جامعة حماه
كلية الزراعة

قياس التبخُّر والتبخُّر- نتح

Measurement of

Evaporation and Evapotranspiration

١-تعريفه:

يشمل مفهوم التبخُّر- نتح مصطلحين مندمجين مع بعضهما البعض هما التبخُّر (Evaporation) والنتح (Transpiration).

١-التبخُّر Evaporation:

هو عملية (ظاهرة) فيزيائية يتحول من خلالها الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية وينتقل من السطوح المعرضة كالتربة والمجاري المائية والبحيرات والبحار والمحيطات وغيرها إلى الجو المحيط.

٢-النتح Transpiration:

هو ظاهرة فيزيولوجية لتحول الماء من الحلة السائلة إلى الحالة الغازية بواسطة النبات (مسام النبات) وانتقاله إلى الجو المحيط به.

٣-التبخُّر والتبخُّر- نتح Evapotranspiration

هو مجمل الفواقد المائية من سطح التربة والمسطحات المائية والغطاء النباتي. وتظهر أهمية التبخُّر- نتح باعتباره عنصر هام من عناصر الدورة الهيدرولوجية (خاصة بالمناطق الجافة حيث تندر المياه)، وهو نتيجة تفاعل عدد كبير من عناصر المناخ (أهمها: الإشعاع- الحرارة- سرعة الرياح- الرطوبة الجوية)، كما أنَّه الأساس في تصميم برامج الري، وذلك عن طريق تقدير حاجة أي منطقة للماء الواجب إضافته للمزروعات، لأنَّ نمو المزروعات في أي مكان يتوقف على التوازن المائي بين كمية المياه المفقودة بالتبخُّر- نتح والكمية المضافة لهذه المزروعات خلال دورة حياتها. كما أنَّ التبخُّر- نتح هو أحد العناصر الأساسية في الموازنة المائية لأي منطقة.

٢-أنواع التبخُّر- نتح:

يمكننا التمييز بين ثلاثة أنواع من التبخُّر- نتح وهي:

A- التبخُّر-نتح الأساسي أو الممكن أو الكامن:

"ETP" Evapotranspiration Potential

هو التبخُّر- نتح لغطاء نباتي عشبي متجانس، وينمو في تربة رطوبتها قريبة من السعة الحقلية، ولا يخضع لأي عائق غذائي أو فيزيولوجي أو مرضي. في ظروف محددة يمكن أن تبلغ قيمة التبخُّر- نتح الكامن قيمة التبخُّر من سطح مائي.

B- التبخُّر- نتح الأعظمي:

" ETM " Evapotranspiration maximum

هو التبخُّر-نتح الأعظمي لمحصول أو نبات معين وخلال مراحل أطواره الفينولوجية وتحت ظروف مناخية محددة وقيمة التبخُّر-نتح الأعظمي أقل أو تساوي قيمة التبخُّر-نتح الأساسي أو الممكن. وهناك علاقة تربط بينهما هي:

$$ETM = K * ETP$$

K: معامل استهلاك النبات للماء (معامل الزرع) ، وهي تتوقف على نوع النبات ومرحلة نموه.

C- التبخُّر-نتح الحقيقي:

" ETR " Evapotranspiration Real

هو التبخُّر- نتح من سطح الأرض المغطَّى بالنبات كلياً أو جزئياً حسب ظروف توافر المياه الفعلية. لكن هناك بعض العوارض الفيزيائية (الناقلية الهيدروليكية للتربة) أو الكيميائي (تجمّع الأملاح الذائبة)، أو البيولوجية (آلية فتح وإغلاق المسامات) التي تحدّ من الإمداد المائي، وهذا يقود إلى أن يكون التبخُّر- نتح الحقيقي أقل من التبخُّر- نتح الأعظمي.

٣- الأجهزة والطرق المستخدمة في قياس وحساب التبخُّر والنتح:

I- الأجهزة:

أولاً: أجهزة قياس التبخُّر:

لقياس التبخُّر من السطوح المائية والتربة والنتح من النباتات أهمية كبرى في الدراسات الهيدرولوجية والحيوية، خاصةً في مجال إنشاء السدود وأعمال الري والصرف في المناطق الجافة وشبه الجافة.

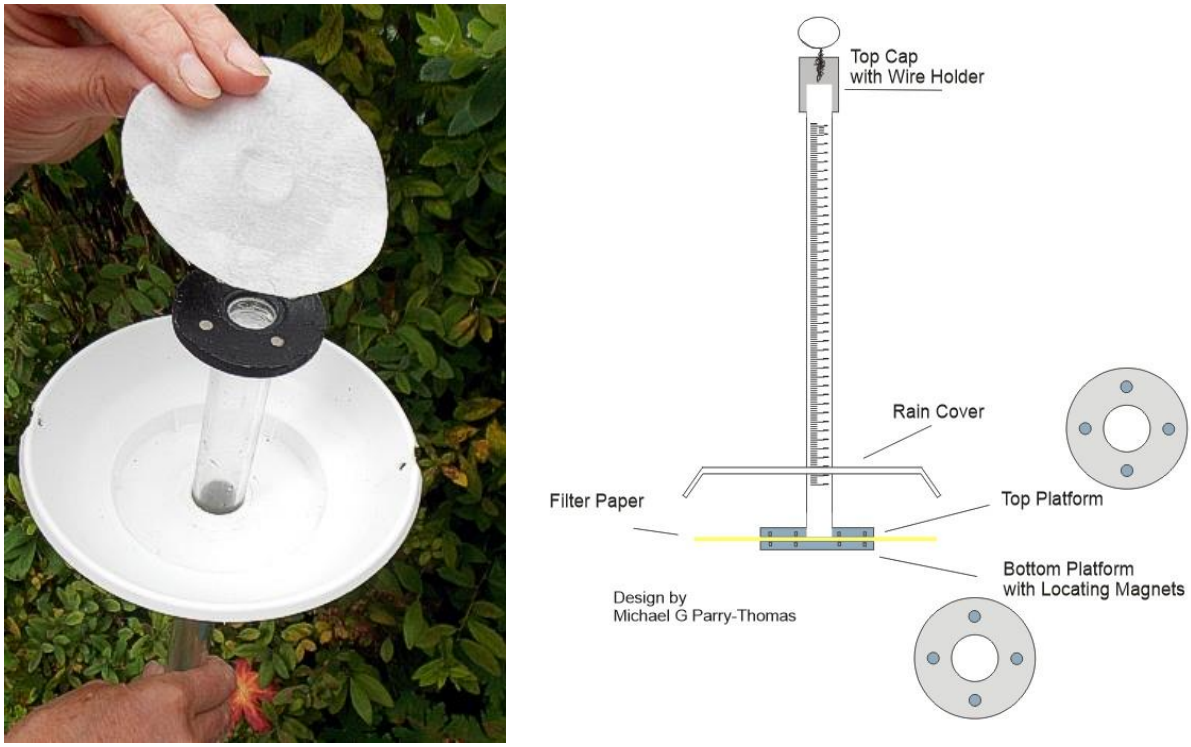
يشير التبخُّر إلى كمية المياه المفقودة بالتبخُّر من وحدة المساحة في وحدة الزمن. ويعبّر عنه بحجم السائل المتبخر من وحدة المساحة في وحدة الزمن. ويتم قياس التبخُّر بواسطة أجهزة قياس التبخُّر من أسطح مسامية مبللة ومن السطوح المائية.

أ- أجهزة قياس التبخُّر من الأسطح المسامية المبللة:

وتعرف هذه الأجهزة بالأتمومترات (Atmometers). وهناك عدة أنواع من هذه الأجهزة أهمها:

جهاز بيش Evaporometer Piche (الشكل رقم ١)

يتألّف من أنبوبة مدرجة مفتوحة من جهة ومغلقة من الجهة الأخرى، يبلغ طولها 22.5 cm وقطرها الداخلي 11 mm والخارجي 14 mm. تُملأ هذه الأنبوبة بالماء، ويغطّى طرفها المفتوح بقرص من الورق المسامي (يمثّل مسام أوراق النبات) قطر هذا القرص 3.2 cm ومساحتها 13 cm^2. تنكس الأنبوبة نحو الأسفل اتجاه ورقة النشاف بحيث تكون ورقة النشاف واقعة في الجزء السفلي من الأنبوبة. وطالما يوجد ماء فإنَّ ورقة النشاف تظل مبللة. وتدلّ سرعة انخفاض المستوى الماء في الأنبوب على نشاط عملية التبخُّر أو بطئها.



الشكل رقم (١) جهاز بيش

ب- أجهزة قياس التبخُّر من الأسطح المائية:

يستخدم لهذا الغرض أوعية التبخُّر (أحواض التبخُّر)، وهي عبارة عن أوعية معدنية مختلفة الأحجام تملأ بالماء وتعرَّض للهواء وأشعة الشمس بشكل مباشر، ويوجد عدة أنواع من أوعية التبخُّر ومن أهمها النوع الأمريكي (النموذج A) والروسي GGI-3000 ومقياس التبخُّر المسجل (ذو الكفة) Evaporographe وغيرها.

ب-١- حوض التبخُّر نموذج A (Class-A):

وهو حوض مائي مصنوع من المعدن المغلفن المطلي بالأبيض، الشكل (٢). قطره (121.9 cm) وعمقه (25.4 cm) يزود بمقياس سرعة الريح يكون موضوع على تماس معه، كما يزود بميزان لحرارة الماء. وترتفع قاعدة هذا الوعاء (3-5 cm) عن سطح الأرض. يملأ هذا الوعاء بالماء حتى مستوى (5 cm) من حافته العليا. ويزوَّد هذا الحوض أيضاً بمقياس لارتفاع الماء وهو يتكون من كلاب في نهاية ساق مدرجة ويوضع هذا المقياس فوق وعاء مفرغ أسطواني الشكل يستقر في الحوض ويوفر سطحاً هادئاً للماء في داخله حتى يتم قياس ارتفاع الماء بدقة. توجد أنواع كثيرة من الأحواض المائية لقياس التبخُّر تختلق عن بعضها بالحجم فكلما زاد حجم الوعاء كلما كانت القيم المتحصل عليها أكثر دقة.

وللحصول على قيمة التبخُّر (E) يجب ضرب قراءة الجهاز (E_O) بمعامل خاص بالحوض (Kb) أي:

$$E = E_o \times Kb$$

عادة يكون لكل حوض معامل ثابت خاص به حسب التصميم. ويعتبر حوض التبخُّر نموذج A -Class) (A من أفضل الأحواض وأكثرها استخداماً وهو ما أوصت المنظمة العالمية للأرصاد الجوية باستخدامه.

الحوض مع كل أجزائه

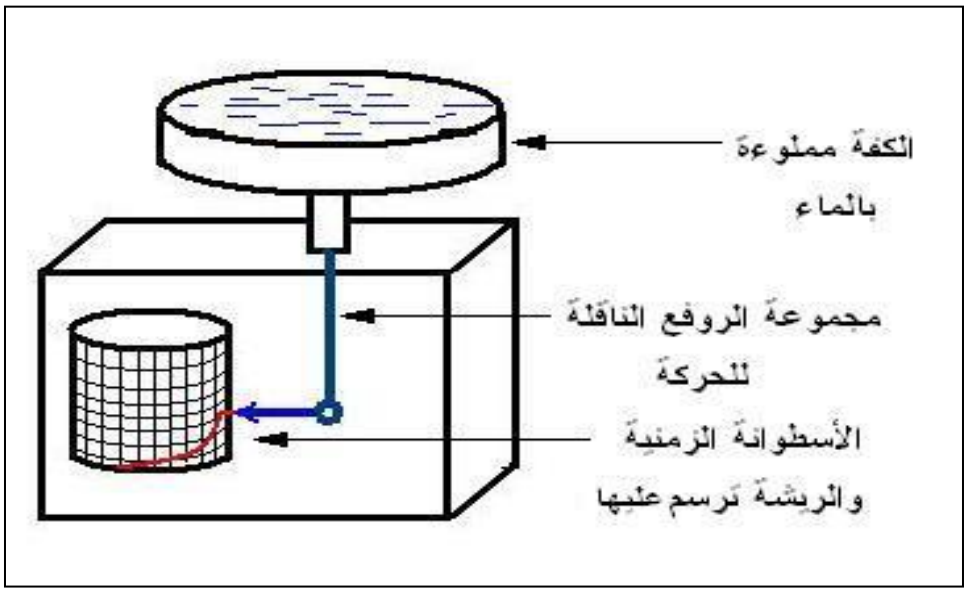
مقياس الارتفاع ضمن اسطوانته

أداة قياس ارتفاع الماء بالحوض

الشكل (٢) حوض التبخُّر نموذج (A) (Class-A)

ب-٢- مقياس التبخُّر المسجل (ذو الكفة) Evaporographe (الشكل رقم ٣)

هو عبارة عن مقياس تبخر مسجل على شكل ميزان ذو كفه واحدة (وعاء) مملوءة بالماء. فعندما يتبخر الماء من الكفة يخف وزنها وتتحرك إلى الأعلى محركةً معها ريشة رسم مرتبطة بها عبر مجموعة روافع، هذه الريشة التي ترسم حركتها على ورقة ملمترية ملفوفة على أسطوانة زمنية تدور دورة كاملة كل يوم بحيث يتمكن الراصد من معرفة كمية التبخُّر في كل لحظة طوال اليوم.



الشكل (٣): رسم تخطيطي لمقياس التبخُّر المسجل

II- الطرق الرياضية والبيانية المستخدمة لحساب التبخُّر:

A- علاقة دالتون Dalton:

تُستخدم لحساب التبخُّر من سطح الماء الحر، وتأخذ الشكل التالي:

$$E = f(u)\ (e_w - e)$$

E: كمية الماء المتبخر من سطح الماء الحر، ويقدَّر بالملم/يوم (mm/day).

f (u): ثابت تابع لسرعة الرياح على ارتفاع 2 m، وتستخرج قيمته من جداول خاصة.

e_w: ضغط بخار الماء المشبع.

e: ضغط بخار الماء الفعلي.

٤- الأجهزة والطرق المستخدمة في قياس وحساب التبخُّر - نتح:

أ- باستخدام جهاز الليزيمتر ذو الصرف Lysimeter :

من أهم الأجهزة المستخدمة في تحديد التبخُّر-نتح. وهو عبارة عن وعاء يوضع داخل التربة لقياس التبخُّر-نتح مباشرةً بالاعتماد على معادلة الميزان المائي، الشكل (٤). **ويجب توفّر عدة شروط لاستعماله أهمها:**

١- يجب أن يكون كبير وعميق نسبياً ليقلل من تأثير جوانب الليزيمتر ولتجنب حدوث أي إعاقة لنمو واستطالة الجذور. وفي حال المحاصيل القصيرة فإن حجم الليزيمتر يجب ألا يقل عن المتر المكعب. أمَّا المحاصيل الطويلة فيجب أن يكون الحجم أكبر من ذلك وقد يكون ٤م^{٣} كافي لمعظم المحاصيل.

٢- يجب أن تكون ظروف الليزيمتر مماثلة تماماً لظروف الحقل الذي يوضع فيه.

٣- يجب أن يزرع بنفس المحصول وأن يعامل بنفس المعاملات التي ستعامل بها نباتات وتربة الحقل المروع حتى نقلل من تأثير الانتقال الحراري الأفقي من المناطق الدافئة إلى المناطق الباردة.

إذا كان الماء متوفر وليس هناك من عوائق، يمكننا بواسطة الليزيمتر أن نحسب التبخُّر- نتح الأعظمي والحقيقي والأساسي. حيث نحسب كمية المياه المتبخرة بالعلاقة التالية:

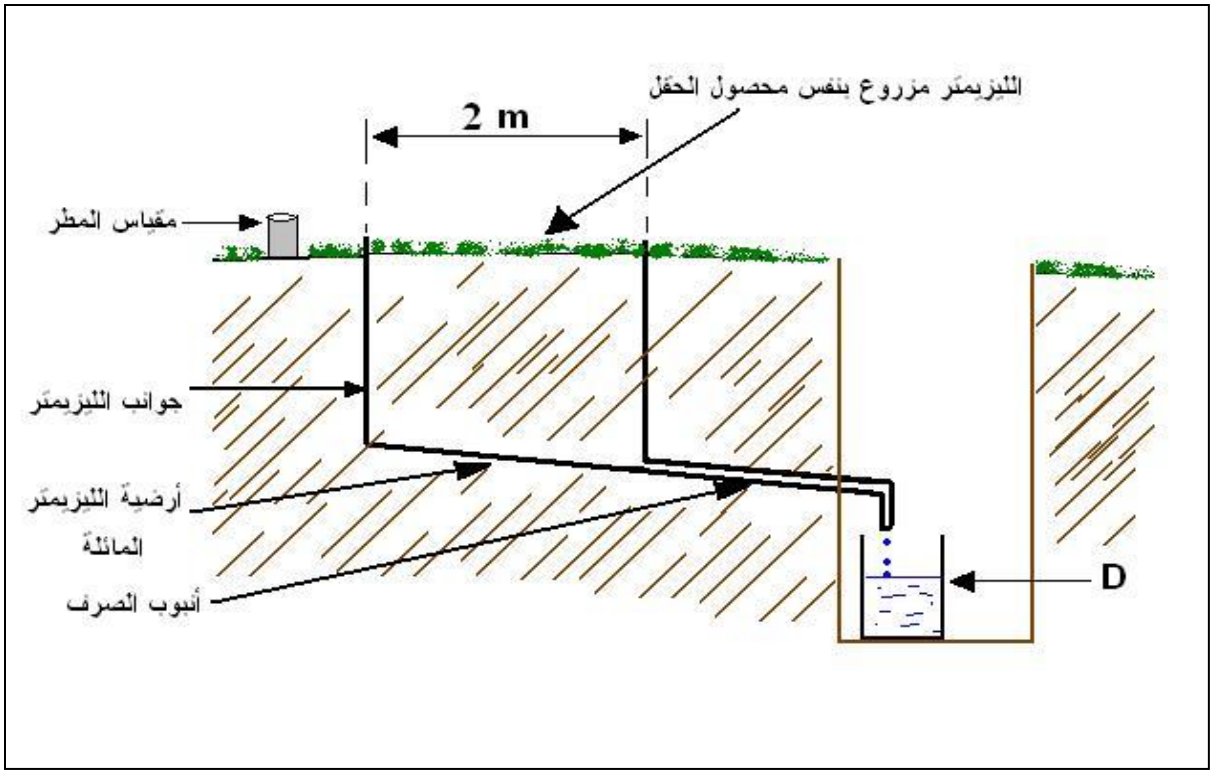
$$ETP = (P + I) - D$$

ETP: التبخُّر نتح الأساسي مقدراً بالملم/وحدة الزمن أي في مدة التجربة (أو ETR أو ETM).

P: كمية مياه الأمطار الساقطة داخل الليزيمتر (تؤخذ من مقياس المطر) (mm).

I: كمية ماء الري المضاف (mm).

D: كمية ماء الصرف المتجمعة في وعاء جمع ماء الصرف الخاص (mm).



الشكل (٤) شكل تخطيطي لجهاز الليزيمتر ذو الصرف

تمرين: أعطي محصول خلال أحد الأشهر ماء ري مقداره 25 mm وكانت كمية الأمطار الهاطلة خلال هذا الشهر 30 mm فإذا علمت أن الليزيمتر المستخدمة لدراسة الاحتياجات المائية لهذا المحصول أشار بأن كمية ماء الصرف خلال هذا الشهر كانت 48 mm والمطلوب تحديد التبخُّر- نتح خلال هذا الشهر (الاحتياج المائي لهذا المحصول بهذا الشهر)؟

ب- باستخدام العلاقات الرياضية:

هناك العديد من العلاقات المستخدمة لحساب التبخُّر-نتح بأنواعه لكننا سنتطرق إلى أبسط وأهم هذه الطرق.

١- علاقة إيفانوف(Ivanov):

تستخدم علاقة إيفانوف لحساب التبخُّر-نتح الممكن أو الأساسي الشهري، وهي الطريقة التي اعتمدها الأطلس المناخي السوري وهي تعطى بالعلاقة:

$$ETP = 18\times10^{-4}(25+t)^2(100-Hr).....(mm/mounth)$$

t: متوسط الحرارة الشهرية ($^{\circ}$C).

Hr: الرطوبة النسبية (%).

٢- علاقة بلاني وكريدل (Blany-Griddle) :

تسمح هذه الطريقة بحساب التبخُّر-نتح الأعظمي الشهري، وذلك اعتماداً على متوسط الحرارة الشهرية (°C)t ومعامل استهلاك النبات للماء، ونسبة الإضاءة P% (التي تختلف حسب خط العرض والشهر). وتعطى العلاقة كما يلي:

$$ETM = P.\ K\ (0.46t + 8.13)$$

كما يمكن أن تكتب بالشكل التالي:

$$ETM = K.\ T.\ P$$

٣- علاقة بنمان (Penman):

إن هذه العلاقة أفضل وأدق العلاقات وأكثرها شموليةً، فهي علاقة فيزيائية نصف تجريبية تستخدم بشكل واسع لأنها تحتاج معطيات مناخية عادية، وتناسب مختلف الظروف المكانية. وهي تساعد في حساب التبخُّر-نتح الممكن أو الأساسي اليومي. لكننا هنا سنكتفي بذكرها فقط كونها طريقة صعبة التطبيق.

٤- علاقة ثورنثويت (Thornthwaite):

تستخدم لحساب التبخُّر-نتح الأساسي أو الممكن الشهري وذلك بالاعتماد على معطيات كدرجة الحرارة المتوسطة الشهرية للهواء وبعض الثوابت وتستخدم أيضا طريقة بيانية لتحديده.

٥- علاقة ترك (Turc):

في كثير من مناطق العالم عندما يراد استصلاح منطقة ما يكون هناك حاجة إلى معرفة الميزان المائي، لذلك تستخدم معادلة (ترك) ومخططه. وهذه الطريقة تمكن من حساب كمية التبخُّر-نتح الحقيقي بدقة للمنطقة إذا لم يتوفر الليزيمتر. وتعطى علاقة (ترك) بالشكل التالي:

$$ETR(mm/year) = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{p^2}{L^2}}}$$

L: تابع لدرجة الحرارة يحسب بالقانون: $L = 300+25t+0.05t^3$

t: متوسط درجة الحرارة **السنوية** (°C).

P: كمية الأمطار **السنوية** (mm).

مسائل وتدريبات

١) إذا كان ضغط بخار الماء المشبع 23 mb و الفعلي 17 mb و سرعة الرياح على ارتفاع 2 m تساوي 320 km/day فما هي قيمة التبخُّر من سطح الماء الحر مقدرةً بـ mm/day مع العلم أن f (320) =1.13 ؟

٢) منطقة فيها متوسط درجة الحرارة لشهر تموز ($25\ C^o$) ، ومتوسط الرطوبة النسبية لهذا الشهر 60 %. والمطلوب أحسب التبخُّر–نتح الأساسي لهذا الشهر. التبخُّر نتح الأعظمي لمحصول مزروع فيها إذا علمت أن معامل استهلاك هذا المحصول للماء (معامل الزرع)، معامل يساوي ٠.٨؟

٣)مسقط مائي مساحته $85\ km^2$ ومتوسط درجة الحرارة السنوية فيه ($15\ C^o$) ومتوسط الهطل السنوي 950 mm والمطلوب:

أ– أحسب التبخُّر–نتح الحقيقي السنوي من هذا المسقط؟

ب–أحسب حجم الماء المتبخر من هذا المسقط؟

ت– كم ليتر من ماء المطر يتلقى كل متر مربع من سطح الأرض في هذا المسقط وكم ليتر من الماء يفقد كتبخر–نتح حقيقي سنوي.

_____ انتهت الجلسة_____

المرجع :المناخ والأرصاد الزراعية (الجزء العملي) لـ: د. حسن شهاب، د. هيثم أحمد ، د. أنور رمضان