Evaporation التبخر

Evaporation : is the process in which a liquid changes to the gaseous state (vapor), below the boiling point through the transfere of heat energy

هو العملية التي يتحول فيها السائل الى الحالة الغازية (بخار) عند السطح الحر له قبل نقطة الغليان من خلال انتقال الطاقة الحرارية.

الطاقة الحرارية المطلقة من سائل بغية تحويله الى بخار تدعى (الحرارة الكامنة للتبخر) ويعبر عنها بالمعادلة :

$$L_h = 597.3 - 0.564\,T \quad \text{—— (1)}$$

L_h : الحرارة الكامنة (cal/gr) سعرة

T : درجة الحرارة (^oC)

يمكن تحويل $\frac{cal}{gr}$ الى $\frac{kJ}{gr}$ حيث $cal = 4.186\,J$

The rate of evaporation depends on :-

1- The vapor press. at the water and air above. تعتمد على الفرق بينهما

2- Air & water temperature زيادة درجة الحرارة ترفع من ضغط البخار المتبخر

3- wind speed يزداد مع زيادة سرعة الرياح

4- atmospheric press. انخفاض التبخر يصاحبه زيادة من ضغط البخار

5- Water quality (dissolved water) اذابة الاملاح يقلل الضغط البخاري ويقل التبخر تبعا لذلك

6- heat storage in water body. الخزين الحراري في الشتاء او الصيف يؤثر على التبخر.

★ ★

Evaporation Estimation تقدير التبخر

1- Measurement by evaporimeter اجهزة القياس

2- Empirical evaporation equations
- Meyer
- Rohwer
- Dalton

3- Analytical methods
- water-budget الموازنة المائية
- Energy-balance method موازنة الطاقة
- Mass-transfer method انتقال الكتلة

1- Evaporimeters (Pan evaporation)

هو عبارة عن حوض معدني له قياس معين يرمز على قاعدة خشبية ومغطى بشبكة معدنية حيث يعبأ هذا الحوض بالماء حيث يتم حساب نقصان حجم الماء فيه لفترة زمنية معينة

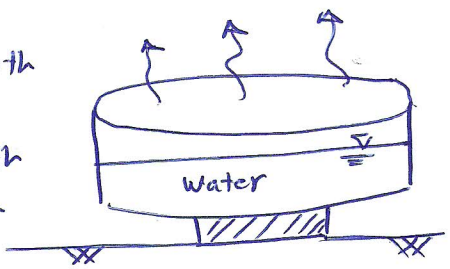
pan surface area = πr^2

water volume in pan = area x water depth

$$E_{pan} = \frac{d_i - d_f}{time}$$

d_i : initial depth

d_f : final depth



$$E_a = E_{pan} * C \quad \leftarrow \quad (0.6 - 0.8)$$

$E_{pan} > E_a$

C هو معامل التبخير حيث ان حجم الماء في pan معدني عما تتبخر من وجه مزرعة الماء بداخله لذا فان التبخر المحسوب اعلى من الحقيقي لذا يتطلب تصحيحة

$$d_f = d_i + P - E_{pan}$$ معادلة الموازنة المائية

P: precipitation

2- Empirical equations for evaporation

معادلات التبخر التجريبية

John Dalton 1802

$$E_L = C(e_s - e_a) \quad \text{---------- (2)}$$

E_L : Lake evaporation in mm/day

C : Coefficient

e_a : actual vapor pressure of air above water surface at specified height in (mm Hg)

e_s : Saturated vapor press. at the water surface temp. in (mm/day)

تم تعديل هذه المعادلة فيما بعد لتأخذ تأثير سرعة الرياح وهي كالتالي :

$$E_L = K\, f(u)\, (e_s - e_a) \quad \text{---------- (3)}$$

mm Hg

K : Coefficient

$f(u)$: wind speed correction function (Dimensionless)

Meyer formula 1915

$$E_L = K_m (e_s - e_a)\left(1 - \frac{U_9}{16}\right) \quad \text{(4)}$$

E_L: mm/day

$K_m = 0.36$ for large lake and $K = 0.5$ for shallow lake and deep

U_9: wind speed (monthly mean) in Km/hr measured at 9m above ground surface.

(Z) يمكن استخدام القانون اذا كان السرعة عند اي ارتفاع

اذا كانت السرعة معلومة عند ارتفاع Z_o

$$\frac{U}{U_o} = \left(\frac{Z}{Z_o}\right)^K$$

K: power law coefficient varied from 0.1 → 0.6.

use $K = \frac{1}{7}$ for natural ground rougness.

Rohwer formula 1931

$$K = 0.77\,(1.465 - 7.3 * 10^{-4} * P_a) \approx 0.7 \quad \text{for } P_a = 760 \text{ mm Hg}$$

$$f(u) = (0.44 + 0.0733 U_o)$$

$$E_L = K\, f(u)\, (e_s - e_a) \quad \text{(5)}$$

P_a: mean barometric press. in mm/Hg

U_o: mean wind speed in Km/hr at ground level which can take at 0.6m above ground surface.

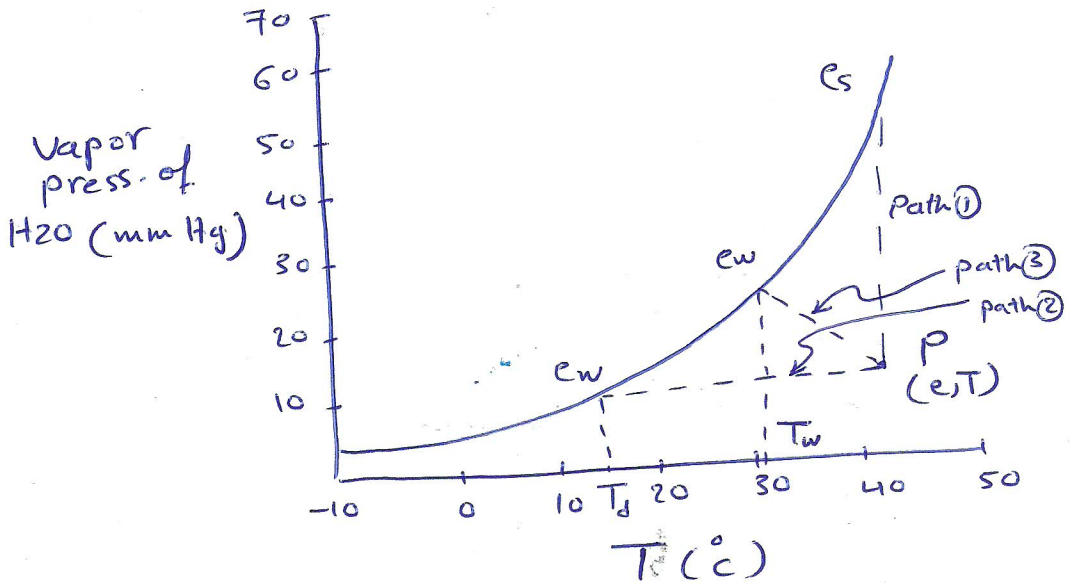
هذه المعادلات التجريبية بسيطة الاستخدام وتسمح باستخدام المعلومات المناخية القياسية لكن المحددات المقدرة لهذه المعادلات جعلها تعطي نتائج تقريبية مقبولة في احسن حالاتها.

كيف يمكن حساب e_s ؟

بداية يجب معرفة علاقة الضغط البخاري المشبع مع درجة الحرارة

Relation between $e_s - T$:-

نفرض وجود نظام مغلق بحيث منه البخر حيث يبدأ الماء يتبخر الى الجو وصولاً الى حالة التوازن $e_a = e_s$ حيث يكون الهواء مشبعاً ببخار الماء حيث يسلط ضغطاً بخارياً يسمى بضغط البخار المشبع ويتعين بتعيين درجة الحرارة وكما موضح بالشكل



عمودياً

حيث ان P تقع تحت منحنى ضغط البخار المشبع فتبدأ بالتحرك الى الاعلى Path ① وصولا الى P_s تثبوت درجة الحرارة .

وفي حالة ثبوت الرطوبة تتحرك افقياً Path ② فتأخذ e_s موقعاً جديداً بدرجة حرارة T_d تدعى dew point (درجة حرارة الندى) .

اما اذا تركنا البخر حيث يجورة حرة في الجو فأن نقطة P تأخذ مسار Path ③ بدرجة تشبع e_w وحرارة T_w تدعى (wet-bulb Temp) حيث يمكن حساب T_w من خلال جهاز مقياس الرطوبة (المرطاب) .

Relative humidity (hr) الرطوبة النسبية :

تمثل كمية الرطوبة في الهواء الى كمية الرطوبة في حالة الاشباع وتعبر عنها

$$\%hr = \frac{e_a}{e_s} \times 100 \quad \text{---(6)}$$

حيث ان e_a يقاس باستخدام المحار ذو البصلة الرطبة

How to calculate e_s as a function of T :

The equation that can be used to calculate e_s and its gradient as a function of T is as follow :

$$e_s = 4.58 \; e^{\frac{17.27\,T}{237.3+T}} \qquad \text{(7)}$$

e_s in mm Hg

$$e_s = 611 \; e^{\frac{17.27T}{237.3+T}} \qquad \text{(8)}$$

e_s in Pa

$$\Delta = \frac{de_s}{dT} = \frac{4098\,e_s}{(237.3+T)^2} \qquad \text{(9)}$$

Δ in mm Hg/C°

(9) قانون (ميل) ثابت لكل نظامي الوحدات للمعادلات (8) و (7)

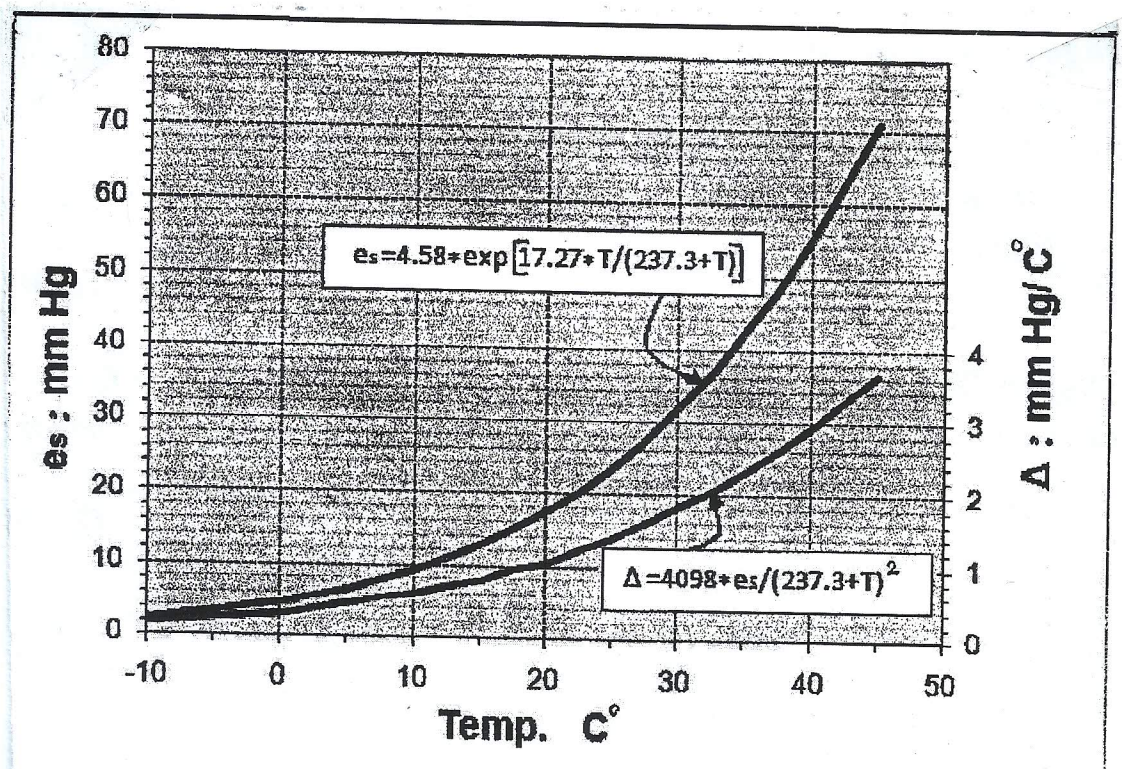
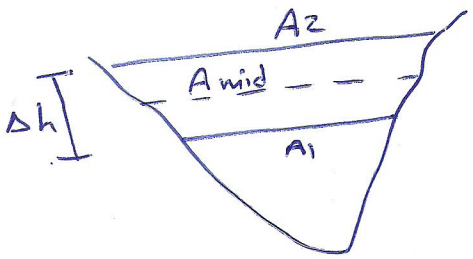


Fig : Saturation vapor pressure of water in air as a function of temperature

المثال نفسه في طريقة د. رسول صـ8

كيفية حساب المساحة السطحية للماء في البحيرة



ΔS = Volume change = ΔV

$\Delta V = \Delta h \, \bar{A}$

$\bar{A}$ هناك عدة طرق لحساب

① for uniform shape

$$\bar{A} = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

② $$\bar{A} = \frac{A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2}}{3}$$ cone formula ← الأكثر استخداماً واقعياً

③ $$\bar{A} = \frac{A_1 + A_2 + 4A_{mid}}{6}$$ Prismoidal formula موشورية

3- Analytical methods of Estimation الطرق التحليلية لتقدير البخر

① Water - budget الموازنة المائية

وتعتبر الطرق التحليلية استخداماً في حساب البخر وتعتمد على معادلة الاستمرارية الهيدرولوجية ليتم حساب البخر من معرفة قيم بقية المتغيرات في تلك المعادلة

مطر بخر — جريان — مياه جوفية — نتح — زيادة المخزون

$$E = P + (Q_i - Q_o) + (G_i - G_o) - T_L = \Delta S \quad \text{——— (10)}$$

Method of Reduce evaporation طرق تقليل فواقد البخر

1- reduce surface area تقليل المساحة السطحية

2- Use mechanical Covers استخدام أغطية خفيفة

3- Use chemical films الأغشية الكيماوية

حيث يمتاز بكونه سهل ورخيص وسريع الالتئام إذا ثقب ويمنع دخول الضوء والرياح

example

A Lake of 250 hectares surface area, had the following average values of climate parameters during a week of measurements,

- relative humidity = 40%
- wind velocity at 1.0 m above ground surface = 16 km/hr.
- Pan evaporation = 72 mm in the week.
- Pan coefficient = 0.8
- Temperature = 20 c°

(a) estimate average daily evaporation from Lake using Meyer formula.
(b) estimate accuracy of this method compared with pan evaporation.
(c) estimate the volume of water evaporated from lake in that week.

Solution:

$1 hec = 10\,000\ m^2$

(a) from eq(10); $e_s = 4.58\ e^{\left(\frac{17.27(20)}{237.3+20}\right)} = 17.53$ mm Hg.

From eq.(7); $e_a = hr * e_s = 0.4\ (17.53) = 7.01$ mm Hg.

From eq.(5); $\frac{u_9}{u_1} = \left(\frac{9}{1}\right)^{1/7} \Rightarrow u_9 = 16 * 9^{1/7} = 21.9$ km/hr

From eq(1); $K_M = 0.36$ since the Lake is large.

$$E_L = 0.36\ (17.53 - 7.01)\left(1 + \frac{21.9}{16}\right) = \underline{8.97}\ \text{mm/day}$$

(b) Daily evaporation from Pan evaporimeter $= \frac{72}{7} = 10.28$ mm/day

From eq(2)

$E_{actual} = 10.28 * 0.8 = 8.23$ mm/day

$$\%\epsilon = \frac{|\text{actual} - \text{Calculated}|}{\text{actual}} \times 100 = \frac{|8.23 - 8.97|}{8.23} \times 100 = \underline{9\%}.$$

(c) Volume of loss by evaporation $= \frac{8.23}{1000} * 7 * 250 * 10\,000 = 144{,}025\ m^3$

or $= 0.8 * \frac{72}{1000} * 250 * 10\,000 = 144{,}000\ m^3$

Why the two answers are different?

Note that the surface area of the Lake is assumed to be constant. Is it real??