الفصل السادس

الاستهلاك المائى

(أهمية وتعريف) Importance and definition

تعتبر دراستنا لموضوع الاستهلاك المائى Consumptive use ذات أهمية خاصة عند وضع أراضى جديدة تحت نظام الزراعة بالرى . إذ أنه بعد إجراء عمليات الحصر اللازمة للمصادر الأرضية والمائية المتوفرة يتم إختيار النباتات الملائمة لزراعة طبقا الأسس الاقتصادية السليمة والتى تشمل مقدار العائد من المحصول طبقا لتكلفة الوحدة من المياه المستهلكة فى الانتاج . وكثيراً ما يكون هذا العامل هو المحدد للاختيار ولا سيما فى حالة عدم توفر المصادر المائية . أما إذا وجدت المياه بوفرة فإن الحاجة تكون ماسة لحسن استغلالها والحد من الإسراف فى إستعمالها ، إذ كثيراً ما تتدهور الأراضى الزراعية وينخفض العائد منها نتيجة لعدم كفاءة الإستهلاك والوصول إلى زيادة هذه الكفاءة لابد وأن نتفهم بعضا من العوامل المهمة والمؤثرة فى استهلاك النبات للماء وكذلك طبيعة الطريقة التى يفقد بها الماء سواء عن طريق النبات أم مباشرة من الأرض وأخيراً بعض الطرق التى يمكن بواسطتها تقدير هذا الاستهلاك المائى .

وتفيد معرفتنا للاستهلاك المائى الكلى Total consumptive use النباتات النامية بمنطقة ما فى تحديد كمية المياه الكلية الواجب توصيلها اليها ولا يجب أن يقتصر اهتمامنا على الإستهلاك الكلى بل إن معرفتنا للاستهلاك الشهرى Monthly

ولا سيما فى أشهر أقصى الاحتياج المائى Maximum تهمنا فى الأعمال الإنشائية لمجارى مياه الرى وتوزيع هذه المياه بالمزرعة .

وما نقصده بالاستهلاك المائى هو مجموع ما يفقد من الماء بالنتح Transpiration وبالبخر EvaPoration أى ذلك القدر من الماء الذى تمتصه جذور النبات ويستهلك فى بناء أنسجته ويمر خلال أوراقه إلى الجو الخارجى ، بالاضافة إلى ذلك المستنفد بالبخر من سطح الأرض والمسطوح المائية أو سطوح أوراق النبات . كما أن المياه المتكثفة من الندى ، الأمطار والمياه الساقطة من الرى بالرش والمتبخرة دون أن يمتصها النبات كلها تعتبر جزء من الاستهلاك المائى . وكثيراً ما يطلق على الاستهلاك المائى إصطلاح « Evapotranspiration » إذ يصعب فصل تأثير النتح والبخر عن بعضهما تحت الظروف الحقلية كما أن ذلك الاصطلاح يعبر عن الطريقة التى يستهلك بها الماء أى يتحول من صور الماء الأرضى إلى مكون للنبات وبخار ماء فى الهواء الجوى .

ويستخدم إصطلاح « Actual evopatranspiration » للدلالة على البخر - نتح الفعلى ، وقد يشتمل ذلك على فترات من الجفاف . أما إصطلاح « Potential evapotranspiration » فهو الذى أقترحه Thornthwaite ويرمز إلى الكمية القصوى المستهلكة من الماء ويعرف بأنه « معدل البخر - نتح المحدد أساساً بالظروف الجوية من سطح حقل منزرع بمحصول أخضر قصير نشط النمو ويغطى سطح الأرض تماما ذا طرل متجانس ولا يعانى نقصاً فى الرطوبة الأرضية » .

أما الاحتياج المائى « Water requirement » فغالبا ما يعرف بأنه كمية الماء المستهلكة (بالبخر-نتح) لإنتاج الوحدة من المادة الجافة للنبات المستهلك

للماء . وإذا ما عرفنا الاستهلاك المائى بانه حجم الماء المستهلك بالبخر - نتح من وحدة المساحة لسطح الأرض فان الاحتياج المائى على ذلك يصبح مساويا لكمية الماء المستهلكة بالبخر - نتح مقسومة على انتاج المادة الجافة من وحـــدة المساحة التى بها المحصول . ومن ذلك نرى أن الاحتياج المائى لنبات ما يعتمد أساسا على العوامل المؤثرة على الاستهلاك المائى وكذا إنتاج المادة الجافة .

ويمكن إجمال هذه العوامل فى ثلاث رئيسية هى العوامل الجوية ، العوامل النباتية ، العوامل الأرضية . نظراً لأهمية كل منها فسنتناولها بشىء من التفصيل بعد استعراضنا لطبيعة عملية فقد الماء بالبخر والنتح .

طبيعة البخر والنتح

Physics of evapotranspiration

تتشابه عمليتى البخر والنتح فى فقد الماء بكل منهما على صورة بخار إلى الجو الخارجى . وتتميز عملية البخر من السطوح الطبيعية كسطح الماء والأرض العارية منزرعة أو الغطاء النباتى بكونها عملية انتشار Diffusion ينتقل الماء خلالها فى صورة بخار من سطح البخر إلى الجو ولما كان الهواء الجوى فى الحالة شريان تموجى Turbulent flow لذا فان طبيعة عمليـــة البخر لا يمكن اعتبارها انتشاراً جزيئيا فى أغلب الأحيان . وهناك شرطان أساسيا لابد من توفرهما لعملية البخر . فأولا يجب توفر مصدر للحرارة ليحول السائل إلى بخـــار ، وقد يكون هذا المصدر فى صورة طاقة شمسية Solar energy ، هواء مار على سطوح البخر ، أو طاقة كامنة أسفل هذه السطوح وثانيا ، يجب توفر فرق فى تركيز بخار الماء بين سطح البخر والهواء الخارجى حتى تتم عملية الانتشار وانتقال البخار إلى الهواء الخارجى ، بمعنى وجوب زيادة تركيز بخار الماء عند سطح البخر عنه فى الهواء المحيط به .

وتعتبر الطاقة الشمسية هى المصدر الأساسى للطاقة الحرارية اللازمة لعملية البخر . فالمعروف أن الطاقة الشمسية تصل إلى سطح الغلاف الجوى بمعدل قدره سعرين لكل سم٢ فى الدقيقة . غير أن جزءاً كبيراً من هذه الطاقة ينعكس أو يتبعثر بالهواء إلى الفضاء ولا يؤثر فى الميزان الطاقى Energy balance عند سطح الأرض . ويمكن التعبير عن الميزان الحرارى Thermal balance فى الصورة التالية .

$$R_s - R_r - R_{lw} = H_a + {}_s + H$$

حيث R_s = الطاقة الاشعاعية الشمسية القادمة

Incoming solar radiation

R_r = الطاقة الاشعاعية الشمسية المنعكسة

Reflected solar radiation

R_{lw} = صافى الأشعة الطويلة الموجة الذاهبة

Net outgoing longwave radiation

H_s = الحرارة المحسوسة السارية الهواء الجوى

Sensible heat flow into the air

H_s = الحرارة السارية للارض

Heat flow into the soil

H_e = حرارة البخر أو الحرارة الكامنة الماء السارية

Evaporati on heat , cr latent heat flow into the ai

وحيث أن الطاقة الشمسية هى مصدر الطاقة اللازمة للبخر والنتح لذا فإننا نتوقع انخفاض معدليها حيث تقل شدة هذه الطاقة ، كما تعمل الطاقة الشمسية

على رفع درجة حرارة الأجسام التى تمتصها ، وعلى هذا فإن درجة حرارة الأوراق المعرضة للشمس سوف ترتفع عن الجو المحيط بها عند تساوى باقى العوامل . ونتيجة لارتفاع حرارة الأوراق يرتفع الضغط البخارى للهواء بغرفة الثغر حيث يعتمد ضغط التشبع للهواء الملامس للسطوح الرطبة على درجة حرارتها ، أى أن ميل الضغط البخارى سوف يزداد بالتالى من الورقة إلى الهواء الملامس لها مما يؤدى الى زيادة فقد الماء . ولما كانت عملية البخر تستلزم طاقة كامنة وتؤخذ بعضها من حرارة الورقة نفسها لذا فإن حرارة سطح الورقة تنخفض نتيجة للبخر . غير أن حرارة الأوراق المعرضة لوجه الشمس المباشر تبقى أعلا من الجو المحيط نتيجه لامتصاصها للطاقة الشمسية بينما تنخفض حرارة الأوراق الموجودة بالظل .

وإذا ما كان الهواء الجوى ساكناً تماماً حول الأوراق فإن استمرار حركة البخار ستؤيد تدريجيا من الضغط البخارى مما يقلل من ميل ذلك الضغط وبالتالى من معدل النتح . أما فى وجود رياح فإن تحويل طبقة الهواء الملامس لسطح الأوراق بعيداً واستبدالها بطبقة أخرى جافة نسبياً سيؤدى لاستمرار وجود ميل الضغط البخارى والى حدها وزيادة معدل النتح بزيادة سرعة الرياح . وإذا ما كانت الرطوبة بالمنطقة منخفضة فإن معدل النتح سوف يزداد عما إذا كانت مرتفعة .

وليس من الواضح تماماً تأثير إنخفاض درجة حرارة الجو على فقد الماء . فعلى فرض بقاء كمية الماء الموجودة فى الجو ثابتة فإن إنخفاض الحرارة سيؤدى الى إنخفاض الرطوبة النسبية مع ثبات الضغط البخارى ، غير أن إنخفاض حرارة الجو سيؤدى إلى إنخفاض حرارة الأوراق مما يؤدى بدوره الى زيادة ضغط التشبع البخارى عند سطح الورقة ، والمحصلة لذلك هى زيادة ميل الضغط البخارى من

الورقة للهواء الخارجي وبالتالي زيادة النتح . ولما كانت طاقة الإشعاع الشمسي الممتصة بالأوراق لا تستغل فقط في عملية البخر ولكن أيضا في تسخين الهواء والنبات ، لذا فاننا نتوقع وجود حداً عن لمعدل البخر والنتح يتأثر بالطاقة الاشعاعية المتيسرة . وقد لا يكون ذلك صحيحاً في كل الظروف . فعندما لا يستنفذ جزء من هذه الطاقة في عملية البخر من سطوح مائية كما هو الحال في الصحراء مثلا فإن حرارة الجو سوف ترتفع لدرجة أعلا من حرارة النباتات القريبة مما يزيد من معدل تبخيها عندما تهب عليها رياح ساخنة من معدلها لو كانت الطاقة الشمسية هي المسئولة ، ويسمى مصدر الطاقة الزائدة هذه « Advective energy » كما يسمى هذا التأثير بـ « Oasis effect » .

ويمكن من معادلة الميزان الحراري السابقة بيان الظروف التي لا تتوقف عندها قيمة البخر والنتح الممكن potential evapotranspiration على النبات ولا تزيد عن قيمة البخر من السطوح المائية . فالأشعة القادمة لا تتوقف على المحصول بينما الأشعة المنعكسة القصيرة الموجة تتوقف على انعكاسية النبات Reflectivity . كذلك تؤثر الحرارة وليس النبات على فقد الحرارة بالاشعاعات طويلة الموجة ، أي أن الطاقة المتيسرة للبخر تتشابه للمحاصيل ذات الألوان المتقاربة . أما الحرارة الساريه للأرض فتتوقف على المحصول وقدرته على تغطية سطح الارض كما تتوقف الحرارة الملوسة وكذا الحرارة الكامنة السارية الى الجو على درجة تحرك الهواء الجوى والذى يختلف تبعاً للمحصول . ومن ذلك نرى أن فكرة البخر والنتح الممكن ما هي إلا فكرة تربيبة حيث تستهلك بعض المحاصيل كمية أكثر أو أقل من المتوسط كذلك فإن مقدار البخر من سطح مائى يا يفقد عن طريق النبات يتوقف على قدرة النبات إذ يتوقف النتح ليلا بينما يستمر فقد

الماء من السطوح المائية المعرضة مستمداً جزء من طاقته التى اكتسبها بالنهار فى عملية البخر الليلى . وعلى هذا فإن انفقد لبضع ساعات بالنهار يزيد فى النبات عن السطح المائى بينما لمتوسط فترة زمنية طويلة فان العكس هو الصحيح .

العوامل المؤثرة على الاستهلاك المائى

Factors affecting consumptive use

١ ـ عوامل جوية Weather factors

لقد رأينا فيما سبق كيف تتوقف طبيعة عملية البخر من السطوح المائية أو النباتية على العديد من العوامل الجوية والتى أهمها طاقة الاشعاع الشمسى ، ميل الضغط البخارى ، درجة الحرارة ، والرياح . فالاشعاع الشمسى هو المصدر الرئيسى للطاقة اللازمة للبخر ، كما أن للضوء تأثير على فتح الثغور وغلقها . إذ يتوقف انفتح الثغرى تماما أثناء الليل وفى الظلام . وفى العادة كلما زاد ضغط البخار فى الهواء الجوي قل معدل النتح إذا ما ثبتت باقى العوامل . فاذا فرض أن ضغط البخار فى المسافات البينية وغرف الثغور بالأوراق يساوى ٨٢ ، ٣١ مم زئبق ، وهى قيمة ضغط تشبع الهواء الجوى بالبخار عند ٣٠°م ، بينما فى الهواء الجوى المحيط بالأوراق يبلغ الضغط ٩١ ، ١٥ مم زئبق ، أى عند رطوبه نسبية قدرها ٥٠ ٪ ودرجة حرارة ٣٠°م ، فإن معدل البخر سوف يزداد بانخفاض ضغط البخار فى الهواء الجوى عن هذه القيمة ويقل بزيادتها . وفى الحالات النادرة عندما تتساوى ضغط البخـــار فى الهواء الجوى وفى المسافات البينية بالأوراق لا يحدث أى نتح حتى ولو كانت الثغور مفتوحة .

وتتأثر درجة حرارة الهواء الجوى وكذلك سطوح البخر بشدة الاشعاع الشمسى وعادة ماتزيد درجة حرارة الأوراق المعرضة لضوء الشمس عن الهواء

الجوى بحوالى ٢ م° إلى ١٠م° (وأحيانا أكثر من ذلك) . وتفقد الورقة جزء من الطاقة الاشعاعية الممتصة عادة بالنتح كما تفقد جزء آخر بالانبعاث الحرارى كما يعمل الجزء الممتص من الطاقة على رفع درجة حرارتها مما يؤثر بالتالى فى ضغط التشبع للبخار فيزداد ميل الضغط البخارى ومن ثم معدل النتح وفقد الماء . وفى الواقع فإن تأثير ضغط بخار الهـــواء الجوى بارتفاع الحرارة يعد طفيفاً بالنسبة لضغط التشبع للبخار بالأوراق . إذ أن عمليـــة تبخر الماء لن تكون من الكفاية بحيث تسمح بتراكم سريع لبخار الماء ليبلغ القيمة التى تشبع الهواء الجوى نتيجة لا تساع حيزه بالنسبة للكمية التى ينتحها النبات أو تفقدها فى صورة بخار ، كما أن تمدد الهواء الجوى بارتفاع الحرارة يقلل من تأثير زيادة الضغط البخارى . كل هذا يشجع استمرار وجود فرق فى جهد الماء أو البخار بين سطوح البخر والهواء الجوى مما يزيد من معدل انتقاله وفقده .

أما تأثير الرياح فيرجع إلى تبديلها لجزيئات الماء القريبة من سطح البخر مباشرة مما يزيد من الانحدار فى فرق الجهد وبالتالى زيادة معدل فقد المـــاء . كذلك تؤدى الرياح إلى تمايل الأغصان والسيقان والفروع ورفرفة أعنـــال الأوراق مما يزيد من معدل فقدها للماء نتيجة للضغط على المسافات البينية فيها واندفاع بخار الماء وغيره من الغازات لخارج الثغور . والنسيم العليل أكثر فاعلية نسبياً فى زيادة معدل النتح عن الرياح ذات السرعة العالية والمؤدية إلى غلق الثغور .

من كل ذلك نرى كيف أن الاحتياجات المائية للنبات ترتبط مباشرة بالظروف الجوية السائدة ، كما أنه يمكن الاستفادة من البيانات الناتجة فى تحديد وتقدير الاستهلاك المائى للنبات ، وسوف نأتى إلى ذلك مستقبلا .

ب ـ عوامل نباتية plant factors

تختلف أجناس النبات فى مواعيد نموها وأعماق جذورها وكثافتها والمسافات بينها وأطوالها واتجاهاتها وكل هذه الاختلافات تشير إلى حتمية الإختلاف فى استهلاكها المائى . وقد تتساوى النباتات فى « البخر ـ نتح الممكن » كما سبق أن عرفناه وعندما تتساوى النباتات المتشابهة الألوان فى قيمة معامل الانعكاس Reflexion coefficient . غير أنه يصعب توفر غطاء تام لسطح الارض بالنبات خصوصا فى المراحل الاولى لنموه مما يقلل من أستهلاكه للماء عن البخر ـ نتح الممكن . كذلك تشذ بعض المحاصيل عن هذه القاعدة ومن أمثلتها الاناناس pineapple إذ يقل أستهلاك نباتاته الكثيفة والتى لا تعانى من نقص الرطوبة للماء عما يستهلكه نبات نجيلى كثيف النمو تحت نفس الظروف وقد يرجع ذلك إلى طبيعة عمل ثغور نبات الاناناس إذ عادة ما تغلق بالنهار وتفتح بالليل بعكس معظم النباتات . كذلك يزداد معدل نتحه بعد زراعته عنه عند زيادة حجمه وتمام نموه .

ويؤثر أنعكاس الطاقة الشمسة من النبات على صافى الطاقة المستغلة فى عملية البخر والنتح . وهذا يتوقف على لون النبات ونسبة السطح المغطى من الارض به وعلى التركيب النباتى له . وتشير نتائج الدراسات التى أجريت على هذا الموضوع إلى أن الانعكاس من معظم المحاصيل الكثيفة النمو يبلغ ٢٠ إلى ٣٠ ٪ بينما الانعكاس من الارض الغير منزرعة يختلف من ١١ إلى ٢٣ ٪ غير أن الاختلاف فى قيمة الاستهلاك المائى بين النباتات نتيجة لاختلافها فى الانعكاس لا يتعدى ٥ ٪ .

ويعزى التباين فى تأثير نسبة الغطاء النباتى إلى علاقة ذلك لحد ما بالانعكاس

وبدرجة كبيرة لمقدار الفقد النسبي للماء بالبخر من سطح الارض وبالنتح من النبات . وبينما يقل فقد الماء بالبخر بسرعة كبيرة بعد يوم أو أثنين من الرى أو الامطار إلا أن نفس الدرجة من التأثير لا يصل اليها النبات إلا بعد أسبوعين . وتشير معظم الدراسات إلى أن معدل أستهلاك الماء سوف يزداد بازدياد نسبة السطح المغطى من الارض بالنبات حتى ٥٠٪ مع زيادة الفقد من المحاصيل النامية بأرض رطبة عن تلك النامية بأرض جافة .

وعدد النباتات المنزرعة بالحقل تأثير على الاستهلاك المائى مشابه لتأثير نسبة الغطاء النباتى وفى الواقع إنه فى حالة توفر الرطوبة الأرضية بدرجة كافية لكل من النبات وسطح الأرض فإن الاستهلاك الكلى للماء لا يتأثر بعدد النبات أو غيرها من العوامل المؤثرة على صافى الطاقة الاشعاعية عند سطح الأرض . إذ أن ما سيتأثر هو نسبة البخر إلى النتح . أما فى حالة جفاف السطح فإن البخر سوف يصبح محدداً ، ويتأثر مقدار الماء المستهلك بالنتح عندئذ بعدد النبات . مما يؤدى إلى انخفاض عن الاستهلاك الكلى وزيادة الفقد فى الطاقة الحرارية بانخفاض عدد النباتات . أما أتجاه التخطيط من الشرق للغرب أو من الشمال للجنوب فلم يؤثر على الاستهلاك المائى الكلى للذرة . ونتيجة لتغطية سطح الأرض بين النباتات بأغطية من البلاستيك أمكن إقلال الاستهلاك المائى إلى النصف مما يرجح زيادة الفقد بالبخر عن النتح من الأرض المنزرعة فى المراحل الأولى عندما يكون نمو المحصول صغيراً ولا يتقاطع إلا مع جزء من صافى الطاقة الاشعاعية . ويزداد مقدار النتح مع تقدم النبات فى النمو ليفوق فى النهاية ما يستهلك بالبخر . ومع أن الاستهلاك الكلى قد لا يتأثر بتغطية جزء من الأرض بأغطية صناعية إلا أن ما يستهلك بالنتح يفوق ما يفقد بالبخر

وهذا يعنى حصول النبات على جزء من إحتياجاته كان عرضة للفقد بالبخر لو لم تستخدم هذه الأغطية . وتفيد مثل هذه الطرق فى توفير لاحتياجات المائية للنبات خصوصا بالمناطق الجافة وحيث لا يتوفر الماء .

وقد يكون لاختلاف أطوال النباتات تأثير على الاستهلاك المائى خصوصا عند زراعتها بمناطق منزلة أو وسط نباتات أقصر منها . إذ يؤدى تأثير ما يسمى بـ Advection السابق شرحه إلى زيادة الاستهلاك . كذلك يزداد معدل الاستهلاك بزيادة تعمق الجذور وتفلغلها وكثافة نموها خصوصا فى الأجواء الجافة أى عندما تكون الرطوبة الارضية عاملا محدداً فى الطبقات السطحية من القطاع كما أن تشجيع نمو الجذور بالتسميد يزيد من نشاطها وبالتالى زيادة الاستهلاك المائى .

وتختلف الاحتياجات المائية للنبات باختلاف مراحل نموه ، إذ يزداد الاستهلاك المائى تدريجيا من وقت الزراعة إلى النضج حيث يتساوى عندئذ مع البخر نتح الممكن ، ثم ينخفض بعد النضج . وقد تفسر زيادة الاستهلاك على أساس ازدياد نسبة السطح المغطى وكبر حجم النبات . أما انخفاض الاستهلاك بعد النضج فمرده إلى عوامل نباتية بحته .

جـ - عوامل ارضية Soil factors

تحد العوامل الارضية من الاستهلاك المائى عند نقلها الماء إلى سطوح البخر ببطء لا يتناسب مع قدرات الجو المحيط على احداث البخر ، بالإضافة من امتصاص الطاقة ، أخيراً الحد من انتقال البخار أو الحرارة من وإلى سطوح البخر .

من المعروف أن معدل تجفيف الارض البور يتناسب طرديا مع محتواها

الرطوبي وعكسيا مع الزمن . فعندما تقل قدرة الارض على توصيل الماء إلى السطح بمعدل يتناسب مع معدل البخر يجف سطحها . ويتوقف معدل الإمداد هذا على المحتوى الرطوبي وعوامل التوصيل الهيدروليكي . وكما علمنا سابقا فإن قوام الارض وملامح سطحها وتعاقب طبقاتها تؤثر على سعتها لخزن الماء . فالاراضي الخشنة القوام والحبيبة البناء تحتوي على رطوبة أقل من الاراضي الناعمة القوام عند نفس قيم الشد الرطوبي . أي أن كمية الماء الغائبة للبخر تكون أقل في الاراضي الرملية عن الطينية كما أن زيادة عوامل التوصيل الهيدروليكي للاراضي الرملية عن الاراضي الطينية عند شد رطوبي منخفض والعكس عند شد رطوبي مرتفع تؤدي إلى سرعة حركة الماء لاسفل عقب الري وبطئه لاعلى عند الجفاف في الاراضي الخشنة عن الاراضي الناعمة القوام . ومن ذلك نرى أن الاراضي الرملية تفقد من الماء بالبخر أقل من الاراضي الطينية .

ويؤدي وجود طبقات خشنة القوام أو بطيئة النفاذية بالقطاع إلى احتفاظه برطوبة أعلا بعد ابتلاله عما لو كان متجانسا في صفاته مما يزيد من احتمالات البخر إذا ما كانت مثل هذه الطبقات تقع خلال عمق قدره ١٠٠ سم . وتعتبر التغيرات التي تحدث في بناء الطبقة السطحية من القطاع (١٠ — ١٥ سم) نتيجة لعمليات الخدمة وإضافة المواد العضوية وبقايا المحصولات مهمة بالنسبة لقدرة هذه الطبقة على توصيل الماء إلى السطح أو حيث يتم البخر (لا يتعدى ٥ سم من السطح) فإذا ما احتوت هذه الطبقة على حبيبات مركبة (قطرها أكبر من ٠,١ مم) أدى ذلك إلى فقدان الإتصال بخط مسار الماء مما يسبب إقلال الحركة لاعلى وبالتالي إنخفاض معدل البخر . وهذا ما يشاهد بالأرض المتميزة بقوام خشن على سطحها . أما تكوين الشقوق نتيجة لجفاف الأرض فإنه يساعد على زيادة البخر .

أما من حيث علاقة الأرض باقتناص الطاقة الإشعاعية فإن اللون والانحدار ودرجة استواء السطح وبقايا المحصولات الموجود عليه كلها عوامل تؤثر على معدل الاستهلاك المائى فالأرض الفاتحة اللون تعكس نسبة أعلا من الأشعة الساقطة عن الأرض الداكنة ، كما أن زيادة المادة العضوية والمحتوى الرطوبى تقلل من الانعكاس . ويؤثر ميل الأرض على زاوية سقوط الأشعة على سطحها وبالتالى يغير ذلك من كمية الطاقة الممتصة لوحدة المساحة . فالميول الشمالية تستقبل قدراً أقل من الأشعة الساقطة عن الميول الجنوبية بينما يقل الفرق بين الميول الشرقية والغربية ، غير أن التأثير النسبى لهما يختلف من فصل لآخر حسب تغير زاوية سقوط الأشعة . وتعمل بقايا النباتات على الاقلال من الطاقة الممتصة حيث أنها تعكس قدراً من الأشعة أكبر مما تعكسه الأرض .

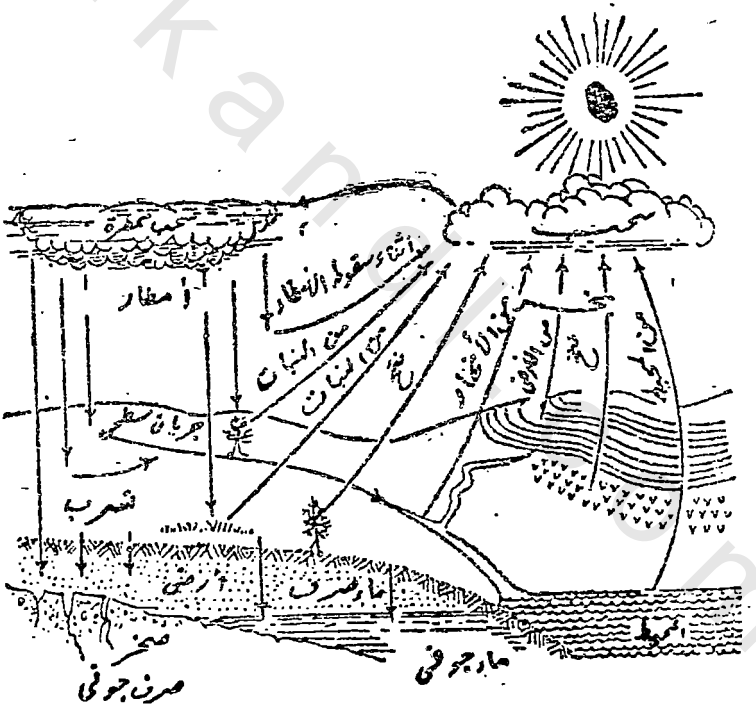
وتعمل صافى الأشعة الممتصة بالأرض على رفع درجة حرارتها تبخر الماء . وتسخين الهـــواء الجوى مباشرة . ويتحدد معامل التوصيل الحرارى للأرض بكثافتها وتركيبها المعدنى ومحتواها الرطوبى . فزيادة الكثافة والمحتوى الرطوبى تزيد من التوصيل الحرارى لزيادة التلامس بين حبيبات الأرض . أما عند جفاف السطح فتقل الطاقة فى تسخين الهواء ، وحيث أن معدل البخر يكون بطيئا تحت هذه الظروف لذا فإن طبقة الهواء الساخن هذه تعمل كعازل يقلل من البخر أما فى الأراضى الرطبة فتنتقل الطاقة داخل الأرض وتؤدى إلى إحداث البخر . وتعمل بقايا النباتات كعازل يقلل من التبادل الحرارى فتبقى حرارة الأرض منخفضة نسبيا فى أواخر الشتاء ، الربيع ، أوائل الصيف ، وأثناء فى الخريف وأوائل الشتاء وبجفاف الطبقة السطحية ينتقل الماء لها فى الصورة البخارية ويتحدد معدله فى هذه الحالة بمعامل الانتشار وبمسامية الطبقة المار خلالهـــا . وتعمل الطبقات

العازلة من الاغطية النباتية أو الارضية على الاقلال من معدل البخر بالاقلال من إنتقال الطاقة للارض وكذا إنطلاق البخار منها .

طرق تقدير الاستهلاك المائى

Metho ds of consumptive use determination

لقـــد رأينا فيما سبق كيف أن البخر والنتح يشتركان فى فقد الماء من سطوح البخر إلى الهواء الجوى فى صورة بخار ، هـذا البخار لبخار الماء الجوى يعتبر مكونا أساسيا الماء فى الدورة الهيدرولوجية Hybrologic cycle المبينة بالشكل رقم (٤١) . وتهدف الطرق المختلفة لتقدير الاستهلاك المائى إلى إيجاد



شكل ٤١ - الدورة الهيدرولوجية

قيمة هذا السريان ، وليس هناك أفضلية لطريقة على أخرى إذ تختلف فى دقتها على المدى الطويل أو القصير وسهولتها وتكلفتها . أى أن اختيار أحـــدها يتوقف بلاشك على الهدف من التطبيق . فلتقدير التصرف المائى لمنطقة ما وفى حدود خطأ قدره ٥ - ٢٥ ٪ تكفى معرفتنا للقيمة السنوية أو الشهرية على الأكثر للبخر والنتح مقدرة بالمعادلات التجريبية Empirical formulae المعدلة من واقع القياسات الفعلية . أما معرفة نظام إستهلاك النبات للماء لتحديد فترات الرى فيلزمه قياس البخر والنتح على فترات أقصر (٣ — ١٠ أيام) مع زيادة الدقة ، أى فى حدود خطأ قدره ١٠ — ١٥ ٪ . وفى أغراض البحث عن علاقة النبات بالماء فقد يلزم قياس البخر والنتح فى مدى يتراوح بين بضع دقائق إلى يوم أو أثنين على أن لا يتجاوز الخطأ فى التقدير ٥ ٪ .

ونظرا لتعدد طرق تقدير الاستهلاك المائى واحتياج بعضها إلى أجهزة خاصة أو حسابات معقدة فسوف نقتصر على إيضاح بعض ما نستشعر سهولته وإمكانية تطبيقه تحت ظروفنا الحالية .

التوازن المائى Water balance

هناك مجموعة من الطرق لحساب الاستهلاك المائى تعتمد أساسا على تقدير مكونات معـــادلة التوازن المائى . ولقد وضع Tanner هذه المعـــادلة فى الصورة التالية :

$$ET = P - [V_r + V_l + V_i + \Delta V_w + \Delta V_s]/A$$

حيث :

عمق أو معدل الاستهلاك المائى

ET = .Evepotranspiration, depth or rate

عمق أو معدل الامطار ومياه الرى

P = Precipitation, irrigation depth or rate

حجم الانحراف السطحى وتحت السطحى

Vr = Volume of surface and subsurface

حجم التسرب غير المحسوب فى الانحراف

Vl = Volume of leakage from catchment (not measured from Vr)

حجم الماء المتقاطع

Vi = Volume of intercepted water

حجم التغير فى الخزان الجوفى

Vw = Volume change in ground water storage

حجم التغير فى المحتوى المائى فوق مستوى الماء الارضى

Vs = Volume change in water stored above water table

مساحة المنطقة المستقبلة لمياه الامطار أو الرى

A = Area (catchment)

وتستخدم هذه المعادلة لحساب متوسط الاستهلاك المائى لمساحات شاسعة فى الاراضى عندما يمكن تحديد مكونات طرفها الايمن كما يمكن تبسيط إستخدام هذه المعادلة لحساب (ET) باجراء التقديرات على فترات طويلة يمكن فيها عدم حدوث تغير فى V_i ، $\triangle V_s$ ، $\triangle V_w$

كذلك تستخدم معادلة التوازن المائى لإيجاد ET بتقدير النقص فى المحتوى الرطوبى ΔV_s وقياس أو التحكم فى V_r ΔV_w أما V_L فتمثل ذلك الجزء من المياه المتسربة والذى غالبا ما يهمل قياسه ويسبب أخطاء فى تقدير ET ويقاس التغير فى المحتوى الرطوبى بأحدى الطرق السابق شرحها وأفضلها لهذا الغرض طريقة نشتت النيترونات .

ونظراً لصعوبة تقدير مفردات معادلة التوازن المائى أو التحكم فيها تحت الظروف الطبيعية فإن إستخدام الليسيمترات يتلافى هذه الصعوبات ولهذا تعتبر من الوسائل الهامة لتقدير T مما يستدعى شرحها بشىء من التفصيل .

تقدير الاستهلاك المائى بواسطة الليسيمترات

Use fo lysimeters for csnmtpriva use determinations

الليسيمتر ماهو إلا جهاز يقام على حجم من الأرض ، قد يكون مزروعاً بالنباتات أو بدونها ، ومعزول عن الأرض المحيطة به ليتمكن بذلك من تقدير ET بقياسنا لمكونات معادلة التوازن المائى وفى هذه الحالة فإن ($V_L=0$) وقد يمكن قياس V_r أو التحكم فيها لتساوى صفراً . ويشترط للحصول من الليسيمتر على معلومات دقيقة لقيمة ET أن يمثل كذلك الظروف البيئية المحيطة . كخواص الأرض الحرارية والمائية والميكانيكية وكذا خواص النبات من حيث الطول والكثافة والنشاط الفسيولوجى . وتوقف الدقة فى تصميم هذه الأجهزة على طبيعة الغرض من النتائج المراد الحصول عليها من حيث نوع الاستهلاك المائى (أقصى أستهلاك فعلى) ، طبيعة المحصول الخضرى وكذا النمو الجذرى ، طول الفترة المقدر أثناءها الاستهلاك المائى . إذ تحدد هذه العوامل عمق الجهاز ومساحته ، وقة أجهزة تقدير الرطوبة والصرف

فيجب أن يتوفر العمق الملائم لنمو الجذور وتغلغلها كما هو الحال فى وضعها الطبيعى بالارض المجاورة وهذا يعنى زيادة الحرص فى التنفيذ والتحكم فى التشغيل ونتيجة لتأثير المحتوى الرطوبى والتهوية على نمو الجذور لذا يجب مراعاة توزيع الرطوبة بالليسيمتر لتشابة الظروف المحيطة . وقد يكون تحقيق ذلك أمراً صعباً نظراً لعدم اتصال قطاع الارض من أسفله بأرض أخرى مماثلة مما يؤدى إلى رفع محتواها الرطوبى عما هو بالارض المحيطة وبالتالى زيادة مقدار الماء الميسر للاستهلاك واختلاف طبيعة نمو الجذور . وقد يمكن التغلب على ذلك بزيادة عمق الجهاز عن العمق المؤثر للجذور (أكثر عمقاً فى الأرض الطينية عن الرملية) أو تزويد قاع الليسيمتر بأجهزة تضمن جودة الصرف وبقاء التوتر الرطوبى عند القاع منخفضاً بالقدر الذى يسمح بالنمو الطبيعى للجذور أما فى الليسيمترات ذات مستوى الماء الأرضى الثابت والمستخدمة لدراسة الاستهلاك المائى تحت ظروف مشابهة فانها تكون عندئذ أقرب للواقع المراد دراسته كذلك فإنه عند دراسة أقصى استهلاك مائى حيث لاتعانى النباتات من نقص محتواها الرطوبى فيجب توفير العمق المناسب أو أجهزة الصرف مع ضمان المحافظة على بقاء المحتوى لعمق ٣٠ - ٤٠ سم من السطح بحالة مماثلة للأرض المحيطة لمنع التأثير الحرارى الناتج عن اختلاف الرطوبة .

أما مساحة الليسيمتر فتتحدد أساساً بطبيعة النمو الخضرى للمحصول المراد دراسة استهلاكه المائى وكذا حجم الفراغ بين جدران الليسيمتر والأرض المحيطة به . فالمحاصيل الكثيفة المتجانسة النمو كمحاصيل الأعلاف والنجيليات قد لا تستدعى مساحات كبيرة بالنسبة لغيرها من المحاصيل المتفاوتة النمو والغير كثيفة مثل الشجيرات والمحاصيل المزروعة على خطوط . كذلك فإن شكل سطح الليسيمتر يجب تناسبه مع طبيعة زراعة المحصول المختبر ، فما يزرع على خطوط يناسبه الشكل المستطيل عن الدائرى كى تتناسب مساحة المحصول مع سطح الأرض الغير

مغطاه بالنبات . كما تراعى كبر مساحة أرض الليسيمتر بالنسبة لمساحة جدران الفراغ المحيطه به ، ليس فقط لكون هذه المساحة غير مشغوله بالنبـــات ولكن لاختلاف ظروف الحرارة والرطوبة بها عما بداخل الليسيمتر . ويستحسن أن تكون جدران الليسيمتر رفيعة ومصنوعة من مادة لا تتأثر كثيراً بالحرارة مثل النسيج الزجاجى مع البلاستيك ، الامر الذى يقلل من تأثير الفراغ الموائى بين الليسيمتر والأرض المحيطة به .

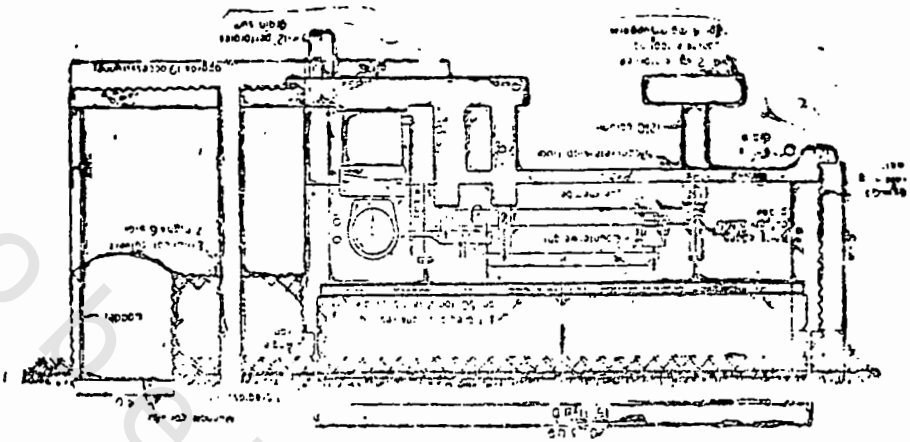
ونظراً لضرورة تماثل الأرض بالليسيمتر بتلك المحيطـــة به فيجب عند ملئه بالأرض المحافظه على نظام ترتيب وتعاقب الطبقات ، لذلك فعند انشائه يوضع ناتج الحفر لكل طبقة من الأرض أو عمق محدد على حدة ثم عند التعبئة ويعد وضع أجهزة الصرف أو المرشحات توضع طبقات الأرض درن دكها ثم تروى للشبع تترك لتجف وهكذا عدة مرات قبل إضافه الطبقة التالية التى تعلوها مع تكرار الخطوات السابقة وهكذا حتى تضمن حد ما تجانس خواص القوام والبناء مع العمق وماثلة الأرض المحيطة . ويراعى أن يكون إرتفـــاع سطح الليسيمتر مساوياً لنفس الإرتفاع المجاور للأرض المحيطة وأن لاتكون هناك عوائق قريبة كالأبنية أو مصدات الرياح أو سطوح غير منزرعة . أما معاملات المحصول المحيط فيجب أن تخضع من حيث التسميد والرى وغيرها من العمليات الزراعية المشابهة لما يحدث لنفس المحصول والمنزرع بالليسيمتر .

ويمكن تقسيم أنواع الليسيمترات إلى نوعين رئيسيين :

١ - ليسيمترات لاتعتمد على الوزن Non welghing lysimeters بل تعتمد على إيجاد الفرق بين كمية الماء المضافة بالرى أو الأمطار (p) وما يجمع من المياه المنصرفة (v_r) والتغير فى المحتوى الرطوبى ($\triangle v_s$) أى أن الاستهلاك

المائى الفعلى يساوى $p - (v + \Delta A_s)/A$. ويعتبر جهاز قياس الرطوبة بنشت البيترونات من أنسب الأجهزة الممكن إستخدامها لتقدير (Δv_s). وفى حالة الرى على فترات طويلة قد يمكن افتراض تساوى المحتوى الرطوبى عند ومن الرى ، أى أن التغير فى المحتوى الرطوبى يمكن إهماله مما يسهل تقدير الاستهلاك الكلى . كذلك عند تقدير أقصى استهلاك مائى فإن المعاملات المائية تحافظ على بقاء المحتوى الرطوبى مرتفعا لحد ما ، أى يمكن افتراض ثبوته . وبالتالى يحسب أقصى إستهلاك من واقع الفرق بين ما يضاف وما يجمع من الصرف . كما تستخدم الليسيمترات ذات مستوى الماء الأرضى الثابت لتقدير أقصى استهلاك مائى إذ يساوى ذلك مقدار الماء الواجب إضافته للمحافظة على بقاء هذا المستوى ثابتا . غير أن معدل صعود الماء من مستوى الماء الأرضى بمعدل أقل مما يحتاجه النبات يحل إستخدام مثل هذه الليسيمترات غير ملائم أو دقائق لتعريفنا لأقصى إستهلاك مائى أى والبخر ـ نتح الممكن potential ET .

٢٠ ـ ليسيمترات تعتمد على الوزن Weighing lysimeters وتستخدم لإيجاد الاستهلاك المائى يدويا وعلى فترات متقاربة قد تكون يوماً أو ساعة ومن أشهر هذه الليسيمترات ذلك الموجود بمعامله كاليفورنيا بديفز والمبين بالشكل رقم (٤٢) ، ويمتاز بكبر حجمه وصغر مساحة الفراغ الهوائى Air gap بالنسبة لمساحه الليسيمتر (أقل من ٣ ٪) ووجود أجهزة تحكم فى الشد الرطوبى والحرارة بفناع الجهاز ودقة قياس الاستهلاك المائى حتى ٠٫٣ مم غير أنه مع ذلك لا يناسب المحاصيل العميقة الجذور ويستحسن إستخدامه لتقدير الاستهلاك المائى للمحاصيل السطحية الجذور أو تحت ظروف الرطوبة الأرضية المتوسطة أو المرتفعة .

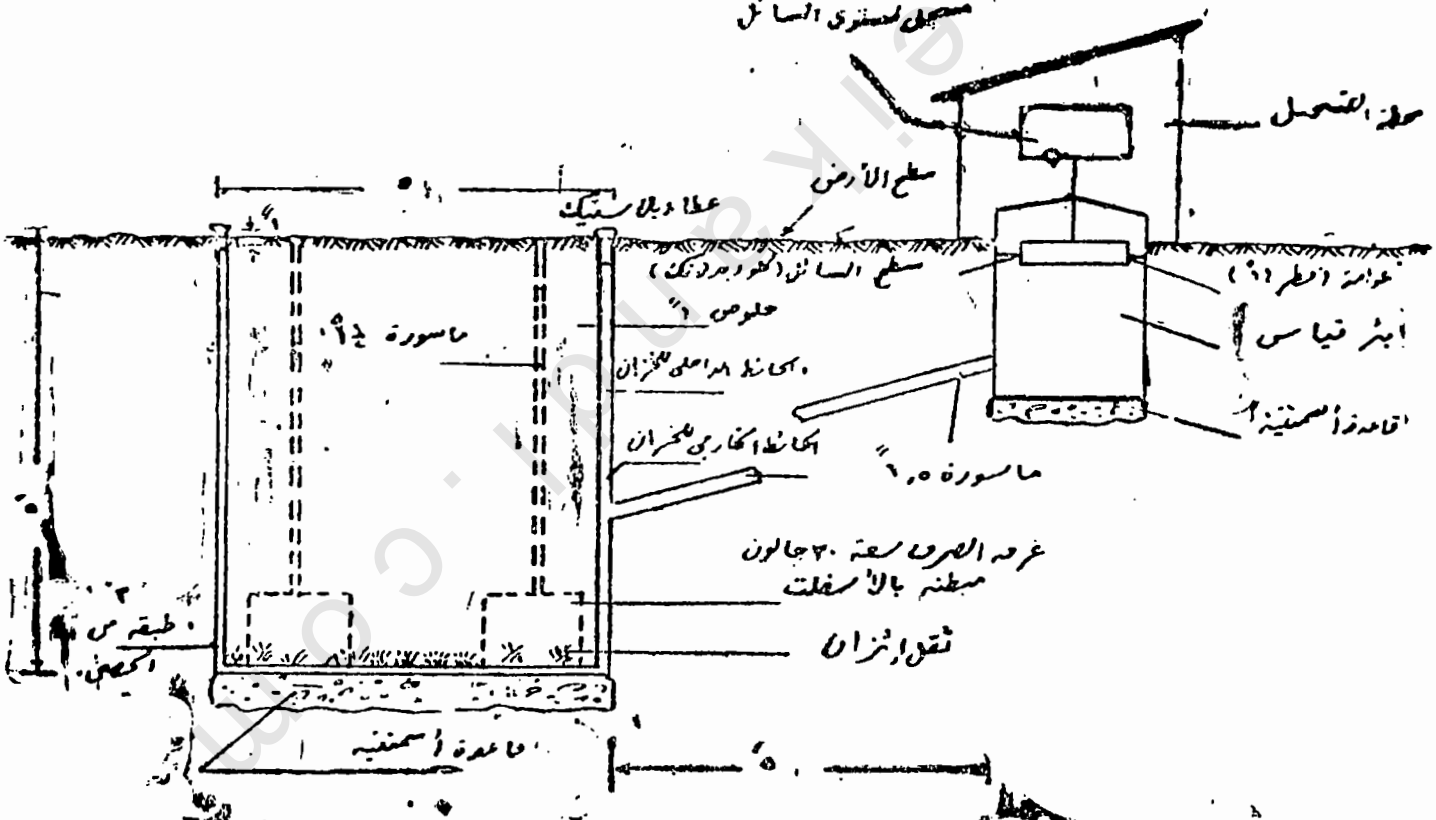


شكل ٤٢ - جهاز الليسيمتر الموجود بجامعة كاليفورنيا بديفز
(قطره ٢٠ قدم وعمقه ٣ قدم وحساسيته ٠,٠٣ مم)

ونتيجة لارتفاع تكلفة مثل هذه الليسيمترات المجهزة بموازين كهربائية وميكانيكية بالمنطقة فان هناك طرق أخرى لتقدير الوزن منها ما يعتمد على تغير الدفع Bouyancy إذ يوضع الوعاء الذى تحتويه الأرض فى آخر به سائل يسمح بطفو الليسيمتر ولذا يسمى F'uating lysimeter . ويؤدى التغير فى المحتوى الرطوبى فى الليسيمتر نتيجة الاستهلاك المائى إلى تذبذب فى منسوب سطح السائل المحيط به يمكن منه معرفة وزن الماء المستهلك ويبين الشكل (٤٣) نموذجا لهذا النوع من الليسيمترات ويستخدم به محلول كلوريد الزنك (كثافته النوعية ١,٠٩) بدلا من الماء . غير أن هناك بعض الانتقادات الموجهة لاستخدام محلول كلوريد الزنك لتأثره بالحرارة أكثر من الماء .

٤ - طرق التجريبية : Empirical methods

هناك كثير من المعادلات التجريبية التى تربط بين القياسات المناخية والاستهلاك المائى . وعادة ما تنطبق هذه المعادلات على ظروف منطقة بعينها ومن


مستوى سطح السائل
حامل التحميل
سطح الأرض
عطاء بلا سنيك
سطح السائل (كلور بنزين)
حلوص
ماسورة
الخائط الداخلي للخزان
الخائط الخارجي للخزان
ماسورة
غرفة الصرف سعة ٢٠ جالون
مبطنة بالأسفلت
ثقل الخزان
طبقة من
الخرسانة
قاعدة أسمنتية
عوامة (طفو)
أنبوب قياس
القاعدة الأسمنتية

حيث نوع النبات وموسم ومراحل نموه . وهذا يستدعى تغيير ثوابت هـذه المعادلات تبعا لتغير هذه العوامل . ومن هذه المعادلات التجريبية ما يعتمد على الطاقة الاشعاعية ، متوسط درجة الحرارة ، الرطوبة ، البخر من أوعية خاصة . وسوف نستعرض نماذجا لهذه الطرق .

ط ـ ـة Penman

تعتبر هذه الطريقة ضمن الطرق المعتمدة على أساس منطقى لاستخدام ميزان الطاقة الاشعاعية مع الاستفادة من البيانات المناخية المتوفرة وربطها بالاستهلاك المائى الفعلى بتجارب تجريبية . ويمكن وضع معادلة Penman فى الصورة التالية لايجاد « البخر - نتح الممكن = ET_p » .

$$ET_p \frac{\Delta}{\Delta +} \frac{H + .27\ E_a}{}$$

ويمكن إيجاد قيمة كل من H ، E_a من المعادلة الخاصة التالية :

$$H = {}^{R}{}_{A}\,(1-r)\,(0.18+055\,n/N) - \sigma$$
$$T_a^4 (0\ 56 - 0\ 092\sqrt{e_d})\,(0\ 10 + 0\ 90\,n/N)$$

$$T^a = 0.35\,(e_a - e_d)\,(1 + 0.0098\,u_2)$$

H = daily heat budget at surface in mm H_2O day

R_A = mean monthly extra terrestial radiation in mm H_2O/day

r = reflection coffiicient of surface

n = actual duration of bright sunshine

N = Maximum possible duraion of bright sunshine

σ = Boltzman constant

σT_a^4 = mm H_2 O/day

e_d = Saturation vapor pressure at mean dew point. mm Hg.

E_a = evaporation in (mm) H_2O/day

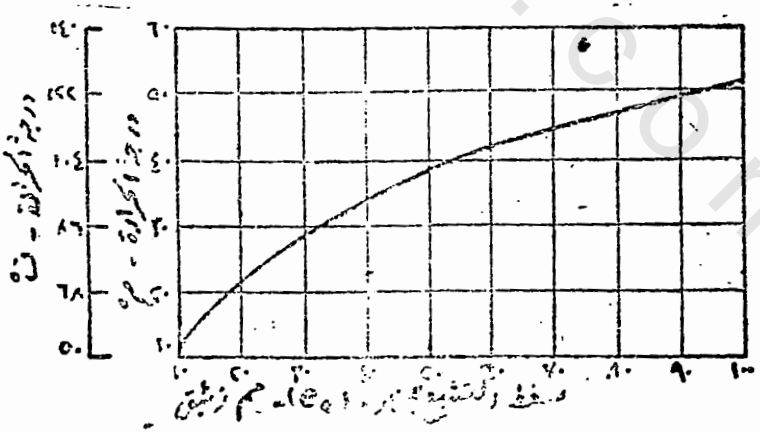
e_a = Saturation vapor pressure at mean air temperature in mm Hg.

u_s = mean windspeed at 2 meters above the ground (miles/day)

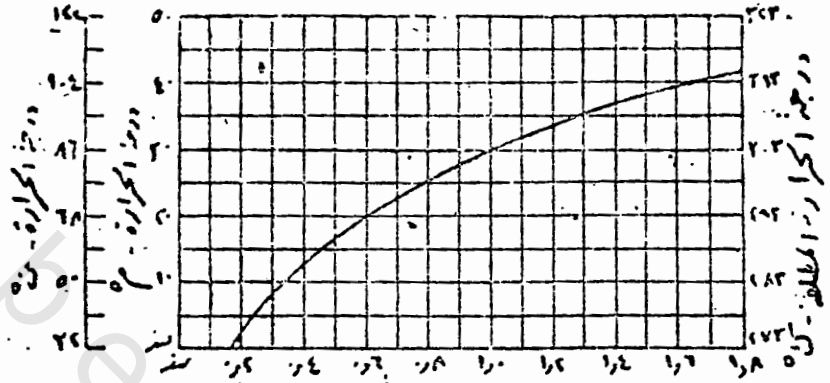
ET_p = Potential evapotranspiration in mm H_2O/day

$\triangle$ = Slope of saturated vapor pressure curve of air at absolute temperature T_a in ^oF (Hg / ^oF)

ويمكن إيجاد قيمة ET_p من واقع البيانات المناخية المتوفرة بمحطات الارصاد الجوية مع الاستعانة بالشكل رقم (٤٤) والشكل رقم (٤٥) والجدول



شكل (٤٤) - قيم ضغط التشبع للبخار عند درجات حرارة مختلفة



$\frac{de_a}{dt}$ = ٨ مم زئبق / ثانية

شكل ٤٥ - علاقة نسبة (التغير فى ضغط التشبع للبخار - مم زئبق / التغير فى الحرارة - ف°) بدرجة الحرارة

رقم (١٣) لحساب بعض قيم المعادلة . وقد أورد Israelsen and Hansen فى كتابهما نموذجا لحساب قيمة E_{T_p} من واقع البيانات المناخية مما يسهل للباحثين الاسترشاد به فى حساباتهم . ولأهمية ذلك لمن لا يتوفر لهم مثل هذه المراجع فقد عرضنا هذا النموذج فى الجدول رقم (١٤) .

جدول (١٣ قيم σT_a^4 عند درجات حرارة مختلفة

درجة الحرارة (ف°)	σT_a^4 (مم ماء/ يوميا)	درجة الحرارة (ف°)	σT_a^4 (مم ماء/ يوم)
٣٥	١١٫٤٨	٧٠	١٥٫١٠
٤٠	١١٫٩٦	٧٥	١٥٫٠٥
٤٥	١٢٫٤٥	٨٠	١٦٫٢٥
٥٠	١٢٫٩٤	٨٥	١٦٫٨٥
٥٥	١٣٫٤٥	٩٠	١٧٫٤٦
٦٠	١٣٫٩٦	٩٥	١٨٫١٠
٦٥	١٤٫٥٢	١٠٠	١٨٫٨٠

جدول ١٤ - نموذج لاستخدام معادلة Penman لإيجاد TE_p

(أ) البيانات :

الشهر	يوليو
درجة حرارة الجو (ف°)	٧٢,٥
الرطوبة النسبية (٪)	٤٠
نسبة طلوع الشمس (n/N)%	٧٠
سرعة الرياح على إرتفاع مترين (u_s) - ميل فى اليوم	١٣٥
معدل الاشعاع (R_A) مم ماء فى اليوم	١٦,٢
معامل الانعكاس (r) %	٢٥

(ب) حل قيمة $R_A(1-r)(0.18+0.55\,n/N)$

$(1-r)$	٠,٧٥
$(0.18+0.55\,n/N)$	٠,٥٦٥
∴ القيمة =	٦,١٦

(جـ) حل قيمة $\sigma T^4_a (0.56-0.092\sqrt{e_d})(0.10+0.90\,n/N)$

الضغط البخارى

عند التشبع (e_a) مم زئبق	٢١,٠
الفعلى (e_d) مم زئبق	١,٤
$\sqrt{e_d}$	٣,٦
σT^4_a من الجدول السابق	١٥,٣٧
$(0.56-0.092\sqrt{e_d})$	٠,٢٩
$(0.10+0.90\,n/N)$	٠,٧٣
∴ القيمة =	٣,٢٥

obeikandl.com

د – حل قيمة H	
قيمة ب ـ قيمة حـ	٣٫٧١
هـ – حل قيمة E_a	
$0.35 (e_a - e_d)$	٤٫٤١
$(1 + 0.00098\ u_2)$	٢٫٣٢
∴ قيمة E_a	١٠٫٢
و – ايجاد حل ET_p	
△ (من الشكل رقم ٤٥)	٠٫٦٥
△ H	٢٫٢٣
$0.27\ E_a$	٢٫٧٥
△ + 0.27	٠٫٩٢
∴ ET_p مم ماء في اليوم	٣٫٠٧

لقد استخدم Penman هذه المعادلة لايجاد الاستهلاك الفعلى لمحاصيل المراعى النامية بانجلترا فوجد تطابقا بين الاستهلاك الفعلى وذلك المحسوب من معادلة Penman مضروباً فى معامل قدره ٠٫٨ . وقد تكون الصعوبة الأساسية فى استخدام معادلة Penman هى عدم توفر البيانات المناخية المطلوبة فى كثير من الجهات وكذلك اختلاف قيمة المعامل إذا ما طبقت المعادلة فى مناخ جاف أو نصف جاف حيث لا يتوفر توازن الحرارة مع الاشعاع الشمسى بالدرجة الموجود عليها فى انجلترا . كما أن استخدام المعادلة بمناطق مزروعة ومحاطة بصحراء يقلل من تأثير Advective energy . وذامع العلم بأن هذه المعادلة تعتمد أساسا لتقدير ET_p على الظروف المناخية ، بينما الاستهلاك الفعلى يعتمد بجانب ذلك على

النبات المنزرع ، خواص الأرض خصوصا من حيث محتواها الرطوبى ، إذ وجد أن الاستهلاك الفعلى يتأثر بدرجة كبيرة بزيادة التوتر الرطوبى عندما يزيد معدل ET_p عن ٣,٨ مم/ اليوم .

طريقة Thornthwaite

تعتبر هذه أحدى الطرق المستخدمة لتقدير ET_p من واقع متوسطات درجة الحرارة . ويؤدى توفر هذه البيانات فى معظم المناطق إلى سهولة استخدام مثل هذه الطرق والتى تعتمد فى فكرتها الأساسية على أرتباط كل من ET_p ودرجة الحرارة على الطاقة الاشعاعية . غير أنه قد يحدث اختلاف ملحوظ بين الطاقة الأشعاعية ، ET_p بينما لا يكون كذلك بالنسبة للتغيرات فى متوسط درجات الحرارة من يوم لآخر . ومعنى هذا أن استخدام مثل هـــذه الطرق يناسب التقديرات الشهرية على الأقل . كما أنه بالمناطق ذات المدى السنوى الواسع لدرجة الحرارة حيث تنخفض درجة حرارة الجو عن الطاقة الإشعاعية أكثر مما تنخفض ET_p تتوقع إنخفاض التقدير فى أشهر الصيف وزيادته فى أشهر الشتاء عن الواقع ولذا فان هذه الطرق تكون أكثر ملائمة لتقدير الاستهلاك السنوى الكلى ، كما أنه من الضرورى إيجاد معاملات شهرية وموسمية تأخذ فى إعتبارها هذا التخلف الحرارى لنوع المحصول ، الظروف الجوية المحلية ليمكن بذلك معرفة الاستهلاك المائى الفعلى .

ولقد توصل Thornthwaite إلى المعادلة التالية التى تربط بين متوسط درجة الحرارة ، ET_p .

$$ET_p = 1.6 \left(10 \frac{T}{I} \right)^a$$

حيث T = المتوسط الشهرى لدرجة حرارة الجو (م°)

I = دليل حرارى Haat index يعتمد على متوسط درجة الحرارة الشهرى لفترات طويلة .

a = ثابت يتوقف على قيمة I .

ET'_p = البخر - نتح الممكن ، والغير معدل Unadjuatable على أساس ١٢ ساعة لأول النهار و ٣٠ يوما فى الشهر .

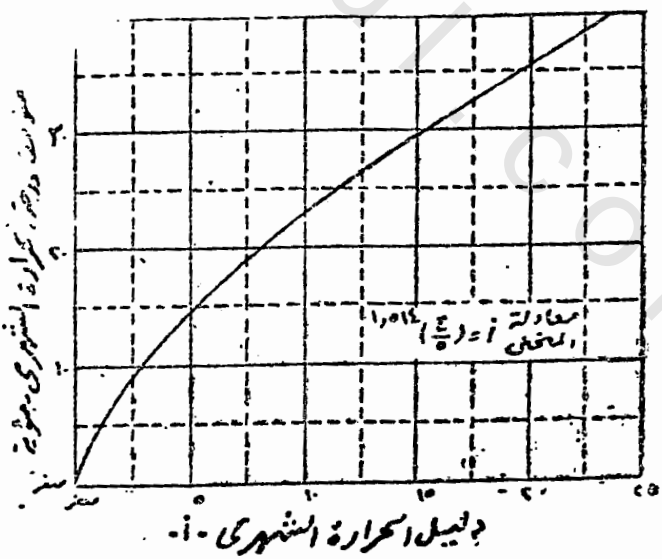
ولهذا فان :

$$ET_p = ET'_p(d_1)(N/30)$$

حيث d_1 = طول النهار الفعلى بالساعة مقسوما على ١٢

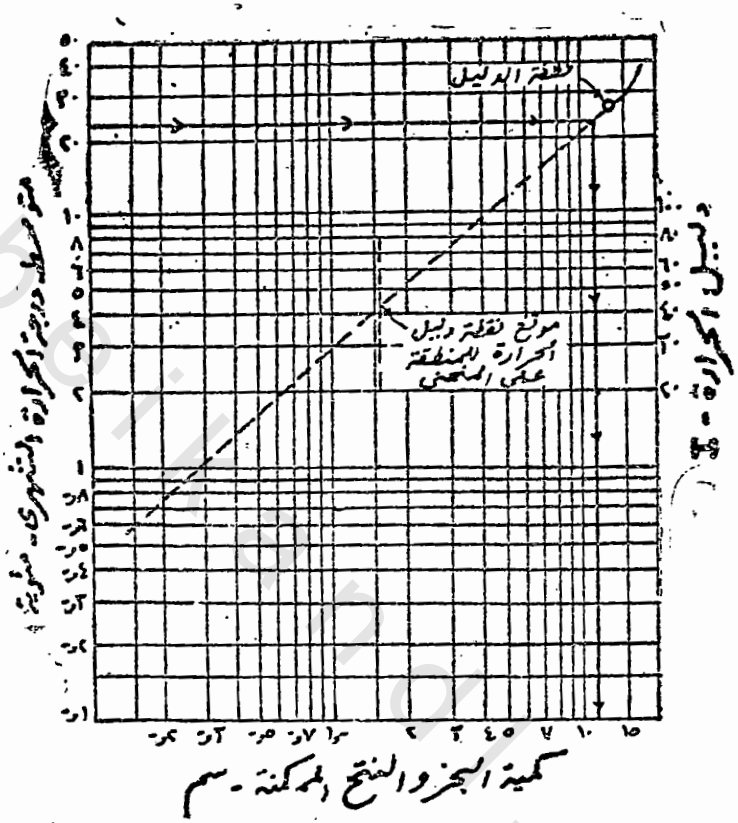
$\overline{N}$ = عدد الأيام فى الشهر

ولاستخدام معادلة Thornthwaite لايجاد ET_p لمنطقة ما نعين فى الشكل رقم (٤٦) قيمة i لكل شهر ونجمعها نحصل على قيمة I للمرصد فاذا ما علمنا أن قيمة ET'_p تساوى ١٦ عندما $t = \frac{I}{10}$ ، امكننا بقسمة I المتحصل عليها



شكل ٤٦ - القيم الشهرية لدليل الحرارة المستخدمة بمعادلة Thornthwaite وعلاقتها بمتوسط درجة الحرارة الشهرى

لإ المنطقة ما أن تحدد الإحداثى السينى والصادى لنقطة التى إذا ما وقعت على الرسم الوغاريتمى الموجود بالشكل رقم (٤٧) ثم وصلت بنقطة الدليل Index doint



شكل ٤٧ - نموجرام لحساب البخر نتح الشهرى باستخدام معادلة Thornthwaite

حصلنا على خط مستقيم تنطبق عليه معادلة Thornthwaite لهذه المنطقة. والملاحظ أن المعادلة لا تأخذ صورة الخط المستقيم على المقياس الوغاريتمى لقيم أعلا من نقطة الدليل (متوسط درجة الحرارة الشهرى ٢٦,٥م ، ET_p قدره ١٣,٥ سم فى الشهر) . ويمكن من الشكل رقم (٤٧) بعد ذلك تحديد قيمة ET_p الشهرية إذا ما عرفنا المتوسط الشهرى لدرجة حرارة الجو . ثم تعين قيمة ET_p باستخدام العلاقة السابقة بين ET_p ، ET_p أو تصحح قيمة ET_p بضربها فى معامل تصحيح يمكن إيجاده من الجدول رقم (١٥) مع العلم بان هذا المعامل يختلف تبعا لعدد أيام الشهر والطول الفعلى للنهار والموقع

جدول ١٥ - قيمة $[d_1 (N/30)]$ المستخدمة لايجاد قيمة ET_p من FT_p

خط العرض الشمالي	يناير	فبراير	مارس	ابريل	مايو	يونيو	يوليو	اغسطس	سبتمبر	اكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
صفر	١ر٠٤	٠ر٩٤	١ر٠٤	١ر٠١	١ر٠٤	١ر٠١	١ر٠٤	١ر٠٤	١ر٠١	١ر٠٤	١ر٠١	١ر٠٤
١٠	١ر٠٠	٠ر٩١	١ر٠٣	١ر٠٣	١ر٠٨	١ر٠٦	١ر٠٨	١ر٠٧	١ر٠٢	١ر٠٢	٠ر٩٨	٠ر٩٩
٢٠	٠ر٩٥	٠ر٩٠	١ر٠٣	١ر٠٥	١ر١٣	١ر١١	١ر١٤	١ر١١	١ر٠٢	١ر٠٠	٠ر٩٣	٠ر٩٤
٣٠	٠ر٩٠	٠ر٨٧	١ر٠٣	١ر٠٨	١ر١٨	١ر١٧	١ر٢٠	١ر١٤	١ر٠٣	٠ر٩٨	٠ر٨٩	٠ر٨٨
٣٥	٠ر٨٧	٠ر٨٥	١ر٠٣	١ر٠٩	١ر٢١	١ر٢١	١ر٢٣	١ر١٦	١ر٠٣	٠ر٩٧	٠ر٨٦	٠ر٨٥
٤٠	٠ر٨٤	٠ر٨٣	١ر٠٣	١ر١١	١ر٢٤	١ر٢٥	١ر٢٧	١ر١٨	١ر٠٤	٠ر٩٦	٠ر٨٣	٠ر٨١
٤٥	٠ر٨٠	٠ر٨١	١ر٠٢	١ر١٣	١ر٢٨	١ر٢٩	١ر٣١	١ر٢١	١ر٠٤	٠ر٩٤	٠ر٧٩	٠ر٧٥
٥٠	٠ر٧٤	٠ر٧٨	١ر٠٢	١ر١٥	١ر٣٣	١ر٣٦	١ر٣٧	١ر٢٥	١ر٠٦	٠ر٩٢	٠ر٧٦	٠ر٧٠

obeikandl.com

طريقة Lowry - Johnson

استخدمت هذه الطريقة بنجاح لايجاد الاستهلاك المائى لمساحات شاسعة من الاراضى فى غرب أمريكا . وتفترض هذه الطريقة وجود علاقة خطية بين الحرارة المؤثرة Effective heat والاستهلاك المائى يمكن تمثيلها بالمعادله التالية

$$ETp = 0.8 + 0.156F$$

حيث :

ETp = الاستهلاك المائى بالقدم

F = الحراره المؤثره معبراً عنها بالآلاف يوم — درجة حراره فهرنهيتية .

هذا وتعرف الحراره المؤثره بانها قيمة مساوية لـ

$\frac{10}{32}$ [مجموع (الفرق بين أعلا درجة حراره يوميه فى الشهر (ف°) مطروحا منها ٣٢°ف × عدد أيام الشهر) بطول موسم النمو] .

ويمكن استخدام المعادلة السابقة لايجاد الاستهلاك المائى بالآلاف متر مكعب للفدان من العلاقة التالية .

$$ETp = 1.025 + 0.360Fo$$

حيث :

Fc = $\frac{10}{32}$ [مجموع (أقصى درجة حرارة يومية (م°) فى شهر ما × عدد أيام الشهر) بطول موسم النمو] ويجب مراعاه أن هذه المعادلة لاتستخدام لمساحات محدوده أو تقديرات شهرية بل لمساحات شاسعة ولفترات طويله ، سنوية .

طريقة Blaney - Criddle

لقد توصل Blaney and Criddle إلى معادلة تجريبية تربط بين الاستهلاك الفعلى (ETa) ومتوسط درجة الحرارة الشهرى وكمية ضوء النهار ومعامل يتوقف على المحصول . وربما كانت هذه الطريقة من أكثر الطرق شيوعاً لتقدير الاستهلاك المائى الشهرى وفى نفس الوقت عرضة لاساءة إستخدامها . فهى تملأ الفراغ الذى يتركه عدم توفر البيانات المناخية المطلوبة لغيرها من الطرق وكذا صعوبة التقدير والحساب فهى تمتاز بسهولتها وبساطتها علاوة على أستنادها الجيد على المنطق وإمكانية التوصيل باستخدامها إلى قيم شهرية معقولة للاستهلاك المائى . وفى المعادلة محاولة للاخذ فى الاعتبار لتأثير المحصول على الاستهلاك المائى غير أن ذلك المعامل الخاص بالمحصول والمعتبر عنصراً أساسياً للمعادلة قد تتعذر معرفته تحت الظروف المحلية لمنطقة ما مما يستدعى ضرورة العمل على إيجاده . وتأخذ المعادلة الصورة التالية

$$ETa = KF$$

$$= K \frac{pt}{100}$$

حيث تقدر المكونات التالية لنفس الفترة الزمنية

ETa = الاستهلاك المائى الفعلى بالبوصة

F = مجموع معاملات الاستهلاك المائى $\left(\frac{pt}{100}\right)$

K = معامل تجريبى (سنوى ، لموسم الرى أو لموسم النمو) يتوقف على نوع المحصول

t = متوسط درجة الحرارة (ف°)

p = نسبة عدد ساعات النهار فى فترة ما بالنسبة لعددها فى السنة

ويمكن إستخدام معادلة Blaney - Criddle لإيجاد قيمة الاستهلاك المائى الفعلى بوحدات المتر المكعب للفدان فى فترة زمنية معينة من العلاقة التالية :

$$ET_a = 1.8\ K\ P\ (t + 18)$$

حيث t = متوسط درجة الحرارة (م°)

وكنموذج لاستخدام المعادلة فإننا نورد بالجدول رقم (١٦) تفاصيل حساب مجموع الاستهلاك المائى للبرسيم الحجازى فى الفترة من ابريل إلى نهاية اكتوبر .

جدول ١٦ = قيمة الاستهلاك المائى للبرسيم الحجازى
فى منطقة بولاية كاليفورنيا

الشهر	ابريل	مايو	يونيه	يوليه	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر
متوسط درجة الحرارة (ف°)	٥٢,٩	٦٢,٥	٦٥,٧	٦٧,٤	٦٧,٨	٦٦,٩	٦٢,٢
نسبة عدد ساعات النهار فى الشهر لعددها فى نسبة (٪)	٨,٨٥	٩,٨٢	٩,٨٤	١٠,٠٠	٩,٤١	٨,٣٦	٧,٨٤
معامل K الشهرى	٠,٦٠	٠,٨٠	٠,٨٠	٠,٨٥	٠,٨٥	٠,٧٥	٣,٧٠
الاستهلاك الشهرى	٣,٠٧	٤,٣٠	٥,١٧	٥,٨١	٥,٤٢	٣,١٣	٠,٤٢
الاستهلاك الكلى = ٣١,٩٢ بوصه							

وكما ذكرنا سابقا فإن قيمة K يجب تقديرها تحت الظروف المحلية السائدة ولقد أعطى Criddle فيما تجريبية لهذا المعامل لكثير من النباتات النامية بقرب أمريكا . والجدول رقم (١٧) يبين هذه القيم لمتوسط موسم النمو وكذلك فى فترة أقصى احتياج مائى حيث تتوقف قيمته على متوسط درجة الحرارة الشهرية ومرحلة نمو المحصول .

جدول ١٧ - معامل K الموسمى والأشهر أقصى احتياج
لبعض المحاصيل النامية بغرب أمريكا

المحصول	طول موسم النمو شهر	معامل K	
		الموسمى	لأشهر اقصى احتياج
أرز	٣ - ٤	١,٠٠	١,١٠-١,٣٠
بطاطس	٣	٠,٧٠	٠,٥٨-١,١٥
بنجر السكر	٥,٥	٠,٧٠	٠,٥٨-١,٠٠
حبوب رفيعة	٣	٠,٧٥	٠,٨٥-١,٠٠
ذرة	٤	٠,٧٥	٠,٨٠-١,٢٠
ذرة رفيعة	٥	٠,٦٠	٠,٨٩-١,٠٠
فواكه متساقطة الاوراق	-	٠,٦٥	٠,٧٠-٠,٩٥
فول	٣	٠,٦٥	٠,٧٥-٠,٨٥
قطن	٧	٠,٧٠	٠,٧٥-١,١٥
مراعى وحشائش مستديمة	-	٠,٧٥	٠,٨٥-١,٠٥
موالح	٧	٠,٦٠	٠,٦٥-٠,٧٥

ويمكن الاستدلال على الظروف الجوية والمناخية السائدة فى منطقة ما من واقع البيانات المتحصل عليها من أقرب محطة أرصاد جوية لها . وبين الجدول رقم (١٨) بعضا من هذه البيانات الواحات الخارجة بمحافظة الوادى الجديد ، أما البيانات الواردة فى الجدول رقم (١٩) فمأخوذة من محطة الارصاد الجوية بالإسكندرية .

جدول ١٨ - بيانات الارصاد الجوية للواحات الخارجة بمحافظة الوادى الجديد [1] (١٩٦٤)

البيان / الشهر	الحرارة درجة مئوية	الرطوبة النسبية ٪	سرعة الرياح متر/ثانية	البخر - مم بيشى	البخر - مم وعاء قياسى	عدد ساعات سطوع الشمس الشهر		الامطار مم
						الممكن	الفعلى ٪	
يناير	١٢ر٧ (٣١ر٧ — ٤ر٦)	٤٩ (٨٥ - ١٨)	٣ر٤ (٥ر٦ - ١٦)	١١ر٣ (٢٣ر٥ - ٦ر٠)	٦ر٤ (١١ر٨ - ٧ر٣)	٣٣٤	٣٠١ ٩٠	لاشى
فبراير	١٥ر١ (٢٩ر٨ — ٦ر٦)	٤١ (٧٨ — ١٥)	٣ر٢ (٥ر٠ - ١ر٨)	١٤ر٠ (٧ر٦ - ١٩ر٨)	٧ر٥ (٤ر٨ - ١ر٠)	٣٢٨	٢٨٧ ٨٧	»
مارس	٢٠ر٩ (٢٥ر٠ - ١٠ر٩)	٢٧ (٧٥ — ٣)	٣ر٣ (٦ر٠ - ١ر٦)	١٨ر٦ (٣١ر٣ - ٨ر٤)	١١ر٤ (١٧ر٨ - ٥ر٤)	٢٧٣	٣٢٩ ٨٨	»
ابريل	٢٥ر٥ (٣٩ر٤ - ١٧ر٠)	٢٢ (٦٥ — ٥)	٥ر٠ (٢ر٨ - ١ر٩)	٣١ر٦ (١٩ر٥ - ٧ر١)	١٨ر٧ (٣٠ر٨ - ١١ر٤)	٣٨٢	٣٢٨ ٨٦	»
مايو	٢٧ر٩ (٢ر٤٦ - ١٩ر٤)	٢٣ (٥٣ — ٧)	٤ر٥ (٨ر٣ - ٢ر٢)	٣٠ر٢ (١ر٤٩ - ١٩ر٧)	١٩ر٣ (٣١ر٤ - ١٢ر٨)	٤١٤	٤٨٤ ٩٣	»
يونيو	٣١ر٤ (٤٥ر٦ - ٢٣ر٠)	٢٣ (٥٤ — ٧)	٤ر٦ (٧ر٧ - ٢ر٢)	٣٣ر٩ (٥٠ر٨ - ٣٢ر٤)	٢١ر٣ (٣٢ر٥ - ١٣ر٥)	٤١٠	٣٧٣ ٩٤	»

يوليو	٣١٫٥ (٢٣٫٦-٤٠٫٨)	٢٧ (١١-٥٥)	٤٫٦ (٣٫١-٦٫٣)	٣٫٣٣ (٢٣٫٧-٤٣٫٨)	٢٠٫٦ (١٥٫٥-٢٦٫١)	٤١٩	٣٩٠	٩٣	لا شيء
أغسطس	٣١٫٩ (٢٢٫٦-٤٢٫٠)	٢٧ (١٢-٦٢)	٣٫٤ (٢٫٢-٥٫٣)	٢٤٫٧ (١٩٫٠-٣٣٫٦)	١٨٫٤ (١٤٫١-٢٤٫٣)	٤٠٢	٣٨١	٩٥	»
سبتمبر	٢٧٫٦ (٢٠٫٠-٣٨٫٢)	٣٤ (١٦-٦٥)	٤٫٧ (٣٫٠-٦٫٢)	٢٧٫٢ (١٨٫١-٣٥٫٢)	١٧٫٦ (١٣٫٤-٢١٫٢)	٣٦٩	٣٤٥	٩٤	»
اكتوبر	٢٦٫٤ (١٦٫٨-٣٩٫٧)	٢٨ (٧٫٧٣)	٣٫٦ (٢٫٤-٧٫٠)	٢١٫٤ (١٥٫٢-٣٠٫٩)	١٣٫٧ (٩٫٢-٢١٫١)	٣٥٩	٣٣٨	٩٤	»
نوفمبر	٣٠٫٥ (١٢٫٦-٣٦٫٥)	٤١ (٥-٨٩)	٣٫٤ (١٫٦-٥٫٨)	٤١٫٤ (٦٫١-٢٦٫٤)	٩٫٩ (٤٫٧-١٧٫٠)	٣٢٨	٣١	٩٥	٢٫١
ديسمبر	١٦٫٤ (٨٫٣-٣٠٫٩)	٤٤ (١٣-٩٠)	٢٫٨ (١٫٤-٦٫٠)	١٠٫٣ (٤٫٤-٢٠٫٩)	٧٫١ (٣٫٢-١٤٫٠)	٢٣٩	٣٠٢	٩٢	لا شيء

(١) الأرقام المعطاة بين قوسين تمثل أعلى قيمة وأقل قيمة فى الشهر . أما الأرقام التى فوقها فمتوسطات يومية .

جدول ١٩ بعض بيانات الأرصاد الجوية بمحافظة الاسكندرية (كمتوسطات شهرية ١٩٤٢ — ١٩٥٥)

البيان / الشهر	الحرارة درجة مئوية	الرطوبة النسبية صباحا	الرطوبة النسبية ظهر	الرطوبة النسبية مساء	سرعة كم / ساعة	البخر مم/اليوم	الأمطار مم
يناير	١٣٫٦ (٩٫٢ - ١٨٫١)[1]	٧٨	٧٦	٥٤	١٥٫٠	٥٫٠	٤٠٫٩
فبراير	١٤٫٢ (٩٫٦ - ١٩٫٠)	٧٦	١٣	٥١	١٦٫٥	٦٫٠	٢٧٫٧
مارس	١٥٫٧ (١٣٫٣ - ٢٣٫٣)	٧١	٧٣	٥١	١٧٫٠	٦٫٢	١٢٫٨
ابريل	١٨٫١ (١٣٫٣ - ٢٣٫٢)	٦٨	٧٤	٥٢	١٥٫٢	٥٫٦	٣٫٠
مايو	٢١٫٣ (١٦٫٦ - ٢٦٫٤)	٦٨	٧٧	٥٤	١٤٫٨	٧٫١	١٫٧
يونيو	٢٤٫١ (٢٠٫٢ - ٢٨٫٢)	٦٩	٧٩	٧١	١٤٫٨	٥٫٨	قطرات

obeikandl.com

يوليو	٢٣٫٠ (٢٢٫٧-١٩٫٥)	٧١	٧٩	٦٤	١٥,٨	٥٫٨	قطرات
اغسطس	٢٦٫٤ (٢٢٫٧-٣٠٫٣)	٧١	٧٩	٦٣	١٣٫٠	٦٫٥	٠٫٦
سبتمبر	٢٥٫٤ (٢١٫٢-٢٠٫٤)	٦٩	٧٤	٥٨	١١٫٠	٦٫٣	٠٫٥
اكتوبر	٢٢٫٧ (١٧٫٧-٢٧٫٨)	٧٠	٧٦	٥٤	٩٫٦	٥٫٨	٦٫٩
نوفمبر	١٩٫١ (١٤٫٧-٢٤٫٢)	٧٦	٧٦	٥٤	١٢٫٨	٥٫٠	٥٣٫١
ديسمبر	١٥٫٢ (١١٫٢-٢٠٫١)	٨١	٧٨	٥٦	١٣٫٠	٣٫٤	٦٠٫٣

(١) القيمة بين القوسين تمثل النهاية العظمى والنهاية الصغرى .

جدول ٢٠ - الإستهلاك المائى لبعض المحاصيل الممكن زراعتها بأراضى مشروع مربوط

المحصول	معامل K	موسم النمو	الإحتياجات الكلية		شهر أقصى إحتياج	الإحتياج المائى فى شهر أقصى إحتياج
			م³ للفدان	سم		سم
أرز	١٫٢٠	مايو - سبتمبر	٤٤١٠	١٠٥	يوليو	٢٣٫٠
برسيم	٠٫٩٠	اكتوبر - مايو	٢٣٦٠	٨٠	إبريل	١٢٫٩
برسيم حجازى	٠٫٩٠	طول السنة	٦٥١٠	١٥٥	يوليو	١٧٫٤
بصل	٠٫٧٠	مايو - اغسطس	٢١٠٠	٥٠	يوليو	١٢٫٤
بطاطس	٠٫٧٥	يوليو - سبتمبر	١٦٨٠	٤٠	اغسطس	١٤٫١
		اكتوبر - يناير	١٤٧٥	٣٥	نوفمبر	٩٫٠
بنجر سكر	٠٫٧٥	مايو - اكتوبر	٣٣٦٠	٨٠	يوليو	١٤٫٤
قين	٠٫٦٥	إبريل - اغسطس	٣٠٠٠	٧٥	يونيو	١٦٫٠
خضروات	٠٫٦٠	يوليو - اكتوبر	١٨٩٠	٤٥	يوليو	١١٫٥

ذرة	٠٫٨٥	مايو - أغسطس	٢٥٢٠	٦٠	يوليو	١٦٫٣
		يوليو - أكتوبر	٢٥٢٠	٦٠	أغسطس	١٦٫٠
ذرة رفيعه	٠٫٨٠	مارس - يونيو	٢١٠٠	٥٠	مايو	١٢٫٥
		مايو - أغسطس	٢٥٢٠	٦٠	يوليو	١٥٫٣
		أغسطس - نوفمبر	٢١٠٠	٥٠	سبتمبر	١٣٫٠
زيتون	٠٦٫٠	طول السنة	٤٤١٠	٠٥	يوليو	١١٫٥
شعير	٠٫٨٥	نوفمبر - مارس	٢١٠٠	٠٥	مارس	١١٫٠
طاطم	٠٫٧٠	يونيو - سبتمبر	٢١٠٠	٥٠	يوليو	١٣٫٤
عنب	٠٫٦٠	فبراير - سبتمبر	٢٩٤٠	٧٠	يونيو	١١٫٥
فواكه متساقطة الاوراق	٠٫٧٠	فبراير - أكتوبر	٤٢٠٠	١٠٠	يوليو	١٣٫٤
فول	٠٫٧٠	أكتوبر - مارس	٢١٠٠	٥٠	مارس	٩٫١

ولقد استخدمت معادلة Blaney & Griddle لتقدير الاحتياجات المائية للمحاصيل المختلفة التى تصلح للزراعة بأراضى مشروع سربوط. ويبين الجدول رقم(٢٠)قيمة K ، موسم النمو ، الاحتياجات الكلية المعدل على أساس طريقة الرى السطحى للمساحة الكلية ، الاحتياجات المائية فى شهر أقصى احتياج للمحاصيل المختلفة .

أوعية البخر Evaporation pans

استخدمت هذه الطرق منذ زمن مبكر لتقدير البخر من السطوح المائية وكذا ET_p . والاعتقاد السائد أنه لابد من وجود ارتباط قوى بين البخر من هذه الأوعية والسطوح المائية والأرض الرطبة والنباتات التى لا تعانى من نقص فى الرطوبة إذ أن كل منها يتحدد أساسا بالظروف الجوية السائدة . وهناك الكثير من أنواع أوعية البخر غير أن أشهرها وأكثرها استخداما هى U.S.Weather Bureau class "A" Pan وإبعادها كالآتى:

القطر ٤٨ بوصة ، العمق ١٠ بوصة ، ارتفاعها عن سطح الأرض ٦ بوصة ، بعد سطح الماء عن حافة الوعاء ٢ بوصة وتختلف أنواع أوعية البخر فى قطرها وعمق الماء بها ، وبعد سطح الماء عن حافتها ، وعزل جدرانها أو زاعدتها عن الجو المحيط كما هو مبين بالشكل رقم (٤٨) كما تختلف فى موضعها فقد تكون مرتفعة عن سطح الأرض أو تركز مباشرة عليه أو منخفضة عنه . كل هذه الاختلافات تؤثر على اختزان الحرارة، التبادل الاشعاعى، ومعاملات التحول للبخار والحرارة. ورغم هذه الاختلافات فإن الإرتباط قوى بين قيمة البخر من هذه الأوعية وقيمة ET_p عند تقديره لفترات أسبوعية أو شهرية . أما بالنسبة للاستهلاك الفعلى فإن الارتباط بينها منخفض .

المحصول	معامل K	موسم النمو	الاحتياجات الكلية		شهر اقصى احتياج	الاحتياج المائى فى شهر اقصى احتياج
			م٣/للفدان	سم		سم
فول سودانى	٠٫٧٥	مايو - أكتوبر	٣٣٦٠	٨٠	يوليو	١٦٫٠
قطن	٠٫٦٥	مارس - سبتمبر	٣١٥٠	٧٥	يوليو	١٢٫٥
قمح	٠٫٨٥	نوفمبر - ابريل	٢٥٢٠	٦٠	مارس	١١٫٠
كتان	٠٫٨٠	أكتوبر - مايو	٣٣٦٠	٨٠	مايو	١٣٫٥
لوز	٠٫٧٠	ابريل - سبتمبر	٤٢٠٠	١٠٠	يوليو	١٣٫٤
موالح	٠٫٥٥	طول السنة	٣٩٩٠	٩٥	يوليو	١٠٫٥
نخيل بلح	٠٫٨٠	طول السنة	٥٨٨٠	١٤٠	يوليو	١٥٫٣

شكل ٤٨- نماذج لأوعية البخر

وهنا وتختلف نسبة ETp/E_{pan} حسب نوع النبات ، موسم النمو ، الجو . ففى انجلترا تتراوح هذه النسبة للنجيل Grass بين ٠,٦٠ إلى ٠,٨٠ ولقد وضع Stanhill العلاقة بين ET_p و E_{pan} للبرسيم الحجازى على أساس شهرى فى صورة معادلة خطية $ETp = 0.70E_{pan} + 0.47$ باستخدام وعاء USWB ومقدرة بالليمتر فى اليوم . كما وضع Pruitt هذه العلاقة لنبات حشيشة الراى فى الصورة التالية فى الأشهر من يناير حتى نهاية مايو ومقدرة بالليمتر فى اليوم $ET_p = 0.79E_{pan} + 0.08$ أما فى الأشهر من يوليو حتى نهاية ديسمبر فى $E\Gamma_p = 0.76E_{pan} - 0.02$.

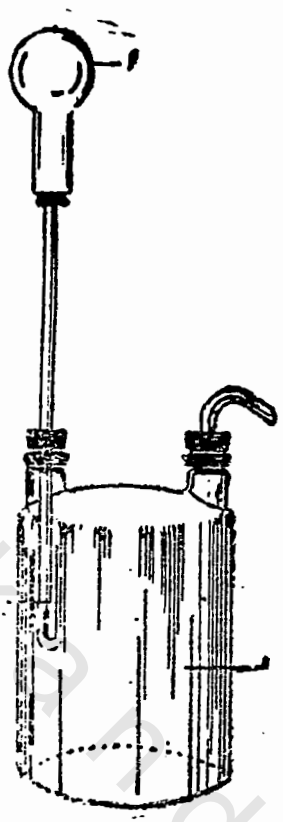
ومن واقع التجارب التى أجراها Pruitt نجد أن لموضع أوعية البخر والظروف المحيطة بها تأثير على قيمة البخر . فمجموع البخر من وعاء U.S.W.B من يوليو حتى آخر ديسمبر وجد أنه يساوى ١٣٥ سم عند وضعه بحقل منزرع بنبات حشيشة الراى ، ١٥٠ سم عندما أحيط وعاء البخر المذكور بالنبات لمسافة ١٤٠٦ وتراكم أرض جافة ، ١٧٥ سم عندما أحيط بأرض جافة بدون غطاء

نباتى . وهذه النتائج تبين أهمية معرفة ظروف النتائج المتحصل عليها من مثل هذه الدراسات عند تطبيقها بمناطق أخرى . ومن المرغوب فيه إحاطة هذه الأوعية بمساحات رطبة لمسافة ٢٠ إلى ٥٠ مترا للتغلب على مثل هذه المشاكل إلى حد ما.

الاتموميترات Atmome'ers

هناك أنواع عديدة من هذه الاجهزة منها Piche atmomter ويتكون من أنبوبة زجاجية مملوءة بالماء فى وضع مقلوب ويتصل بفوهتها قطعة من ورق النشاف تمثل سطح البخر أو سطح ورقة من أوراق النبات والتى يتم خلالها فقد الماء بالنتح ولما كانت مساحة السطح المعرض تعتبر صغيرة ، لذا فان هـــذه الطريقة تعطى فكرة تقريبية عن مقدار الفقد من النبات وعادة مايكون هذا أكثر من المتحصل عليه من أوعيه البخر . ولهذا تضرب قيمة الفقد باستعمال هـــذا الجهاز فى ٧ر٠ لتشابه قيمة الفقد باستعمال أوعيه البخر مع مراعاة أن هذا المعامل يختلف نتيجة لمناخ وفصل السنة ومدى التعرض لأشعة الشمس وبمقارنة النتائج المتحصل عليها باستعمال هذا الجهاز باحتياجات النبات الفعلية نجد أن هذا الجهاز يزيد من تقدير فعل الرياح كما يقلل من تأثير الإشعـــاع الشمسى . كذلك فانه كمعظم الاجهزة القياسيه يعمل مستقلا عن النشاط الفسيولوجى للنبات وهذه نقطة مهمة يجب أخذها فى الاعتبار عند وضع علاقة بين البخر باستخدام هذه الأجهزة وبين الاحتياجات الفعلية للنبات .

ومن الانواع الشائعة Iivingston atmometer وهو المبين بالشكل رقم (٤٩) . وهو عبارة عن سطح من الخزف المســـامى مشكل على هيئة كرة مجوفة ويتبخر الماء من هذه السطوح بنفس الطريقة التى يتبخر بها من سطح مائى مكشوف



شكل ٤٩ - جهاز أتموميتر لتقدير البخر

ا - كرة فارغة من خزف مسامى ، ب - صمام من الزئبق ، حـ - خزان ماء

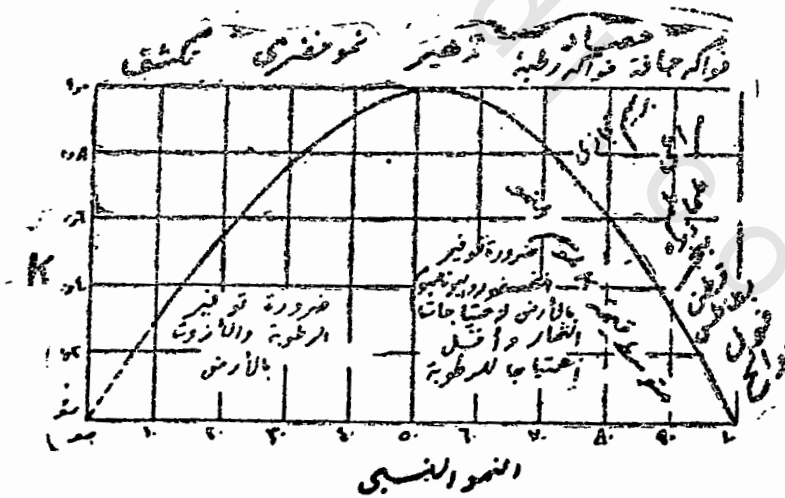
ويوصل الاتموميتر بخزان ماء ومزود غالبا بصمام من الزئبق يحول دون إمتصاص ماء المطر ويمكن تقدير فقد المـــاء من مثل هـذه الاجهزة إ ا بتقدير النقص فى حجم الماء أو بالنقص فى وزن الجـهاز . وبالرغم من أختلاف الميزان الحرارى للاتموميتر عن النبات إلا أن هناك إرتبـــاط قوى بين البخر من هذه الأجهزة ، ET_p . ولقد وجد Prutt أن هذا الارتباط يكون قويا إذا أخذ الفرق بين البخر من الاتموميتر الأسود والاتموميتر الأبيض . وتوصى نتائج دراسة هذه

الأجهزة بضرورة وضعها على إرتفاع قياسي وإحاطتها بظروف قياسية معروفة إذ تتأثر النتائج بالارتفاع والظروف المحيطة من نبات أو أرض جافة .

علاقة المعامل التجريبي K بمراحل نمو النبات :

Relation of empericalcoefficient "K" to stage of plant growth

الآن وقد استعرضنا الكثير من الطرق المستخدمة لتقدير البخر - نتح المكن نعلم أنه من الضروري لايجاد الاستهلاك الفعلي استخدام معامل تجريبي "K" يتوقف على نوع النبات ومراحل نموه علاوة على الظروف المناخية والبيئة المحيطة وتشير تحاليل بيانات الاستهلاك المائي والظروف الجوية لكثير من المحاصيل في انحاء مختلفة من العالم إلى أن النسبة بين الاستهلاك المائي والظروف الجوية تمثل هذا المعامل التجريبي والذي يختلف حسب مراحل نمو المحاصيل المختلفة وتأخذ العلاقة بينهما بصورة عامة شكل المنحنى المبين بالشكل رقم (٥٠) وقد يقدر الاستهلاك



شكل (٥٠)

منحنى يوضح العلاقة بين النمو النسبي للمحاصيل وقيمة K (الاستهلاك المائي / البخر)

المائى باحدى الطرق السابق شرحها أما الظروف الجوية فيمكن إختيار دليل مناسب لها . فمثلا فى معادلة Blaney- Criddle يمكن إعتبار المعامل التجريبى « K » المبين على المحور الصادى مساويا لقيمة $\frac{ET}{F}$ حيث ترمز F إلى الظروف الجوية . ومن هذا الشكل نرى أن قيمة هذا المعامل تزداد بتقدم النبات فى العمر من مرحلة الانبات إلى التزهير ثم تقل بعد ذلك . أما القيم التى تمثل متوسط المعامل التجريبى لموسم النمو فتختلف حسب الفترة التى يبقى بها النبات مخضرا . فالبرسيم الحجازى مثلا يحش باستمرار فى مرحلة النمو الخضرى وقبل التزهير مما يرفع من متوسط قيمة المعامل عن تلك الخاصة بالفول والذى يجمع بعد جفافه .