح ستارة أسفلتية سطحية، وكذلك تغيرات درجة الحرارة في أعماق هذه الستارة المتوضعة على سفوح الأقبية باستخدام الأسفلت الطبيعي في جبل البشري؛ فقد تمت الدراسة على موقعين في الجمهورية العربية السورية، وهما: حمص والرقعة؛ حيث يتوقع تنفيذ هذا النوع من الإكساء فيهما .

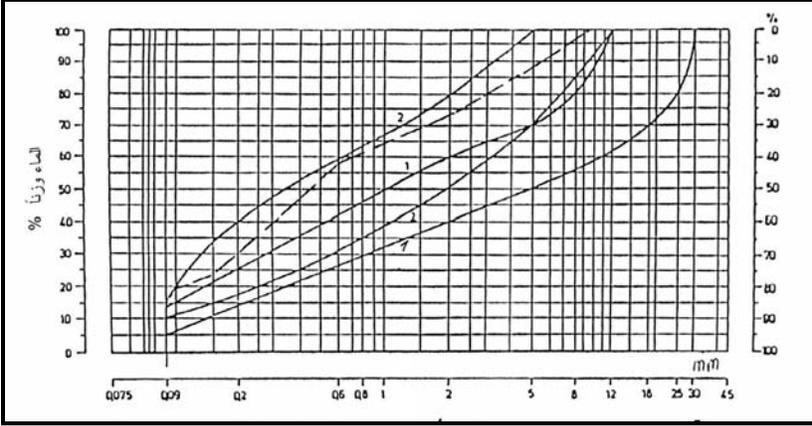
ويهدف اختبار النموذج والبرنامج المطور عنه فقد تمت مقارنة نتائج الحسابات باستخدام النموذج (المعادلة 22) مع قياسات فعلية أجريت في إحدى الساتر الأسفلتية السطحية لأحد السدود في ألمانيا وهو سد شومباخ (Thieme 1984)، وظهر نتيجة المقارنة تطابقاً جيداً بين قيم درجات الحرارة المحسوبة باستخدام النموذج عند سطح الستارة وفي الأعماق مع تلك المقاسة وكان الفارق الأعظمي لا يتجاوز 2%.

بنية الستارة الأسفلتية السطحية في موقع حمص وموقع الرقعة تتكون حسب (Asbeck 1968) من :

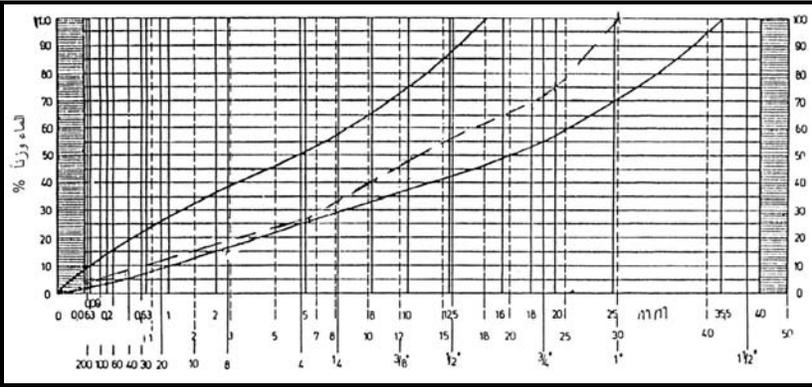
■ طبقة من الخرسانة الأسفلتية الكتيمة بسماكة 6cm. منحني التحليل الحبي لهذه الطبقة موضح على الشكل (5) والذي يقع ضمن حزمة التحليل الحبي التي ينصح بها لتكوين طبقات كتيمة (Wapro 4-02-1973) (Asbeck -1968) .

الخلطة لهذه الطبقة مشكلة من 40% مجبول أسفلت البشري الطبيعي (الذي يتكون من -16) (18% من أسفلت طبيعي و (82-84%) من رمل سيليسي حتى 2mm) بالإضافة إلى 3.5% من أسفلت المصافي (مصفاة بانياس) و 56.5% من حصويات متدرجة من منطقة حماة، وبعد الخلط بالنسب أعلاه نحصل على المنحني في الشكل (5).

تحديد التوزيع الحراري في الطبقات الأسفلتية السطحية المستخدمة في تكتيم المنشآت الهيدروليكية...



الشكل (5) يوضح منحنى التحليل الحبي للطبقة الأسفلتية الكتيمة (الخط المتقطع) يقع ضمن حزمة التحليل الحبي (2) التي ينصح بها لتكوين الطبقات الكتيمة. أما حزمة التحليل الحبي (1) فينصح بها لتكوين الطبقات الأسفلتية النفوذة.

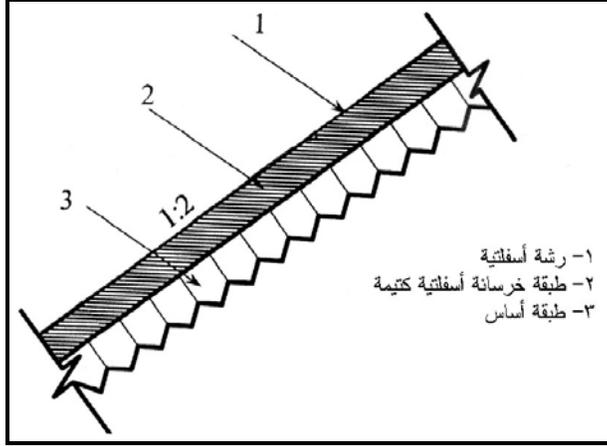


الشكل (6) : منحنى التحليل الحبي لطبقة الأساس (خط متقطع) يقع ضمن حزمة التحليل الحبي التي ينصح بها لطبقة الأساس (Wapro 4-02 1973) أو الصريف.

إن نسبة الأسفلت الكلية من الخلطة هي بحدود (10 - 10.5) %، كما أن نسبة الأسفلت الطبيعي إلى أسفلت المصافي هي كنسبة 1:2 تقريباً وفي الخلطة تكون نسبة المواد الناعمة (أقل من 90

ميكروناً) إلى نسبة الأسفلت الكلية 1.5 : 1.

- طبقة أساس بسماكة 15cm منحني التحليل الحبي لها موضح على الشكل (6) ونسبة الأسفلت في هذه الطبقة 2.5% (أسفلت مصافي).
- كما يوضع على السطح العلوي للستارة رشة أسفلت مصافي + فلر (Filler) بنسبة 40% أسفلت مصافي + 60% فلر بسماكة حوالي 1mm . الشكل (7) يوضح بنية الستارة.



الشكل (7) بنية الستارة الأسفلتية السطحية

سنبدأ الآن بالتفصيل تحديد درجة الحرارة العظمى في موقع حمص حيث العرض الجغرافي لهذه المدينة 34.8 شمالاً، وبعد التعرف على بنية الستارة يمكن تحديد الظروف المناخية الملائمة للوصول إلى ظروف درجة الحرارة العظمى.

للحصول على درجة حرارة عظمى للستارة السطحية نبحث عن درجة الحرارة العظمى للهواء خلال فترة القياس المتوافرة والتي كانت من عام 1953-1997؛ حيث بلغت درجة الحرارة العظمى المسجلة خلال هذه الفترة 42 C° والتي صادفت في 14/8/1985، ولهذا اليوم تم تسجيل درجات الحرارة الساعية كافة، وأخذت أيضاً درجة حرارة اليوم الذي سبقه 13/8/1985 انظر الشكل (8) حيث يوضح الشكل (8) تغيرات درجة الحرارة خلال الأيام 13/8/1985 و 14/8/1985 وبلغت قيمة P/P₀ خلال هذه الفترة 1.

أما معامل تعكير الجو (T) فيؤخذ حسب (Pezold 1986) للمناطق غير المأهولة والجافة الدافئة (3)، أما معامل عكس الستارة فيبلغ للستائر الأسفلتية (Pezold 1986) $r_0 = 0.05$ ومعامل عكس المنطقة المحيطة إذا كانت مزروعة $r_0 = 0.1$ (Dirm hirm 1953)، وباعتبار أن لون الستارة أسود فتؤخذ قيمة الانبعاثية ($\epsilon = 1$).

أما اتجاه الستارة فهو نحو الجنوب وبذلك يصل إلى الستارة أكبر كمية ممكنة من الإشعاع الشمسي، ومن ثم أعلى درجة حرارة، ولحساب الإشعاعات المقابلة تستخدم المعادلة التالية التي تناسب المناطق الجافة

: (Idso.sh.B - 1985)

$$G_w = C_s (T_L)^4 (0.7 + 5.95 \times 10^{-5} \cdot e \cdot \exp 1500 T_L^{-1})$$

حيث :

(e) ضغط بخار الماء في الهواء (mbar) والذي بلغ لليوم الصيفي المشمس (10 mbar).

وخلال أيام الصيف المشمس فإنه بسبب انخفاض سرعة الريح يمكن اعتبار التبادل الحراري طبيعياً وليس قسرياً، ويمكن استخدام المعادلات (17 و 19) ومن أجل حسابات الطاقة الأرضية (B) فإن قيم Δt و ΔX أخذت كما يلي :

$$\Delta X = 3 \text{ cm}, \Delta t = 30 \text{ min}$$

وهذه القيم أعطت أفضل النتائج عند اختيار النموذج مع القياسات الفعلية التي أخذت في سد شومباخ. كما أن اختيار Δt و ΔX بهذه القيم يحقق الشرط $\alpha(\Delta t/\Delta x) \leq 1/2$ حسب (عمار 1989)، وهذا يعني أن أي خطأ في القيم الابتدائية يؤول تأثيره إلى الصفر عندما يؤول المتغير t إلى قيم كبيرة، لذلك تم بدء الحساب دوماً في يوم يسبق يوم الحساب بهدف زيادة t . وتم فرض التوزيع الحراري عند بداية الحساب (اللحظة صفر) كقيم متوسطة لشهر آب حسب (Isdo 1985). انظر الشكل (8) حيث تكون هذه القيمة عند بدء الحساب (الساعة الرابعة صباحاً) متقاربه عند كل الأعماق وبدأ الحساب يوم 13/8/1985 واستمر ليشم 14/8/1985.

بلغت درجة الحرارة العظمى عند السطح (73°C) وتصادف هذه الدرجة عند الساعة الرابعة عشرة، كما بلغت درجة الحرارة العظمى عند عمق 2 cm (68.3°C) وتصادف بين الساعة الرابعة عشرة والخامسة عشرة في حين بلغت درجة الحرارة العظمى عند عمق 6 cm حوالي (60.6°C) وتصادف في الساعة الخامسة عشرة. بهذا يبلغ التدرج الحراري الأعظمي حوالي 2 درجة لكل 1cm.

الجدول (2) يوضح قيم درجات الحرارة عند الأعماق 0cm, 2cm, 6cm.

أما في منطقة الرقة فقد أجريت دراسة مشابهة لتلك التي أجريت في حمص وتم الحصول على أعلى درجة حرارة للهواء خلال فترة التسجيل السابقة وبلغت (44°C)، يوضح الشكل (9) تغيرات درجة حرارة الهواء لليوم الذي حصلت فيه أعظم درجة واليوم الذي يسبقه، أما بنية الستارة، وخواص التوصيل الحراري لها، وميول الأفتنية ومعامل تعكر الجو وقيم Δt , Δx وكذلك قيم r_o , r_{II} و P/P_o فهي مشابهة لموقع حمص، أما العرض الجغرافي فهو حوالي 35° شمالاً واتجاه الستارة نحو الجنوب.

بلغت درجة الحرارة العظمى في الرقة (75°C) عند السطح. الشكل (9) يوضح تغيرات درجة الحرارة عند السطح وعند العمق 2 cm, 6 cm.

من ذلك نستنتج أنه من أجل تقييم استقرار الستائر الأسفلتية السطحية المستخدمة في إكساء أفتنية الري في ظروف الرقة وحمص لا بد من إجراء تجارب في ظروف حرارية 75°C و 73°C على التوالي.

نتائج وتوصيات

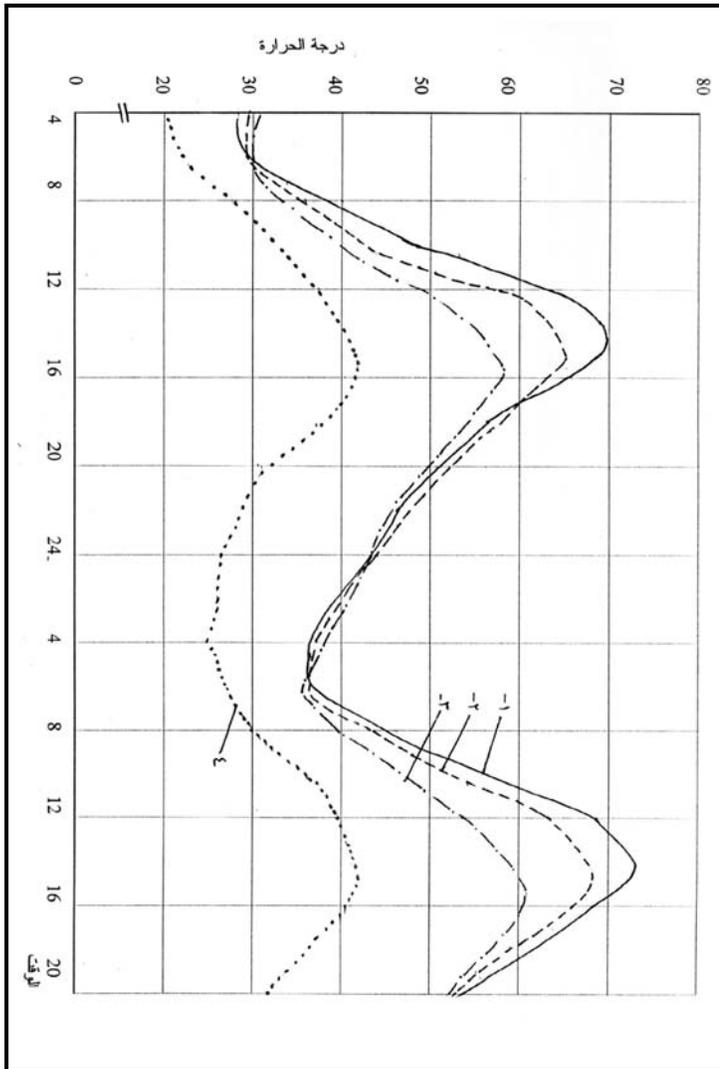
من البحث السابق وباستخدام البرنامج المطور من قبل الباحث وبالنظر للأشكال 8 و 9 يمكننا استنتاج ما يلي :

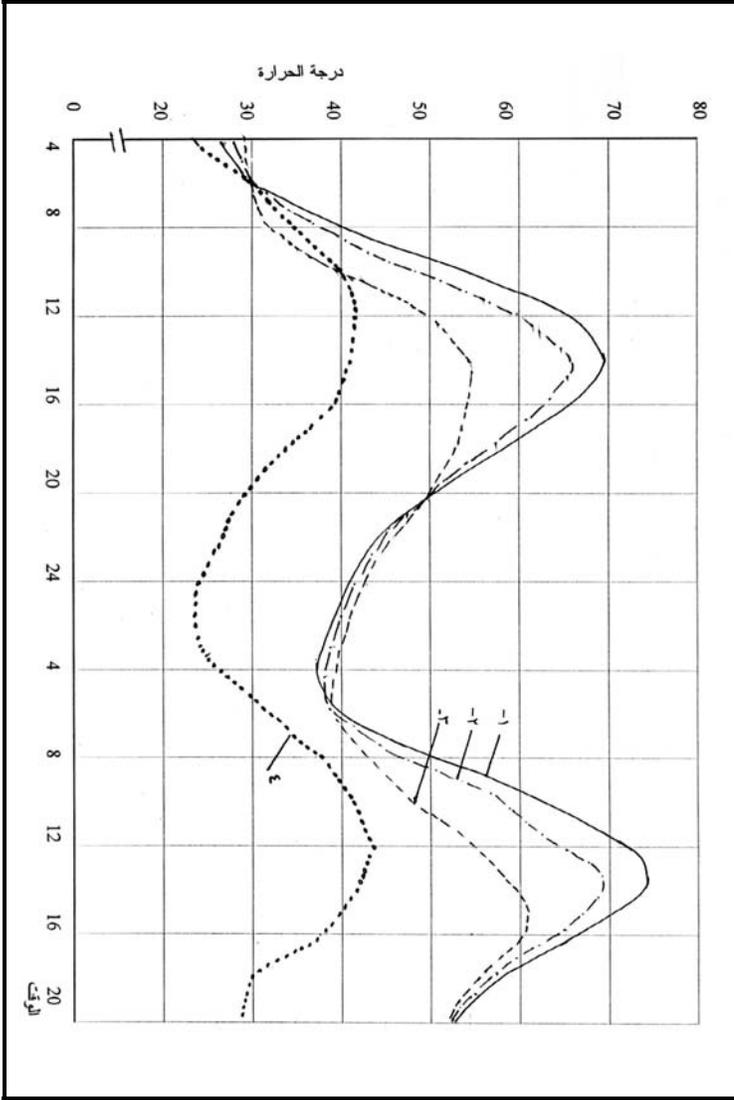
- تصل أعلى قيمة للإشعاعات الشمسية إلى سطح الستارة في يوم صيفي مشمس عندما يكون اتجاه الستارة نحو الجنوب ($A_F=0$)، وأقلها عندما يكون اتجاه الستارة نحو الشمال ($A_F=180$).
- يرتبط التوزيع الحراري في الستارة الأسفلتية أولاً بشدة الإشعاع الشمسي، وثانياً بدرجة حرارة الهواء.
- ليوم صيفي مشمس فإن مجال تغير درجات الحرارة يكون أقل في النقاط الأعمق وأكبر في النقاط الأقرب للسطح.
- تصادف درجة الحرارة العظمى عند السطح حوالي الرابعة عشرة بعد الظهر في حين تكون درجة الحرارة العظمى عند النقاط الأعمق متأخرة.
- تكون درجة الحرارة عند سطح ستارة أسفلتية سطحية على وجه التقريب أعلى بحوالي 30 C° من درجة حرارة الهواء، وذلك ليوم صيفي مشمس.
- في يوم صيفي مشمس وفي ساعات ما قبل الظهر ترتفع درجات الحرارة في الجزء العلوي من الستارة، وفي ساعات ما بعد الظهر تنخفض درجات الحرارة.
- إن زيادة في معامل تعكر الجو بمقدار واحد يخفض درجة حرارة السطح بمقدار 2.5 درجة تقريباً.
- إن تأثير ميل السطح في درجة الحرارة العظمى الممكن الوصول إليها وضمن الميول المتعارف عليها في الأفنية ضعيف لا يتجاوز 0.3 C° .
- إن النموذج المذكور أعلاه يمكن استخدامه في مجال :
 - ◀ هندسة الطرق لتحديد درجات الحرارة التي يمكن أن تصل إليها طبقات الرصف الأسفلتي الطرقي.
 - ◀ - في مجال العمارة يمكن تطوير النموذج أعلاه من أجل التأثير في درجات الحرارة التي تبلغها جدران الأبنية، ويمكن التأثير في ذلك من خلال تغير لون الواجهات، اتجاه البناء، مواد البناء.... الخ، ومن ثم يتم التأثير في الظروف الحرارية الداخلية للمنازل.

تحديد التوزيع الحراري في الطبقات الأسفلتية السطحية المستخدمة في تكتيم المنشآت الهيدروليكية...

الوزن حاجز ساعة 180/12	درجة حرارة الهبوط	درجة حرارة سطح التآكل	درجة الحرارة على عمق 2سم	درجة الحرارة على عمق 1سم	الوزن 180/14	درجة حرارة الهبوط	درجة حرارة سطح التآكل	درجة الحرارة على عمق 2سم	درجة الحرارة على عمق 1سم
4	188	2847	3810	3082	1	258	4041	4082	4081
5	202	2848	2888	2882	2	388	2501	4100	384
6	228	2844	2851	288	2	27	3842	2742	2788
7	25	2288	2289	2082	4	248	2822	2851	2882
8	277	4002	2712	2228	5	248	2522	2538	2888
9	210	288	2712	2702	6	280	2841	2858	2554
10	222	2221	4841	1220	7	280	4001	2877	274
11	278	588	5401	2558	8	288	4827	4217	2878
12	278	2422	5887	4879	9	254	5251	4827	4205
13	400	2782	2242	5229	10	274	5815	5222	4581
14	410	2812	2551	5602	11	281	2421	5878	4881
15	444	2812	2444	5755	12	280	2879	222	5275
16	407	2582	2252	5774	12	405	2187	2144	5702
17	288	2121	2044	5659	14	418	2287	2829	5842
18	270	5854	5844	5425	15	427	2154	2805	2058
19	244	5214	5225	5182	18	414	2827	2581	202
20	210	5084	5007	4812	17	272	2604	2282	5884
21	284	4872	487	4779	18	222	5880	5880	5690
22	281	4709	484	4584	18	224	5544	5522	5282
23	284	4425	4468	4415					
24	284	4217	4284	4252					

الجدول (2) يبين درجات الحرارة على سطح الستارة الأسفلتية وعند عدة أعماق (موقع حمص)





الشكل (9) تغيرات درجة الحرارة على سطح وأعماق ستارة أسفلتية سطحية (موقع الرقعة)
1- درجة الحرارة السطحية ، 2 درجة الحرارة على عمق 2 cm ، 3- درجة الحرارة على عمق 6 cm ، 4- درجة حرارة
اللبه اء

المراجع

- 1- Asbeck, w. f. (1968) Bitumen im wasserbau, Mainz/ Heidelberg, Bd.2.
 - 2- Bhalchander, B., Robert M. D. (1982): Heat transfer, second Edition.
 - 3- Boellinger, G. (1980): Temperaturberechnungen am bituminoesen strassen koerper, Dissertation A.THKarlsruhe .
 - 4- Dirmhirn, j. (1953): Einiger ueber die Reflexion der sonnen-und Himmelstrahlung an verschiedenen oberflächen (Albedo), wetter und klima, wien 5, 314.
 - 5- Feussner, k; Dubois, p. (1930) : Truebungsfaktor precipitable water, staub. Gerlands, Beitrage zur Geophysik , leipzig 27.
 - 6- Pezold, K; Bauen in Warmen Klimaten-bauklimatilsche Grundlagen-institut f. Aus- u. Weiterbildung, Leipzig-1986.
 - 7- Junghans, H. (1969): sonnenscheindauer und strahlungs empfang geneigter Ebenen, Berlin.
 - 8- Groeber, H; Erk, S. (1963): Die Grundgesetze der waermeuebergang, Berlin (west) Goettingen - Heidelberg .
 - 9- Idso. sh. B: On consulting Thermal Radiation from Claudeless Skies. Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser B. 32, S. 53-57 - 1985.
 - 10- Schoenian, E; Haug W. (1992): Asphalt in Hydraulic structures- Design and Application.
 - 11- Schoenian, E. (1994): Bitumen in Hydraulic engineering vol/3 - Shell international Petroleum company/ London.
 - 12- Thieme, J; Ludewig, M. (1984): untersuchungen zum Temperaturgang in bitumi noesen Aussenhautdichtungen an Talsperren u. speicherbecken .
 - 13- VDI- Waermeatlas, Blatt Ga.1(1977): Berechnungs-blaetter Fuer den waermeuebrgang, Duesseldorf
- ١٢ - عمار .م.م (1986) الطاقة - مصادرها واقتصادياتها - الطبعة الثانية - مكتبة النهضة المصرية - القاهرة