# الفصل الثالث

# استخلاص المياه
# Water Abstractions

**١- مقدمة:**

لتصميم أي مشروع تخزين فإنه يكون من الضروري توفير نوعين من المعلومات وهما:

(١) المياه اللازمة للاستخدام (٢) المياه المحتمل فقدها خلال البخر من أسطح المياه المعرضة، التسرب من الخزان (خلال جسم السد ومن قاعدة الخزان)، الفقد بالتسرب من قنوات الري المبطنة، وغير المبطنة، الفقد بالنتح من النباتات المستخدمة للمياه الجوفية التي تكون بإمكانها الوصول إلى جذور تلك النباتات والتي تسمى (Phreatophytes)، وكذلك الاستخدام غير الكفؤ للمياه. إجمالي متطلبات المياه للمشروع سوف تكون إجمالي المجموع (١)، (٢).

لتعيين أقصى فيضان يتوقع حدوثه بتردد معين فإنه يلزم اعتبار الخواص المائية للتدفق السطحي من الحوض بجانب معلومات متعلقة بطاقة الرشح وتغيرها. نظرًا لأن الفيضان يحدث خلال فترة قصيرة من الزمن، فإنه لا يتم الأخذ في الاعتبار للبخر، والنتح والمفقودات الأخرى.

مشكلة أخرى هامة تلك التي يحتاج إليها المهندس وهي تعيين متوسط الإنتاج الشهري، الموسمي، السنوي، طويل المدى المتوقع من أي حوض صرف. في هذه الحالة، فإنه يكون مطلوبًا توفير معلومات تفصيلية عن الفقد بسبب البخر، النتح، (Interception)..الخ.

لتعيين الفقد في المياه / الاستخلاص لأي جزء مروي لحوض الصرف، فإن المياه التي تستخدم للأرض يتم إضافتها إلى كمية الترسيب لتعيين مدخلات النظام.

الفقد (Interception)، مثل النتح، والبخر لأي مساحة مروية يتم جمعه معا وعادة يسمى الاستخدام الاستهلاكى للماء (Consumptive Use of Water) الاستخدام الاستهلاكي قد يكون مرتبطاً بنمو نبات معين، فإنه عندئذ يسمى الاستخدام الاستهلاكي لذلك النبات، على الجانب الآخر قد يكون مرتبطاً بكل حوض الصرف عندما يسمى الاستخدام الاستهلاكي للوادي (Valley Consumptive Use). في حالة عدم وجود تسرب (Watershed) فإن الاستخدام الاستهلاكى للوادي يمكن أخذه بما يساوي إجمالي فقد المياه.

إنه عادة ليس عمليا فصل البخر والنتح حيث يتم دمجهم معا وذلك في حالة دراسة الميزان المائي لحوض صرف.

البخر من البحيرات، الخزانات، الخ، ومن كتلة التربة مع النتح من النباتات يسمى البخر والنتح (Evapotranspiration) أو إجمالي البخر والذي يقدر بالفقد.

**البخر من أسطح المياه (Evaporation From Water Surfaces)**

معدل البخر من سطح الماء يتوقف على الإشعاع الشمسي، درجة حرارة الهواء، درجة حرارة الماء، سرعة الريح، الضغط الجوي وضغط البخار للهواء العلوي. ملوحة الماء لها تأثير غير مباشر حيث تقلل من ضغط البخار. ضغط بخار مياه البحر أقل من ذلك للماء النقي عند نفس درجة الحرارة بحوالي ٢%. في حالة المسطحات المائية مثل الخزانات أو البحيرات، تحمل جزئيات بخار الماء بعيدًا عن سطح الماء بالتسرب الجزئي والرياح إلى الغلاف الجوي. هذا ينتج عنه حدوث تدرج بالمحتوى من بخار الماء الذي يقل مع زيادة المسافة من سطح الماء.

توجد عدة طرق لتعيين البخر من سطح الماء. كل من هذه الطرق يتضمن فرضيات وتبسيط للعملية الحقيقية. الطرق الشائعة لتقدير البخار من الخزانات والبحيرات هي:

١- قياس البخر من الوعاء المسطح (Pan Evaporimeter)

٢- طريقة الميزان المائي (Water Budget Method)

٣- طريقة ميزان الطاقة (Energy Budget Method)

٤- الطريقة المجمعة (Combination Method) والتي تجمع ميزان الطاقة وطريقة انتقال المادة / تأثير الديناميكا الهوائية – طريقة بنمان (Penman's Method).

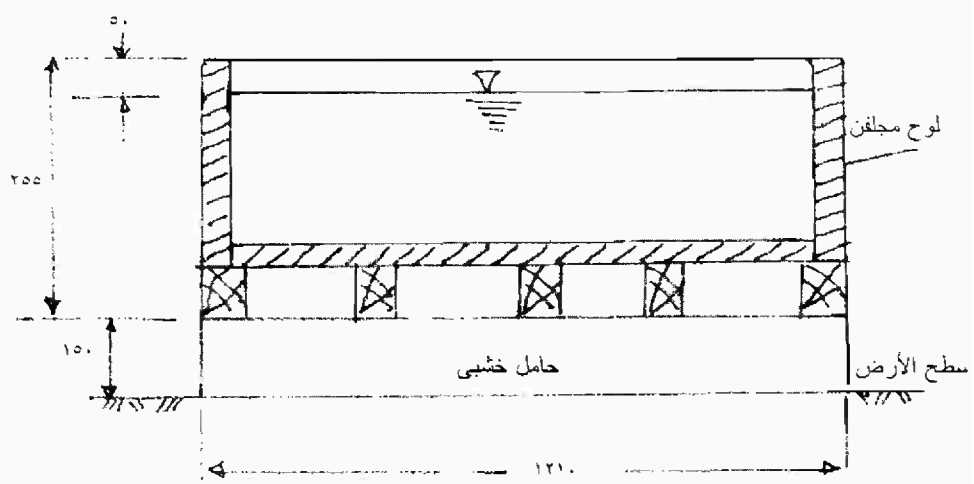
٥- المعادلة التجريبية (Emperical formula)

**١- مبخرات الوعاء المسطح:**

لقد استخدمت مبخرات الوعاء المسطح في كل مكان لقياس التبخر من المسطحات المائية وسيتم شرح بعضًا منها

**أ- الوعاء المسطح الأرضي: (Vs class A land pan)**

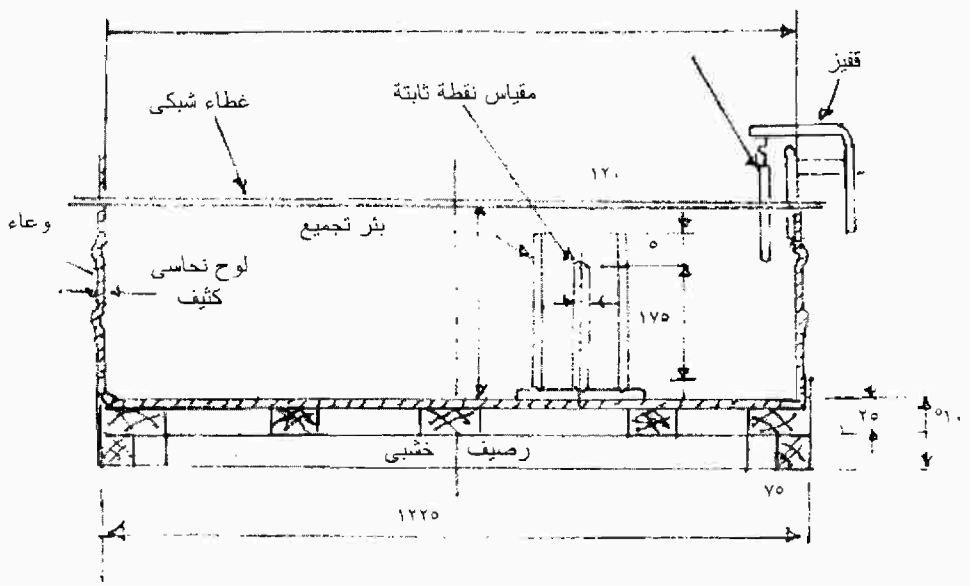
هذا الوعاء بقطر ١٢١٠ مليمتر وعمق ٢٢٥ مليمتر. ويستخدم على نطاق واسع في الدول النامية. يتم وضع الوعاء على قاعدة خشبية فوق الأرض للسماح بحرية دوران الهواء أسفل الوعاء. عمق الماء يظل ما بين ١٨ و ٢٠ سم الشكل (٣/١).




**شكل (٣/١) مبخر الوعاء المسطح**

## ب- الوعاء القياسي (ISI (IMD) (Standard) Pan

الوعاء القياسي شكل (٣/٢). هذا الوعاء بقطر ١٢٢٠ مليمتر، وعمق ٢٢٥ ملليمتر ويصنع من لوح من النحاس بسمك ٠,٩ ملليمتر والمغطى من الداخل بطبقة من القصدير، ومن الخارج بطلاء أبيض. يتم وضع الوعاء على قاعدة خشبية فوق الأرض بمقدار ١٠٠ ملليمتر بحيث ينعدم وجود دوران حر للهواء أسفل الوعاء. الوعاء مزود ببئر معايرة لتقدير احتياطي الماء (Stilling Well)، مقياس النقطة الثابتة وترمومتر. مقياس النقطة الثابتة (Fixed Point Gauge) يبين أن مستوى الماء يظل عند علامة ثابتة في الوعاء. القراءات تؤخذ مرتين في اليوم في الساعة ٨,٣ و ١٧,٣. مقياس سرعة الريح الكلية (Totalising Anemometer) عادة يركب عند مستوى الجهاز بحيث يمكن الحصول على معلومات عن سرعة الريح عند الحاجة. قمة الوعاء مغطاة بنسيج سداسي من أسلاك الحديد المجلفن لمنع سقوط الطيور في الوعاء. التبخير من الوعاء المغطى بشبكة من السلك لمقياس التبخر الجوي الطبيعي (Evaporimeters) وجد أنه أقل بنسبة ١٤% مقارنة بالوعاء غير المغطى بشبكة السلك. كذلك فإن شبكة السلك تجعل درجة حرارة الماء أكثر تجانسًا خلال النهار والليل. يتم الحصول على درجة حرارة الهواء بقراءة البصيلة الجافة للترمومتر الموجود في الشبكة (Stevenson screen) المركبة في نفس محتوى الوعاء.

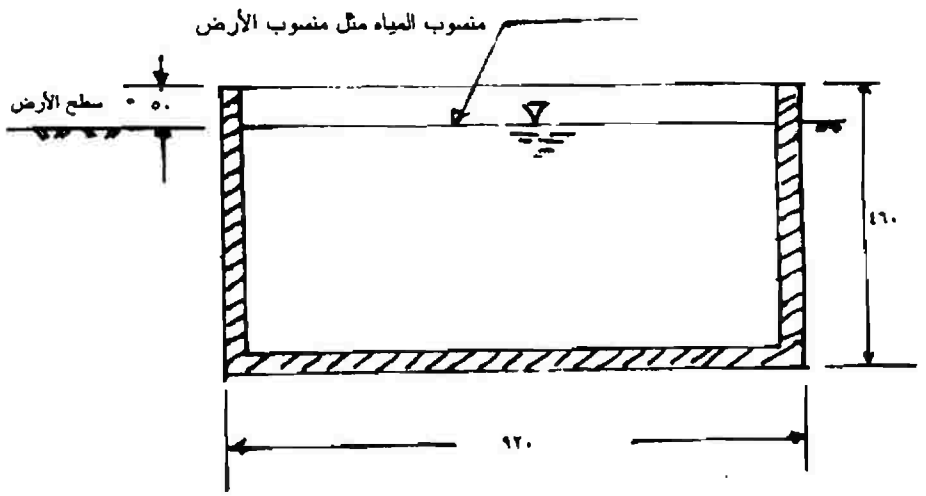



**شكل (٣/٢) مبخر الوعاء القياسى**

**جـ- وعاء كلورادو (Colorado Sun Ken Pan):**

بهدف أن الإشعاع والديناميكا الهوائية يشبهوا في خواصهم لتلك المسطحات المائية المقام قريبًا منها مقياس التبخر الجوي فقد تم تصميم تجهيزه تسمى (Sun Ken Pan). ذلك الوعاء يكون مربع طول ضلعه ٩٢٠ ملليمتر، وبعمق ٤٢٠ إلى ٩٦٠ ملليمتر ويكون مغمورًا في الأرض بحيث أن يبرز عمق مقداره ٥٠ إلى ١٥٠ ملليمتر فوق الأرض شكل (٣/٣). منسوب المياه يظل غالبًا عند مستوى الأرض. هذا الوعاء له القليل من السلبيات هي:

- تسرب المياه يصعب اكتشافه.
- مكلف.
- من الصعب خلو المنطقة المحيطة من الغبار والمعوقات.




**شكل (٣/٣) وعاء كلورادو**

**د – الوعاء الطافي: (Floating Pan).**

في بعض الخزانات، يتم إنشاء أجهزة قياس البخار الطافية، تلك الأجهزة هي أساسًا أوعية درجة A (Class A Pans)، وهي مركبة على عوامة مسطحة بحيث أن القاع وجزء من الحوض يكونوا ملتصقين مع سطح البحيرة.

لقد وجد أن سرعة التبخير من الوعاء الأرضي أسرع من المسطح المائي الضخم مثل البحيرة أو الخزان لذلك، فإنه سيتم استخدام معامل لتحويل تبخير الوعاء الأرضي للحصول على تبخير البحيرة أو الخزان. هذا المعامل وجد أنه يتراوح ما بين ٠,٦ إلى ٠,٨٢ وبقيمة متوسطة ٠,٧ وهو الموصي باستخدامه عمومًا. في حالة استخدام وعاء (Sunken Pan) لتعيين التبخير عندئذ فإن هذا المعامل يكون ما بين ٠,٧٥ إلى ٠,٨٦ وفي المتوسط ٠,٧٨ ولذلك فإن وعاء (Sunken) يعطي قيم قريبة من الحقيقة. بالنسبة للوعاء المطور الدرجة (A) فإن هذا المعامل يمكن أن يكون ٠,٨ (في المجال من ٠,٦٥ – ١,١).

**معادلة البخر (Evaporation formula)**

يوجد عدد كبير من معادلات البخر. معظم هذه المعادلات مبني على قانون والتون وشكله العام هو:

$$E = C\,(V_{sa} - V_a)$$

**حيث:**

E = البخر ملليمتر في اليوم

$V_{sa}$ = ضغط بخار التشبع عند درجة حرارة سطح الماء ($T_s$) بالملليمتر زئبق.

$V_a$ = ضغط بخار الماء للهواء بالملليمتر زئبق.

تأثير كل العوامل المناخية الأخرى مثل الرياح، والضغط الجوي تم تجميعه في المعامل (C).

شبكة محطات البخر الموصي بها كما في الجدول التالي:

**جدول (٣/١) شبكة محطات البخر الموصي بها**

| المنطقة | المنطقة التي تخدمها محطة واحدة (كيلو متر مربع). |
|---|---|
| جافة | ٣٠٠٠٠ |
| منطقة درجة حرارة رطبة | ٥٠٠٠٠ |
| منطقة باردة | ١٠٠٠٠٠ |

**طريقة الميزان المائي: Water Budget Method**

إنه ليس من الممكن الحصول على قياسات مباشرة للبخر في الظروف الحقلية. ولكن، التقدير غير المباشر له على أساس متوسط يومي يمكن الحصول عليه بمساعدة معادلة التخزين (Storage Equation).

$$E_{day} = I + P + \Delta S - O_g$$

**حيث:**

$E_{day}$ = البخر اليومي

I = التدفق السطحي الداخل يوميًا

P = التدفق اليومي للترسيب السطحي الخارج.

$O_g$ = التسرب اليومي تحت السطح

$\Delta S$ = التغير في التخزين في اليوم خلال فترة زمنية. أي، الفرق في التخزين $S_1$ عند بداية الفترة الزمنية للتخزين، التخزين $S_2$ عند نهاية الفترة.

وحدات كل المعايير في المعادلة السابقة تكون إما بالمتر المكعب أو بالعمق بالملليمتر فوق مساحة الدليل، من المفترض أن كل المعايير باستثناء E يمكن قياسها مباشرة.

تلك المعادلة نادرًا ما تعطي نتائج معتمدة ذلك لأن كل الأخطاء في قياس تغير التخزين، الترسيب، التدفق الداخل والتدفق الخارج تنعكس مباشرة في القيمة المحسوبة للبخر. إنه من الصعب جدًا عمل تقدير دقيق ومباشر لتسرب المياه الجوفية والذي يقدر بطريقة غير مباشرة من قياس المستويات الأرضية، معامل النفاذ.. إلخ. ولكن طريقة الميزان المائي قد حققت نجاح في دراسات بحيرة (Hefner) في الولايات المتحدة عام ١٩٥٠ – ٥١، بسبب استمرار التحكم الحذر في كل الظروف خلال الدراسة.

**طريقة ميزان الطاقة (Energy Budget Method)**

طريقة ميزان الطاقة شكل (٤) تستخدم فكرة الحفاظ على الطاقة الحرارية خلال الكتلة المائية. ميزان الطاقة لخزان أو بحيرة يمكن كتابته كالآتي:

$$Q_n - Q_h - Q_e = Q_s - Q_v - Q_g$$

**حيث:**

$Q_n$ = إجمالي الإشعاع الممتص بالكتلة المائية (أو صافي الطاقة الحرارية التي استقبلت بواسطة سطح الماء).

$Q_h$ = انتقال الحرارة المحسوسة بسبب التوصيل الحراري إلى الجو.

$Q_e$ = الطاقة المستخدمة في التبخير.

$PLE_l$ =

P = كثافة كتلة الماء

L = حرارة التبخير الكامنة

$E_l$ = التبخير بالملليمتر

$Q_s$ = الزيادة في الطاقة المخزنة في الكتلة المائية.

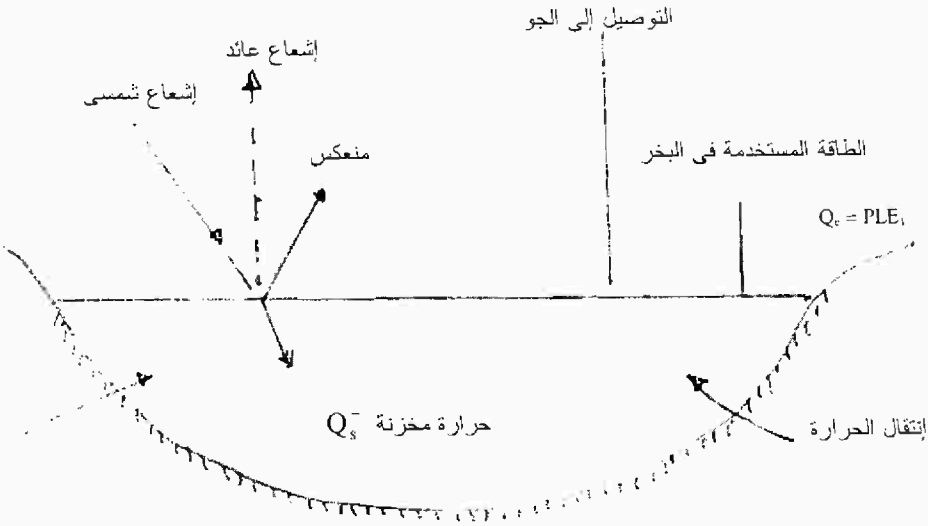
$Q_v$ = الانتقال الأفقي للطاقة في كتلة المياه.

$Q_g$ = هو تدفق الحرارة نحو الأرض.

كل الكميات السابق ذكرها يتم تقديرها بالكالوري / الملليمتر المربع/ اليوم.

يلاحظ أن الطريقة تستخدم معادلة الاستمرارية (للطاقة) مثل الميزان المائي وتقدير التبخير كمتبقي لاستمرار الاتزان.

انتقال حرارة التوصيل إلى الجو ($Q_h$) لا يتم ملاحظتها بسرعة أو حسابها. لقد اقترح (Bowen) النسبة (R) كطريقة لإبعاد ($Q_h$) من معادلة ميزان الطاقة. هذه النسبة تكون طبقًا للمعادلة.




**شكل (٣/٤) ميزان الطاقة فى الكتلة المائية**

$$R = \frac{Q_h}{Q_e}$$

$$R = 6.1 \times 10^{4} \quad \frac{T_w - T_a}{V_{sa} - V_a} \quad x \quad P_a$$

**حيث:**

$P_a$ = الضغط الجوي بالملليمتر زئبق.

$V_{sa}$ = ضغط بخار التشبع بالملليمتر زئبق.

$T_{sa}$ = درجة حرارة سطح الماء (درجة مئوية)

$T_a$ = درجة حرارة الهواء (درجة مئوية)

$V_a$ = ضغط البخار الحقيقي بالملليمتر زئبق.

حيث أنه لا يمكن تقدير المصطلحات الكثيرة في معادلة ميزان الطاقة وخاصة طاقة الانتقال الأفقي لكتلة الماء وقياسات درجة الحرارة والذي يتطلب أجهزة مكلفة، فإن طريقة ميزان الطاقة ليست مستخدمة كثيرًا. ولكن وجد أنها تعطي نتائج مرضية عند التطبيق لفترات تقل عن أسبوع.

من المعادلات السابقة القيمة ($E_i$) وهي قيمة التبخير بالمليمتر يمكن تقديرها كالآتي:

$$E_i = \frac{Q_n + Q_e - Q_s + Q_v}{PL\,(1 + R)}$$

**طريقة التجميع: Combination Method**

هذه الطريقة تستخدم تأثيرات كلاً من الديناميكا الهوائية (Aerodynamic) (أي الرياح والرطوبة) وكذلك الطاقة (Energy) (أي الإشعاع) في معادلات الاتزان لتعيين التبخير من سطح المياه المعرض.

فى مجال الحصول على بيانات موثوق بها للبخر والنتح (Evapotranspiration). فقد استخدمت معادلة (Penman's formula) والمعدلة في الشكل الآتي:

$$(1) \qquad Ep = W.\,Q_{nL} + (1 - w)\,f\,(v)\,(V_{sa} - V_a)$$

**حيث:**

$E_p$ = جهد البخر والنتح بالمليمتر فى اليوم

$W = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$ = عامل الوزن لتأثير الإشعاع

**حيث:**

$\Delta$ = معدل تغير ضغط البخار المشبع مع درجة الحرارة.

$\gamma$ = ثابت مقياس الرطوبة (Psy chrometric Constant)

W = قيمة W (لمختلف درجات الحرارة والارتفاعات) متاح في الجدول ٥-A الملحق

$Q_{nL}$ = صافي الإشعاع المكافئ للمليمتر/ اليوم. والذي يساوي الفرق بين الإشعاعات الساقطة والإشعاعات المنعكسة

$F_{(v)}$ = دلالة العلاقة بالربح

$$fv = 0.27\left(1 + \frac{V_2}{100}\right)$$

**حيث**

$V_2$ = متوسط سرعة الريح كيلو متر فى اليوم عند إرتفاع ٢ متر.

$V_{sa}$ = ضغط بخار التشبع عند متوسط درجة حرارة الهـواء بمقـدار (mb)، وإذا كانت ضغوط البخار بالملليمتر زئبق يتم الضرب في ١,٣٣ لإيجاد (mb)

$V_a$ = متوسط ضغط البخار الحقيقي (mb)

(1-W) = معامل الوزن لتأثير الريح والرطوبة على $E_p$

$\gamma$ = ٠,٤٩ ملليمتر زئبق عند صفر درجة مئوية.

البخر من الأسطح المعرضة للمياه والممتدة مثل البحيرات والخزانات ذات طاقة تخزين حراري مهملة يمكن اعتباره مكافئًا لقدرة البخر والنتح. جهـد البخـر والنـتح يعرف بأنه الفقد فى المياه الذى سوف يحدث في حالة وجود نقص فـي مـاء التربـة للاستخدام في الرى.

المعادلة السابقة (١) تتكون من شقين وهما الإشعاع والديناميكا الهوائية، الأهمية النسبية لكل منهما تتوقف على الظروف المناخية. لذلك، فإنه يلزم تعيين دالة الترجيح. شق الديناميكا الهوائية يكون عادة أقل أهمية عن شق الطاقة عندما تكون حالات الجـو هادئة، ولكن يكون تأثير كبير في حالات الرياح، وفي المنـاطق الجافـة. المتوسـط اليومي لبيانات المناخ يتم استخدامها في المعادلة (١).

عند عدم حساب البيانات عند ارتفاع ٢ متر. فإذا الجدول (A - 6) فـي الملحـق يعطى التصحيح المناسب لقياسات الريح المأخوذة عند مختلـف الارتفاعـات. حتـى ارتفاع ٥٠٠ متر فوق مستوى الأرض، يمكن حساب سرعة الريح من العلاقة الآتية:

$$W_h = Ch^m$$

**حيث**

C = ثابت

$W_h$ = سرعة الريح عند الارتفاع h فوق الأرضي

**التحكم في بخر الخزان: Control of Reservoir Evaporation**

الفقد في البخر من كتل المياه الضخمة مثل البحيرات والخزانات يعتبر فقد اقتصادي كبير.

الخطوات اللازمة لخفض البخر من الخزان لوحدة التخزين كالآتي:

١- يتم اختيار موقع السد / الخزان بما يحقق أقل مساحة سطحية للخزان لكل وحدة تخزين.

٢- الخزانات الصغيرة يمكن أن يتم لها توفير أغطية حماية ميكانيكية التي قد تكون من النوع الدائم أو الطافي. تلك الطريقة رغم أنها مؤثرة إلا أنها مكلفة.

٣- مركبات كيماوية معينة مثل (Hexadecanol and Octadecanol) التي تنتشر في الطبقات ذات الجزئ الواحد (Monomolecular Layers) فوق أسطح المياه والتي تعيق البخر يمكن استخدامها.

٤- مقاومة النباتات الشرهة للمياه من محيط الخزان مثل النباتات عميقة الجذور (Phreatophytes).

٥- إنشاء كاسرات الريح (Wind Breakers)

**النتح: (Transpriration)**

العملية التي تعود بها الرطوبة إلى الجو بعد مرورها خلال النبات تسمى النتح. كل الرطوبة يتم صرفها أساساً في شكل بخار الماء. ولكن النتح ليس مثل البخر الذي يستمر خلال اليوم ليلاً ونهارًا، حيث النتح يكون في ساعات ضوء النهار فقط. يتغير النتح خلال الساعات ٢٤ لليوم. النتح يتأثر أساسًا بدرجة الحرارة، ضوء الشمس، رياح الرطوبة المتاحة، ومرحلة نمو النبات. في دراسة ميزان المياه لحوض الصرف، فإنه يتم التعامل مع البخر والنتح كعنصر واحد، حيث أن فصلهما غير ممكن عمليًا.

### تبخر التربة:(Soil Evaporation)

الفقد في الرطوبة خلال البخر المباشر من حبيبات التربة الموجودة عند أو قريبًا من سطح الأرض يسمى البخر الأرضي أو بخر التربة. وهو دلالة لنفس المعايير التي تؤثر على التبخير من الأسطح الحرة والمعرضة للمياه، زائد عامل يعرف بفرصة التبخير (Evaporation Opportunity).

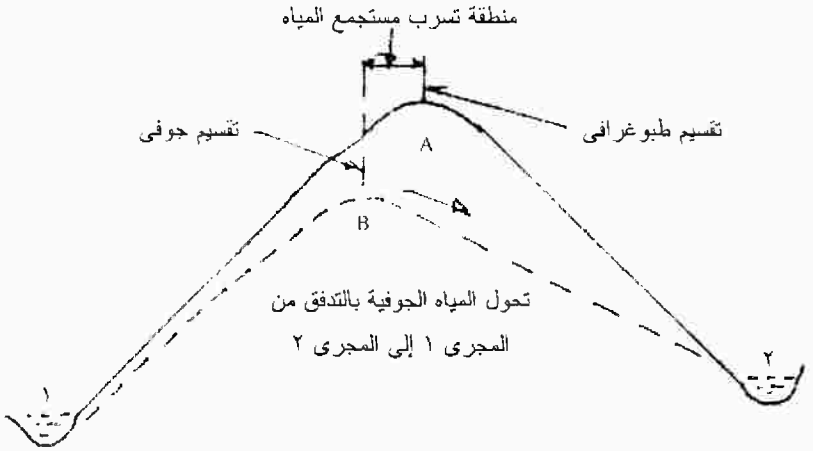
فرصة التبخر يمكن تعريفها بأنها النسبة بين البخر الحقيقي من سطح الأرض إلى معدل البخر من سطح الماء العرضي، وقيمته تتراوح من الصفر في حالة التربة الجافة جدًا إلى ١٠٠% للتربة المكشوفة بعد المطر مباشرة.

تبخير التربة يتم قياسه بواسطة أجهزة القياس (Lysimeters) للتربة ذات الصرف الحر. هذا الجهاز عبارة عن حوض مربع ١,٣ أو ٢ متر وبعمق ٢ متر، مملوء بالتربة والسطح العلوي يكون غالباً مع الأرض، القاع يكون عادة في شكل القمع والصرف في وعاء مغلق موضوع في سرداب تحت الأرض. الفرق بين سقوط المطر والصرف هو تبخير التربة.

في حالة التربة حيث سطحها يقع باستمرار خلال تخوم الخاصية الشعرية، فإن الأحواض يتم إعدادها بنظم لاستمرار خط المياه عند الارتفاع المطلوب. يضاف الماء إلى الأحواض البينية للمحافظة على ثبات منسوب المياه. يتم تعيين بخار التربة بوزن الأحواض على فترات مناسبة.

### تسرب مستجمع المياه Water Shed Leakage

كل حوض صرف المياه يكون محاطًا بتقسيم طبوغرافي يثبت المساحة التي ينتج منها التدفق السطحي. بالمثل فإنه يوجد تقسيم جوفي تحت الأرض الذي يحدد حدود المساحة التي يتم منها تغذية المياه الجوفية إلى كل نظام مجرى، الشكل (٣/٥). عند عدم تطابق التقسيم الطبوغرافي والتقسيم الجوفي فإنه يحدث تسرب لمستجمع المياه ويساوي تدفق المياه الجوفية من المساحة بينهم. تسرب مستجمع المياه يتحرك دائمًا عبر التقسيم الطبوغرافي.




**شكل (٣/٥) تسرب مستجمع المياه**

في معظم الحالات يعتبر تسرب مستجمع المياه غير هام نسبيًا مقارنة بحالات الفقد الأخرى، حيث يكون الفقد لمستجمع المياه من حوض صرف يتم معادلته بالتراكم من الآخر. خلال المعلومات عن التكوينات الجيولوجية تحت حوض الصرف حيث يكون أفضل دليل نحو احتمال حدوث تسرب من مستجمع المياه.