الموازنة المائية فى الجزائر

للدكتور حليمى عبد القادر حمود *

توجهت الأبحاث فى السنوات الأخيرة نحو دراسة الموازنة المائية التى ترتبط أشد الأرتباط بعلم المناخ الذى يعد فرعا من أهم فروع الجغرافية الطبيعية .

وعلم الجغرافية الذى ظل مدة طويلة من الزمن يزخر بالوصف أخذ يتجه حالياً نحو التحليل الإحصائى وإستعمال المعادلات الرياضية والقوانين الفيزيائية للوصول إلى ضبط مدى علاقات التاثير والاستجابة بين عناصر المركب البيئى بمفهومه العام أى سواء أكان حيويا أو طبيعياً .

ولقد تعرض بعض الجغرافيون منذ القديم إلى عوامل الأرتباط بين عناصر المركب البيئى فى أبحاثهم إلا أن هذا التعرض ظل يتأرجح بين الوصف الأدبى أو الإنشائى البعيد عن الضبط العلمى وبين القياسات الدقيقة ومحاولة الإنطلاق نحو التحليل الأحصائى .

ولعل الفضل فى توجيه الجغرافية الحالية فى أغلب بلدان العالم نحو البحث العلمى المفيد يرجع إلى تقدم الإختراعات وصناعة الأجهزة الدقيقة لقياس عناصر المناخ مثل أجهزة قياس الأشعة الشمسية والعناصر الأرجوية بصفة عامة قياساً دقيقاً بعيداً جداً عن الخطأ ، بل أن مجال الخطا أصبح فى بعض القياسات ضعيفاً حتى لايكاد يذكر ثم بفضل أختراع الآلات الحسابية وآلة الإعلام الآلى بالخصوص أصبح علم المناخ لا يقتصر على صرد الأرقام أو ترتيبها فى جداول معينة فقط بل تعدى هذه المرحلة إلى مرحلة تقويم وضبط العناصر المناخية وحصرها فى إحصائيات دقيقة تعد القاعدة الأساسية فى التخطيطات الاقتصادية والعمرانية والإستراتيجية .

وفى موضوعنا هذا سنتعرض إلى الموازنة المائية وأهم الطرق المستعملة فى حسابها ثم ذكر علاقتها بالتنمية الزراعية للجزائر فى شكل تطبيقات للتقديرات المائية للرى .

---

* مدير المعهد الجغرافى بجامعة الجزائر .

معنى الموازنة المائية :

نقصد بالموازنة المائية water balance=bilan hydrique الدراسة المقارنة بين كمية المياه الساقطة على مساحة معينة من سسطح الأرض كحوض مثلا وبين مختلف أشكال التحول أو التوزيع التى تسلكها هذه المياه من تبخر وجريان وتسرب نحو التربة والخزانات الباطنية للأرض .

وحسب هذا التعريف يظهر أن الموازنة المائية ترتكز على تقويم العناصر الطبيعية من تبخر، وجريان، ورطوبة للتربة السطحية وما تحتها، ثم معرفة توزيع هذه العناصر الطبيعية والدور الذى تلعبه فى الدورة المائية بالخصوص .

وقد وضعت معادلات كثيرة لحساب الموازنة المائية يمكن إنجازها فى الآتى :

ت = ب + ج + خ ، أو ت — (ب + ج + خ) = صفر

$$P - (E + D + R) = Zero$$

على أساس أن حروف تلك المعادلة يرمز بها إلى :

ت = التساقط

ب = التبخر

ج = المياه الجارية على سطح الأرض

خ = المياه المخزونة فى التربة

ويلاحظ على هذه المعادلة لحساب الموازنة المائية أنها بسيطة فى مظهرها العام لكنها عويصة فى أعماقها ، إذ تتطلب أعمالا كبيرة وحسابات معقدة ، وقياسات كثيرة ودقيقة فى تطبيقاتها . وكل حد من حدود هذه المعادلة يقدر بالمليمتر ويحول إلى ما يعادله بالمليمتر من المـــاء .

وفيما يلى سنحلل كل حد من حدود تلك المعادلة للموازنة المائية بادئين بالتساقط .

١ ــ التساقط :

يراد بالتساقط فى الموازنة المائية كل نوع من أنواع التساقط من أمطار وثلوج وبرد . وقياس التساقط ليس من السهل لاعتبارات كثيرة تحول دون القياسات الدقيقة يجب مراعاتها منها :

(ا) أن أجهزة القياس كثيراً ما أعطت أرقاما مضللة ، وربما كان السبب فى هذا التضليل يعود إلى التيارات الهوائية التى كثيراً ما أبعدت القطيرات المائية أو البلورات الثلجية أو غيرهما من أنواع التساقط عن النزول فى فوهات أجهزة مقاييس التساقط البليفيوغراف أو البليفيومتر (ولهذا يكون من الأنسب أضافة نسبة معينة بعد التجربة إلى الرقم الذى سجله الجهاز فى المناطق الكثيرة الرياح ، أو فى الفصول الشديدة الرياح ، وقد تصل هذه النسبة حتى ١٥٪ . وبذلك يصبح التساقط الفعلى يساوى ما سجله جهاز التساقط مضافاً إليه نسبة مئوية . وبعد معرفة كمية التساقط الفعلية تحسب كل الكمية المائية النازلة فى المنطقة (الحوض الذى يراد معرفة موازنته المائية) .

(ب) تحتاج عملية تقويم التساقط إلى أجراء عملية احصائية وذلك بوضع ورقة ملليمترية على خريطة المنطقة أو الحوض وحساب عدد المربعات الملليمترية لاستخراج مساحة المنطقة أو الحوض . وهذه العملية دقيقة للغاية . وتحتاج إلى عناية كبيرة ذلك أن دقة حساب الموازنة المائية تتوقف على دقة تقويم التساقط إلى حد كبير ، وحسب القاعدة الرياضية السابقة الذكر فان المكتسب من التساقط يساوى المفقود من أى أن كمية التساقط يجب أن تساوى الكمية المتبخرة زائد الكمية الجارية مضافة إلى الكمية الجارية مضافة إلى الكمية المخزونة .

٢ ـ التبخر :

يراد بالتبخر الكمية المائية التى أنطلقت أو تبخرت من سطح الأرض ورجعت إلى الجو سواء أكان سطح الأرض تكسوه الغابات أو التربة أو المسطحات المائية .

ويفرق البعض بين النتح والتبخر فا لأول يطلق على النباتات والثانى على غيرها . وقد تدمج الكلمتين للدلالة عليهما معا ، لهذا أطلقت كلمة البخر النتحى Evapotranspiration أو التبخر الكلى لتشمل التبخر إذا كان من أصل نباتى أو غير نباتى ، لكن ظاهرة التبخر الكلى تختلف فى الشدة باختلاف الكمية المائية التى يحويها الجسم المتعرض للتبخر وباختلاف عوامل التبخر . فاذا كان الجسم غاصا بالمياه مثلا اشتدت عملية التبخر وزادت الكمية المائية المتبخرة والعكس صحيح ، ولهذا كان من الضرورى التميز بين التبخر الكلى أى البخر النتحى الكامن أو الممكن

أو المحتمل Evapotranspiration potentielle E.T.P. وهو تبخر الجسم الغاص بالمياه كالمسطحات المائية مثلا والتربة المشبعة بالمياه . وهذا نادراً مايحدث وكثيراً ما كان أصطناعيا وبالخصوص فى البلدان العربية التى تشكو وطأة الجفاف على مدار السنة تقريباً .

وبين التبخر الفعلى أو الحقيقى : Evapotranspiration Reelle E.T.R.

وهو التبخر الكلى للجسم إذا كان غير غاص بالمياه مثل التربة إذا كانت غير مشبعة بالمياه وتعرضت لعوامل التبخر من حرارة ورياح وجفاف جو تتبخر تبخرا يختلف عنه لو كانت مشبعة . ولاحظ أن التبخر الكلى الفعلى يكون مساويا للتبخر الكلى المحتمل إذا كان الجسم المعرض للتبخر عبارة عن مسطحات مائية أو أحواض زراعية غاصة بالمياه .

وفى حساب الموازنة المائية يغفل التمييز بين التبخر الكلى الفعلى والتبخر الكلى المحتمل .

وقد يقاس التبخر الكلى مباشرة باجهزة خاصة ، منها جهاز الليزيمتر Lysimetre

لكن هذا الجهاز يكلف نفقات كبيرة زيادة عن ذلك فهو لا يمثل الظروف الطبيعية تمثيلا صحيحاً ودقيقاً ، لأنه عبارة عن حوض كتيم مدفون فى الأرض ، له حافة حادة ، ومفتوح فى جهاته العليا ، يملاء بالتراب الذى يراد دراسته حتى أرتفاع معين ، ويوضع هذا الحوض فوق ميزان كبير له حساسية فائقة بحيث يسجل آليا الكمية المائية حتى ولو كانت تساوى ٢٥ ، ٠ مم موزعة على كامل التربة داخل الليزيمتر الذى يسقى من حين لآخر ، أيضاً ، وقد يقاس التبخر بحوض اصطناعى يعرف بحوض التبخر ، وهو عبارة عن اناء مدفون فى الأرض أو على أرتفاع ١٥ سنتيمتر فوق مستوى سطح الأرض يملاء بالماء ، وقد ياخذ هذا الحوض شكل متوازى السطوح ، مقطع قاعدته مربع طول ضلعه ٠,٩١٤ م وعمقه ٠,٤٦٢م وقد ياخذ شكل أسطوانة قطرها ١,٢١٩ م وعمقه ٠,٢٥٤ م والحوض الأسطوانى الشكل هو الأكثر استعمالا لدى أغلب المحطات الميترولوجية وقد يقاس التبخر بجهاز بسيط للغاية يعرف بمقياس بيش Piche للتبخر ، وقد تستعمل معادلات رياضية معينة لحساب التبخر الكلى بدلا من قياسه .

وتعتمد طريقة حساب التبخر على بعض المعطيات للأرصاد الجوية مثل الفوارق الحرارة للبسيكرومتر وسرعة الرياح، والاشعاع الشمسى والحرارة ونذكر من هذه المعادلات معادلات : ثورنتوايت Thornthwaite ، وبنمان Penman وتورك Ture وهناك معادلات أخرى كثيرة يطول شرحها مثل معادلة : بلانى — كريديل Blaney—Criddle وبوشى Bouchet

معادلة ثورانتوايت :

لقد جاء بها سنة ١٩٤٨ ونشرها للعالم فى المجلة الجغرافية Geogrophical Review بشهر فبراير من تلك السنة بعد أن أدخل عليها بعض التعديلات وقد حاول تطبيقها على غرب أستراليا . وتتلخص هذه المعادلة فى الآتى :

$$EP = 1{,}6 \times L\left(\frac{10t}{L}\right)^{a} \qquad \text{تم} = ١{,}٦ \times \text{ع} \left(\frac{\text{ج}}{\text{م}} \times ١٠\right)^{\text{ج}}$$

على أن هذه الحروف يرمز بها إلى :

تم = التبخر الكلى المحتمل للشهر مقدرا بالملليمتر على فرض أن طول الشهر ٣٠ يوما وطول اليوم ١٢ ساعة ، ع = معامل متغير بتغير أطوال النهار ودرجات العرض ، ويستعمل للتصحيح ح = المتوسط الشهرى للحرارة بالدرجات السلسيوسية أى المئوية .

م = معامل الحرارة indice de chaleur وقد أطلق عليه فيما قبل ١٩٤٨ فعالية الحرارة efficacite de la Temperature وهو معامل متوسط الحرارة الشهرية الذى يساوى $\left(\frac{\text{ج}}{٥}\right)^{١{,}٥١٤}$ لمجموع شهور السنة على أن الحرف ح يرمز به للمتوسط الشهرى للحرارة محسوبة بالدرجات المئوية .

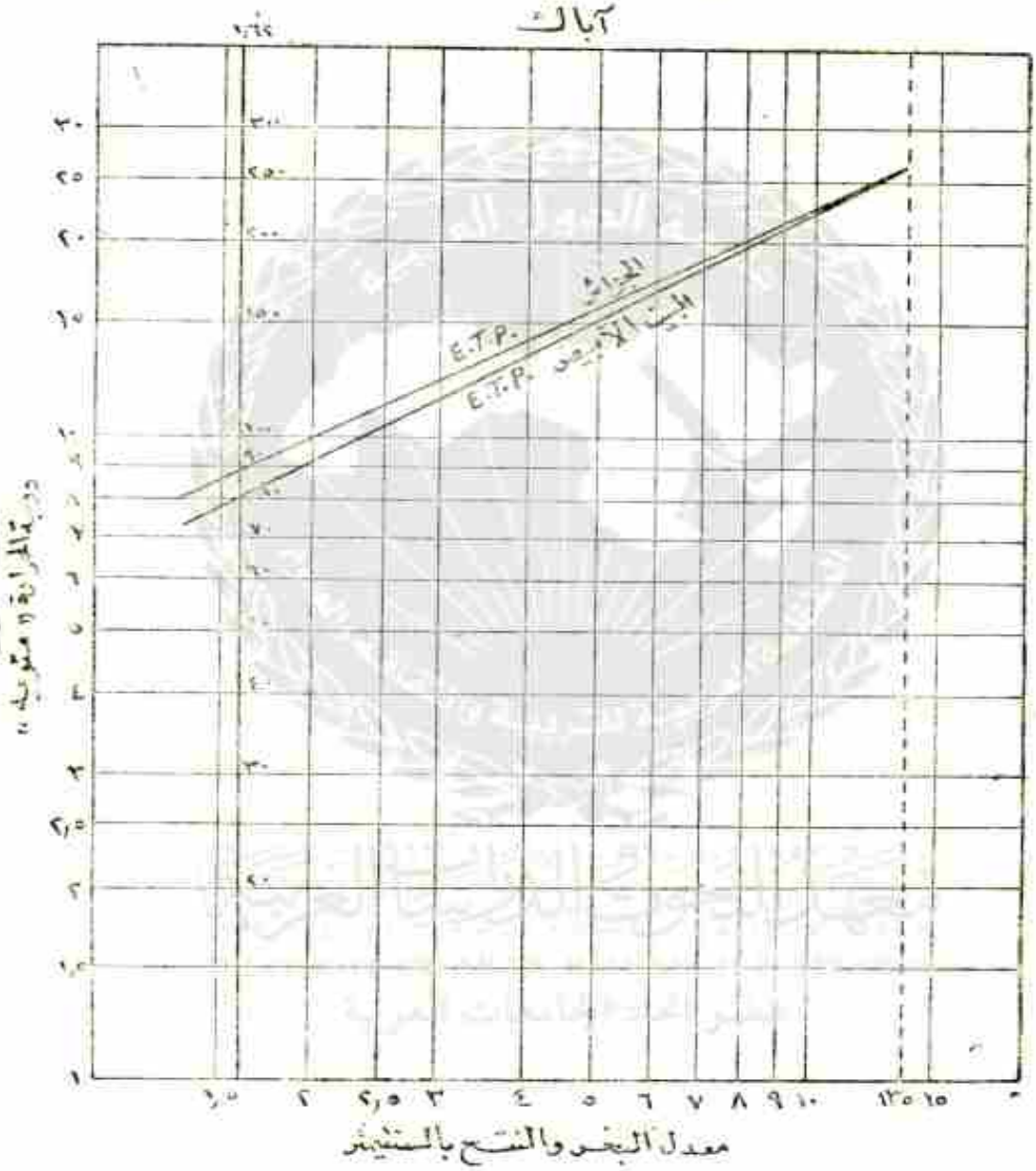
$$\text{ج} = ٦{,}٧٥ \times ١٠^{-٧}(\text{م})^{٣} - ٧{,}٧١ \times ١٠^{-٥}(\text{م})^{٢} + ١{,}٧٩ \times ١٠^{-٢}(\text{م}) + ٠{,}٤٩$$

ويظهر من متابعة وتحليل معادلة ثورنتوايت أن عملية حساب التبخر الكلى المحتمل لاتحتاج إلا لبيانات المتوسطات الشهرية للحرارة ، ولدرجة عرض المكان أو المحطة التى يراد تقويم تبخرها الكلى المحتمل . كما يلاحظ أن هذه الطريقة تعتمد على اللوغاريتمات لحساب معامل الحرارة بالخصوص . ولهذا قد وضع ثورنتوايت

طريقة حساب احتمال البخر والنتح

"ثورنثويت"

آباك



جداول خاصة ، لتسهيل العمليات الحسابية ، فيها نجد قيم المعامل المتغير (ع) ومعامل الحرارة الشهرى (م) .

وقد لقيت هذه الطريقة انتقادات كثيرة من طرف المدرسة الفرنسية بالخصوص لأنها تعتمد على الحرارة وحدها فى تقويم عملية التبخر . ولأنها تفرض أن الجسم المعرض للتبخر هو جسم مشبع بالمياه . والواقع أن التبخر الكلى المحتمل لا يربط بالحرارة فقط بل أن عملية التبخر ، وشدتها بالخصوص ، ترتبط أشد الأرتباط — زيادة عن الحرارة — بسرعة الرياح ، ورطوبة الجو ، وإختلاف الضغط وكمية الطاقة الواصلة إلى سطح الأرض ، ثم أن النباتات تختلف عن بعضها فيما تنتجه من بخار الماء باختلاف أنواعها بل وباختلاف مراحل نموها .

وحسب ثورنثوايت يمكن الحصول على الموازنة المائية لكل شهر بخصم كمية التبخر الكلى المحتمل (تم) للشهر من كمية التساقط لنفس الشهر ، وقد يكون الناتج موجباً وقد يكون سالباً وإذا جمعت التقويمات الشهرية السالبة وقسمت على التبخر الكلى المحتمل السنوى حصل على ما يعرف بمعامل الجفاف . ونفس الطريقة تسلك باستبدال التقويمات الشهرية الموجبة فقط لحساب معامل الرطوبة . وإذا ضرب معامل الجفاف فى ٠,٦ ثم خصم من معامل الرطوبة حصل ما يعرف بالموازنة المناخية السنوية .

معادلة بنمان :

وهى أكثر المعادلات شيوعا وضبطا لحساب التبخر الكلى المحتمل ، إذ فيها يراعى بنمان العوامل الأساسية المؤثرة فى التبخر وهى :

الحرارة ، والأشعاع ، والرطوبة الجوية ، سرعة الرياح . وقد بين أن تبخر الغطاءات النباتية المشبعة بالمياه أقل من تبخر المساحات المائية فى نفس الظروف المناخية وأن قيمة الالبيدو — وهى نسبة الطاقة الأشعاعية المنعكسة على الطاقة الأشعاعية الواصلة — تختلف باختلاف طبيعة السطح الذى يتلقى الطاقة الأشعاعية فهى مرتفعة بالنسبة للغطاءات النباتية إذا ما قورنت بالمياه (٠,٢٥ للغطاء النباتى ٠,٠٥ بالنسبة للماء) الخ . . . . .

وصياغة معادلة بنمان للتبخر كالآتى :

$$E = \frac{H\Delta + EaY}{\Delta + Y} \qquad \text{تم} = \frac{\text{هـ}\,\Delta + \text{ث}\,Y}{\Delta + Y}$$

على أساس أن هذه الحروف يرمز بها إلى الآتى :

تم = التبخر الكلى المحتمل مقدرا بالملليمتر .

هـ — الأشعاع الخالص Rayonnement net محول إلى كمية التبخر على أساس أن

هـ = مم = $\frac{\text{شخ}}{٦٠}$ فى حالة ما إذا كان الأشعاع الخالص (شخ) مقدرا بالكالورى للسنتيمتر المربع فى الدقيقة الواحدة . وقد يقاس الأشعاع الخالص ، وقد يحسب بالمعادلة التجريبية لبرانت Brunt وهى :

$$Qn = iga\,(0.18+0.55\,\frac{n}{N})\,(1-a)-6\,T^4\,(0.56-0.09\,\sqrt{ed})\,(0.1+0.9\,\frac{n}{N})$$

ث = القدرة التبخرية للهواء أو قدرة التبخر بالملليمتر لسطح مائى فى درجة حرارة الهواء الواقع على أرتفاع مترين فوق سطح الأرض . وهذه القيم قدأستخرجها بنمان من خلال تجاربه المتعددة ووضعها فى جداول معينة وهى تابعة لشدة الضغط الأقصى لبخار الماء فى درجة حرارة الهواء ، وشدة الضغط الأقصى لنقطة الندى ، وسرعة الرياح على أرتفاع مترين عن سطح الأرض .

Δ = تغيرات شدة ضغط بخار الماء للهواء المشبع مقاسه بالملليمتر الزئبقى للدرجة المئوية بالنسبة لحرارة الهواء الفعلية .

Y = الثابتة البسيكروميترية وتساوى ٠.٤٨ إذا كانت درجة الحرارة مقدرة بالدرجات المئوية والضغط بالملليمتر الزئبقى . وقد تعرف هذه الثابتة البسيكروميترية أيضاً بثابتة بوين laconstante de Bowen

والمتتبع لمعادلة بنمان يجد أنها تحتاج إلى معرفة الآتى :

١ — الأشعاع الكلى .

٢ — السطوع الشمسى النسبى .

٣ — متوسط درجة حرارة الهواء .

٤ — المتوسط لشدة ضغط بخار الماء .

٥ ـ الألبيدو للسطح .

٦ ـ سرعة الرياح .

ولا شك أن معرفة كل هذه العناصر الستة التى تعتمد عليها معادلة بنمان لحساب التبخر تتطلب حسابات طويلة وتجارب عديدة وأعمال ميدانية وأخرى مخبارية لهذا قد وضع لها بنمان جداول خاصة يمكن قراءتها بسهولة لتقويم التبخر بشرط أن تتوفر المعطيات الأربعة الآتية وهى :

١ ـ درجة الحرارة مقاسة على أرتفاع مترين عن سطح الأرض .

٢ ـ المدة الفعلية لسطوع الشمس أى عدد الساعات التى سطعت فيها الشمس على سطح الأرض .

٣ ـ الرطوبة النسبية .

٤ ـ سرعة الرياح على أرتفاع مترين من سطح الأرض .

وهذه البيانات الأربعة يمكن الحصول عليها من المحطات المترولوجية .

ويلاحظ على معادلة بنمان أنها لاتعطى نفس النتائج التى تعطيها معادلة ثورنتوايت وقد بينت التجارب والمقارنة بين قياس التبخر وحسابه التى أجريت فى السنغال وفى بلجيكا أن قيم ثورنتوايت أكبر من قيمة بنمان بحوالى ١٠٪ بصفة عامة .

معادلة تورك :

وهى أقل تعقيداً من معادلة بنمان . حيث أن معادلة تورك للتبخر الكلى المحتمل تعطى الأهمية للحرارة وللسطوع الشمسى ، وقد لقيت هذه المعادلة أقبالا كبيراً فيما بعد سنة ١٩٦٠ من طرف الباحثين الفرنسيين الذين أستعملوها لقياس التبخر الكلى المحتمل فى فرنسا ولحاجات النباتات للرى . وتتلخص معادلة تورك فى الآتى :

$$\text{تم} = ٠٫٤ \times \frac{\text{ج}}{\text{ج} + ١٥} \left(\text{شك} + ٥٠ \right)$$

وحروف هذه المعادلة يرمز بها إلى الآتى :

تم = التبخر الكلى المحتمل بالمليمتر فى الشهر .

ح = المتوسط الشهرى للحرارة بالدرجات المئوية .

شك = الأشعاع الكلى . (أى الأشعاع الشمسى والأشعاع الجوى) للسنتمتر المربع فى اليوم . وهى قيمة المتوسط اليومى للشهر ،وتحسب قيمة الأشعاع الكلى على أساس مدة السطوع الشمسى وذلك حسب المعادلة : شك = شث (ا + ب $\frac{ض}{ض_{ص}}$)

أى أن الأشعاع الكلى يساوى الثابتة الشمسية (شث) مضروبة فى معامل ا مضافاً إليه المعامل ب المضروب فى نسبة السطوع الفعلى (ض) على السطوع النظرى (ض) على أن المعاملين أ ، ب يختلفان حسب المناطق . فهمنا حسب تقديرات نجستروم Angstrom (١٩٢٢) للجزائر ا = ٠,٤٨

ب = ٠,٠٥٨ على أساس معامل أرتباطى قيمته ٠,٧٣.

ومعادلة تورك لحساب التبخر الكلى المحتمل تعطى نتائج قريبة من نتائج معادلة ثورانتوايت وبالخصوص فى المناطق المدارية .

الجريان : l'ecoulement

يقصد بالجريان المياه الجارية على سطح الأرض فى الأودية والأنهار والمجارى المائية بصفة عامة . ذلك أن الأمطار بعد نزولها جزء منها يتسرب إلى باطن الأرض لتمون طبقة الخزانات المائية الباطنية، وجزء يجرى على سطح الأرض نحو المنخفضات سالكاً مجارى معينة، وجزء آخر يتبخر فى نفس الوقت ليعود إلى الجو،فاذا رمزنا لارتفاع كمية المتوسط السنوى للتساقط على سطح سفوح حوض بالحرف تِ ورمزنا بالحرف نِ لارتفاع المتوسط السنوى للغشاء المائى أو مايعرف بالصحيفة المائية la lame d'eau التى من المفروض أن تتوزع توزيعا منتظما فوق سطح هذا الحوض والذى يصرفه سنوياً مجرى نهر الحوض أو مايعرف بانصباب المجرى عند مخرجه lame d'eau ecoulee a l'excutoire فاننا نحصل على عجـــز الجريان le deficit d'ecoulement فى الصيغة الآتية :

عجز = ت — ن . وكما يلاحظ على هذه الصيغة أن عجز الجريان يساوى تقريباً الكمية المتبخرة وأن معنى العجز للجريان هى المياه المتبخرة والمتشربة التى يفقدها الجريان . وإذا حركنا حدود الصيغة بالتنقل من طرف إلى طرف آخر حسب المجاهل والمعالم أمكننا حساب التساقط أو الجريان أو عجز الجريان ، وذلك حسب المرغوب .

فمثلا إذا كانت كمية التساقط معروفة و كمية عجز الجريان معروفة وهى التبخر ، يمكننا ايجاد الأنصباب أو كمية المياه التى تصرفها مجارى المنطقة : ن = ت ــ عجـ

لكن الذى يهمنا فى حساب الموازنة المائية كما سبق هو معرفة الكمية المائية التى تصرفها مجارى المنطقة ، ومصالح المياه فى مختلف بلدان العالم تعتنى بقياس انصباب المجارى المائية فى منطقتها بطرق معينة كما تقوم بنشر البيانات الخاصة بهذا الأنصباب . والملاحظ فى هذا الصدد أن هناك أحواض نهرية كثيرة فى بلدان العالم وخاصة بلدان العالم الثالث خالية من محطات لقياس انصباب المجارى المائية وبالتالى يصعب على الباحث حساب الموازنة المائية ولتخطى هذه الصعوبات فقد توصل بعض الباحثين بعد تجارب عديدة إلى إيجاد معادلات لحساب الجريان منها معادلة Coutagne.A التى تتلخص فى الآتى : ن = ت ــ عجـ $= \lambda$ ت^{2} $= \lambda p^{2}$ $= P\text{-}D = Q$

ن = المتوسط السنوى لانصباب النهر

ت = المتوسط السنوى للتساقط على الحوض مقدرا بالأمتار

عجـ = عجز الجريان بالأمتار (أو التبخر الكلى المحتمل) لكامل الحوض

$\lambda = \frac{1}{0{,}8 + 0{,}14\ ت}$ ، على أساس أن ت يرمز بها للمتوسط السنوى للحرارة مقدرة بالدرجات السيلسيوسية .

وهذه المعادلة صحيحة وقريبة من الواقع لكن بشرط أن تتراوح كمية التساقط ت ما بين $\frac{1}{\lambda 8}$ و $\frac{1}{\lambda 2}$ أما إذا قلت كمية التساقط عن $\frac{1}{\lambda 8}$ فيكون عجز الجريان مساويا للتساقط أى لايكون هناك جريان للمياه على سطح الأرض فى الحوض أما إذا زادت كمية التساقط عن $\frac{1}{\lambda 2}$ فيكون عجز الجريان مستقل عن(والتساقط) .

أما تورك Ture L. فقد وضع معادلة أخرى لحساب عجز الجريان من خلال تجارب قام بها فى ٢٥٤ حوض نهرى لمناخية مختلفة موزعة على مناطق مختلفة فى العالم وتتلخص فى الآتى :

$$\text{عجـ} = \frac{\text{ت}}{\frac{\text{ت}^{2}}{\text{ل}^{2}} \times 0{,}9}$$

$$D = \frac{P}{0{,}9 + \frac{P^{2}}{L^{2}}}$$

ويعبر فى هذه المعادلة عن العجز للجريان والتساقط بالملليمتر أما المعامل ل فيستخرج من المعادلة الآتية : ل = ٣٠٠ + ٢٥ ت + ٠٫٠٥ ت٣ والحرف ت هو رمز للمتوسط السنوى لدرجات الحرارة مقيسة بالدرجات المئوية .

المياه المخزونة فى التربة :

تتألف التربة من عناصر كمياوية وأخرى فيزيائية . ومن بين العناصر الفيزيائية المياه أو الرطوبة . ويعبر عن رطوبة التربة بنسبتها المئوية أى بنسبة الكتلة المائية التى تحويها عينة التربة إلى كتلة نفس العينة فى حالة ما إذا كانت جافة ثم يضرب الناتج فى مائة . وللحصول على التربة الجافة تستعمل طرقا معينة لتجفيف التربة ، منها وضعها فى فرن درجة حرارته ١٠٥ درجة لمدة ٢٤ ساعة على التوالى . أو وضعها فى طرادة Centrifugateon (آلة لتفريق الأجسام بواسطة القوة النابذة) تدور بسرعة كبيرة ، ومنها أجهزة الكترونية خاصة تعتمد على المقاومة الكهربائية وتغرس فى الأرض لقياس رطوبة التربة آليا .

وقد يقوم الغشاء المائى فى التربة بالمعادلة الآتية :

$$غ = \frac{أ \ \Delta \ س}{١٠} \ مجر \qquad R = \frac{P \ \Delta^2}{10} \Sigma H$$

حيث أن : غ = مجموع الغشاء المائى بالملليمتر

أ = كثافة التربة الجافة (١٫٥)

س = السمك بالسنتيمتر لطبقة التربة التى قيست رطوبتها

مجر = مجموع الرطوبة المطلقة للعينة التى أخذت فى طبقة Δ س

فاذا أخذنا طبقة من التربة سمكها متراً وقسمناها إلى ٥ أفاق متساوية بحيث يكون سمك كل أفق ٢٠ سم ، ثم أخذنا عينات من كل قسم ، واستخرجنا وزن الرطوبة لكل أفق ، فوجدنا الآتى :

الأفق الأول : ر = ٢٣٫٥٢

الأفق الثانى : ر = ٤ ر٢٠

الأفق الثالث : ر = ٢٠٫٢٠

الأفق الرابع : ر = ٢٢

الأفق الخامس : ر = ١٨

المقطع كله : مجر = ١٠٣٫٦ م

وبتطبيق المعادلة السابقة نحصل على كمية الماء أو الرطوبة المطلقة فى هذا المقطع من التربة الذى يبلغ سمكه ١ م وهى : ر = $\frac{\Delta P \text{ س}}{١٠}$ مجر = $\frac{٢٠ \times ١٫٥}{١٠} \times ١٠٣٫٦$

= ٣١٠٫٨مم .

والمتتبع لكمية المياه فى التربة يمكنه أن يلاحظ أن هذه الكمية كثيرة التغير ، وإنها تختلف باختلاف الزمان والمكان . فى فصل التساقط والبرودة تكون رطوبة التربة مرتفعة والعكس صحيح فى فصل الجفاف بصفة عامة وقد تزيد كمية التساقط عن كميه المياه فى التربة فى شهور التساقط . وهذا الزائد هو المعروف بالفائض المائى الذى تتغذى منه المجارى المائية على سطح الأرض ، والخزانات الباطنية فى جوف الأرض les nappes phreatiques فى المناطق ذات المناخ المعتدل التى تنزل أمطارها فى فصل الشتاء تكون التربة متشبعة ابتداء من شهر ديسمبر ويظل هذا التشبع ثابتا ومستمراً حتى شهر إبريل وربما حتى شهر مايو ،وما زاد عن التشبع فى هذه الفترة يتسرب إلى باطن الأرض نحو طبقات الخزن المائى الأكثر عمقا من مياه الشعاب . والكمية الثابتة التى تمسكها التربة اثناء فترة الفائض المائى مرتبطة أشد الأرتباط ببنية وتركيب هذه التربة ، فهى مثلا تساوى ١٠٪ من التربة الجافة فى الرمال و ٢٠ ٪ فى التربة الطميية وقد تزيد عن ٤٠ ٪ فى التربة الطينية .ولا تستطيع النباتات أن تستفيد من كل تلك النسب المئوية ذلك أن جزء من تلك النسب مثبت أشد التثبيت وبقوة هيجروسكوبية فائقة إلى جزئيات التربة، وتحتاج إلى بذل جهد كبير يفوق قدرة النباتات لتمليصها من التربة ،لذلك يجب أن نميز الحجز فى مياه التربة بين الكمية المفيدة للنباتات réserve utile التى تقدر بنصف الكفاءة الجزئية للحقل capcité au champ تقريباً وبين الكمية الغير المفيدة للنباتات التى تقدر بحوالى النصف الباقى ، وللبيان ناخذ متراً من تربة رمليه طينية بها رطوبة مطلقة : رٌ = ٢٠ فى كل آفاقها ، وهى الأفاق التى تمتد إليها العروق بحيث تمثل فى نفس الوقت الكفاءة الأمساكية للحقل ونرمز لها : رٌ = ٢٠ ثم إذا قسنا الرطوبة مرة أخرى ووجدناها هبطت إلى النصف أى : ر = ١٠ نقول أن الرطوبة قد هبطت إلى نقطة الذبول ونرمز لها : رذ = ١٠ le point de flétrissement وهى الكمية من الرطوبة التى لايمكن للنباتات أن تمتصها من التربة وفيها تبدأ ظاهرة الذبول فى الظهور.ومعنى هذا أن النباتات تستفيد من كمية الرطوبة التى تتراوح مابين رٌ ــ رذ فقط ،وبهذا يكون مجال

الرطوبة المفيدة فى تلك التربة الطمية الرملية يساوى : ٢٠ ــ ١٠ = ١٠٪ فاذا كان سمك هذه التربة يساوى ١م وقسمناها إلى ٥ أفق بمعدل ٢٠ سم لكل أفق كان كل أفق يحوى ١٠٪ من الرطوبة المفيدة أمكننا معرفة مجموع الكمية المائية المفيدة فى هذه التربة حتى عمق واحد متر وهى : $\frac{\Delta \text{ أ}}{١٠}$ س مجر $= \frac{١٫٥ \times ٢٠}{١٠} \times ٥ \times ١٠ = ١٥٠$ مم .

وهذه الكمية هى المعروفة بالمخزون المفيد الذى قدره ثورنتوايت بحوالى ١٠٠ مم لكل الطبقات . دون التميز بين بعضها البعض الآخر . لكن هذه الكمية كما ذكرنا سابقاً قد تختلف حسب الزمان والمكان . وقد تتراوح بين ١٠٠ و ٣٠٠ مم . ومن أراد التدقيق فعليه أن يتتبع وزن هذه الكمية المفيدة فى كل شهر حتى يمكنه الحصول على موازنة مائية دقيقة .

تطبيقات للموازنة المائية فى الجزائر :

أن الجدولين الآتيين يبينان الموازنة المائية لمحطتى الدار البيضاء والجزائر ببلاد الجزائر حسب الطريقة ثورنتوايت . وقد استعلمنا فى حسابها الأورد يناتور (الأعلام الآلى) . كما فرضنا أن المخزون المائى لمحطة مدينة الجزائر ١٠٠ ملليمتر لأنها محطة جبلية تقع على سفوح منحدرة . تربتها غير سميكة . أما المخزون المائى لمحطة الدار البيضاء فهو ٢٠٠ ملليمتر لأنها تقع فى السهل المتيجى السميك التربة .

والمتتبع للجدول المختصر للموازنة المائية لمحطة مدينة الجزائر يظهر له لأول وهلة أن كمية التبخر الكلى المحتمل تفوق كمية التساقط فى الخانة السنوية وأن كمية التبخر الكلى الحقيقى أقل من التبخر الكلى المحتمل بمعنى أن هناك عجز بين ما يمكن أن يتبخر وبين المتبخر بالفعل . ومعنى هذا أن البلاد تشكو عجزاً فى المياه بصفة عامة . يقدر هذا العجز بحوالى ٤٤٤ ملليمتر سنوياً .

وإذا تتبعنا المعطيات فى خانات الشهور ظهر لنا أن كمية التبخر المحتمل تفوق كمية التساقط فى بعض الشهور من السنة فينتج مايسمى بالعجز . وقد يحدث العكس فتقل كمية التبخر عن كمية التساقط فينتج عنه مايسمى بالفائض المائى . وعلى هذا الأساس يمكن تقسيم السنة المائية إلى فصلين مائيين هما :

(١) فصل العجز المائى : يبدأ من شهر يونية ويستمر إلى شهر أكتوبر .

وبذلك يدوم خمسة شهور ، فيه تفوق كمية التبخر الشهرية كمية التساقط الشهرية، وأن كمية العجز تبلغ ذروتها فى شهرى يوليه وأغسطس وهما أشد الشهور عطشاً فيهما ينضب ما بالتربة من مخزون مائى ، ويكاد ينعدم التساقط زيادة عن الحرارة الشديدة والنهار الطويل فتبلغ بذلك كمية التبخر النظرى ذروتها (١٥٠ مم) أما التبخر الحقيقى فهو أقل من ذلك بكثير ذلك لعدم وجود المياه وتوقف النباتات الطبيعية عن النمو ومنها ماتموت مثل النخليات graminé وبذلك تختفى المراعى وتتحول إلى هشيم. أما المزروعات فتزداد حاجياتها لمياه الرى ، ولا تقوم إلا على الرى الذى يصبح ضرورياً فى هذا الفصل ، لذلك تنحصر المساحات المزروعة على بعض الأماكن المحدودة التى تظهر بها العيون الطبيعية أو السدود الاصطناعية .

(ب) فصل الفائض المائى : يبدأ من شهر نوفمبر إلى شهر مايو فيه تتفوق كمية التساقط عن كمية التبخر أو تساويها ، ويكون الفرق بينهما موجباً فى أغلب الشهور نظراً للحرارة المنخفضة والنهار القصير والتساقط المرتفع .وفيه تأخذ التربة فى استرجاع وخزن مافقدته فى فصل العجز وبعد تشبعها يتحرك جزء من المياة الفائضة على سطح الأرض فى شكل مسيلات أو أودية ، ويتحرك جزء آخر من المياة نحو باطن التربة لسد عجز الخزانات الباطنية وتزويد الآبار والينابيع الجارية . وبذلك تعود الحياة إلى سطح الأرض فتعشوشب ، ولا تحتاج المزروعات آلى الرى فى الظروف العادية ، أما إذا لم تمطر لبعض الشهور فى هذا الفصل فتحدث الكارثة بالنسبة للمزروعات وبالخصوص تلك التى تكون أشد حساسية فى فترتها الأولى للنمو .

وقد بينت الملاحظات أن أشد الشهور ذبذبة فى كمية التساقط وعدد أيامها هى شهور الأنتقال من فصل العجز إل فصل الفائض ، مثل شهر أكتوبر ونوفمبر ، وهما الشهران اللذان يحدث فيهما الانتقال من فصل العجز إلى فصل الفائض ، وشهرا أبريل ومايو ، وهما شهرا الانتقال من فصل الفائض إلى فصل العجز .

كما يلاحظ على جدول الموازنة المائية أن شهر العجز المائى لا يظهر بمجرد ظهور تفوق فى كمية التبخر الكلى المحتمل عن كمية التساقط بل يكون الشهر شهر عجز إذا كانت كمية التساقط للشهر مضافاً لها كمية المخزون فى التربة أقل من كمية التبخر الكلى المحتمل . ويتجلى هذا فى خانة شهر أبريل من الجدول لمحطة مدينة

الجزائر فيظهر فيها أن كمية التبخر هى ٦٥ مم وبذلك تفوق كمية التساقط التى تبلغ ٤١ مم بما قدره ٦٥ — ٤١ = ٢٤ مم ولذا رمزنا له بالعلامة سالبة ، ورغم هذا الفرق السالب فان شهر أبريل لا يعد من شهور العجز لأنه بامكانه أن يستمد ما هو فى حاجة إليه وأن يعوض عجزه باخذه من مخزون شهر مارس السابق له والذى يبلغ فيه المخزون المفروض فى التربة ١٠٠ مم . وبالتالى يصبح المخزون فى التربة لشهر أبريل هو ١٠٠—٢٤ = ٧٦ مم ثم أن شهر مايو يستمد ماينقصه من كمية المياة المفيدة من مخزون شهر أبريل ، وشهر يونية يستمد من شهر مايو لكن شهر مايو ليس له من المخزون إلا ٣٤ مم بينما شهر يونيه يبلغ عجزه ١٠٢ ملليمتر وبالتالى فان مخزون شهر مايو لايسد عجز شهر يونية فيحدث العجز لشهر يونيه وهو الفرق بين الكمية المفيدة والكمية المخزونة ١٠٢ — ٣٤ = ٦٨ مم . وفى خانات التبخر الحقيقى يظهر أن التبخر الحقيقى لشهر يونية أقل من التبخر المحتمل إذ يبلغ التبخر الحقيقى ٤٩ مم وهى الكمية الساقطة فى يونيو مضافة إليها الكمية المخزونة لشهر مايو ١٥ + ٣٤ = ٤٩ مم ونفس الطريقة تتبع فى تحليل وتقويم الموازنة المائية لبقية شهور السنة .

وإذا انتقلنا إلى تحليل جدول محطة الدار البيضاء الذى أضفنا فيه معامل الحرارة ومعامل التصحيح والجريان نلاحظ نفس الملاحظات لمحطة مدينة الجزائر حيث أن السنة المائية تنقسم إلى فصلين هما : فصل العجز وفصل الفائض إلا أن فصل العجز يتأخر بشهر حيث يبدأ من شهر يوليه الذى يكاد ينعدم فيه المخزون فى التربة ويستمر حتى شهر نوفمبر الذى تأخذ فيه الأرض فى التشبع ، ثم فصل الفائض المائى الذى يظهر فيه الجريان ، أما فصل العجز فينعدم فيه الجريان ولا تبقى فيه إلا بعض الينابيع البسيطة ذات الانصباب المنخفض جدا المنتشرة هنا وهناك والتى لا تعتمد عليها الزراعة المروية فى السهل المتيجى الذى توجد فيه محطة الدار البيضاء . بل أن الزراعة المروية فى هذا الفصل تعتمد على مياه السدود أو على مياه الأبار العميقة . التى تستمد مياهها من الخزانات الباطنية البعيدة عن سطح الأرض إذ قد يزيد عمق هذه الخزانات فى بعض الأماكن لعشرات الأمتار .

وأخيراً يجب أن نشير إلى أن ثورنتوايت قد أستعمل لوحات بيانية تسهيلا للعمليات الحسابية المعقدة فى أستخراج الموازنة المائية وحساب كمية التبخر الكلى المحتمل بالخصوص واليك نمط لتقويم كمية التبخر لمحطتى الجزائر والدار البيضاء ببلاد الجزائر .

التقديرات المائية للرى :

كثيرا ما فكر المخططون للاصلاح الزراعى فى مشكلة تقويم الكمية المائية الضرورية لرى هذا المحصول أو ذاك ، إذ أن المحصولات الزراعية تختلف عن بعضها البعض فيما تتطلبه من كمية مائية لإكمال دورتها الانباتية منذ زرعها إلى نضجها ، باختلاف مدة انباتها أى الزمن الذى تستغرقه فى الأرض واختلاف التربة التى تنبت فوقها واختلاف طريقة الرى المستعملة . ومن هنا كانت معرفة هذه الكمية المائية أساسا يتوقف عليها نجاح المشروعات الزراعية .

وأى تقويم للكمية المائية الضرورية للرى يحتاج إلى تجارب عدة ،وبقدر ما كانت هذه التجارب لمدة طويلة ومستمرة بقدر ما كانت قريبة من الواقع . ولقد اشتهر الأمريكان فى هذا المجال ، فاستعملوا المعادلات الرياضيةوالرسوم البيانية لتقدير الكمية المائية الضرورية للرى لمختلف المحصولات الزراعية . ومن أبرز الباحثين الأمريكان الذين اشتهروا فى تقويم حجم المياه الضرورية للرى هارى بلانى Harry Blaney ووين كريدل Wayne D. Criddle وهما مهندسان زراعيان بمصلحة المحافظة على التربة فى وزارة الفلاحة بالولايات المتحدة .

وقد قام هذان المهندسان الزراعيان بالدراسات المائية فى مناطق جافة وأخرى شبه جافة بغرب الولايات المتحدة تشبه مناطق البلدان العربية . ولذلك يمكن تطبيق نتائج د استهما على البلدان العربية .

ومعادلة بلانى وكريدل للتقديرات المائية للرى تتلخص فى التالى :

$$م = \frac{ت - تم}{ف} \qquad H = \frac{ET - P}{E}$$

ت = تساقط

تم = تبخر كلى محتمل

ف = فعالية الرى

م = حجم مياه الرى

ويظهر حسب هذه المعادلة أن تقدير حجم المياه الضرورية للرى تحتاج إلى معرفة :

١ – كميات التساقط وهذا ما يمكن الحصول عليها بسهولة من المحطات الميترولوجية التى تقوم بالأرصاد الجوية فى المنطقة المعنية بالدراسة .

٢ – التبخر الكلى المحتمل Epavotranspivation potentiel الفـرنسية أو consumptive use الأمريكية وتساوى مجموع : حجم المياه المستعملة من طرف النباتات فى نتحها ونموها ، وحجم المياه المتبخرة من سطح التربة .

والتبخر الكلى المحتمل مرتبطا أشد الارتباط بالحرارة المتوسطة ، ومتوسط المدة الضوئية ، أو المتوسط اليومى للفترة بالنسبة إلى المدة الضوئية اليومية فى السنة . ولما كانت المزروعات تختلف عن بعضها فيما تنتجه من مياه باختلاف أنواعها والمنطقة التى توجد فيها فيجب أخذ هذه الظاهرة بعين الاعتبار لتقويم التبخر الكلى المحتمل وهذه الظاهرة تسمى بالمعامل الزراعى الذى يرمز لها بالحرف اللاتينى x أو بالحرفين : مز ويمكن الحصول على هذا المعامل باجراء تجارب عدة وهو يساوى حسب الدراسات التى أقيمت على السواحل الغربية للولايات المتحدة : ٠,٨٠ بالنسبة للبرسيم و ٠,٧٥ للحبوب (ذرة قمح ، شعير) و ٠,٦٠ للخضر ، و ٠,٥٠ للموالح :

وإذا أدخلنا هذا المعامل فى الاعتبار ، أصبحت معادلة التبخر الكلى كالشكل التالى :

$$\text{تم (بوصة)} = \frac{\text{مز}}{١٠٠} \times \text{المتوسط الشهرى للحرارة (بالفهرنهايت) النسبة}$$

المئوية اليومية الضوئية ومثال لهذا :

ما هى كمية التبخر الكلى المحتمل فى شهر يناير لمزرعة البرسيم الذى يبلغ معامله الزراعى ٠,٨٠ بالسهل المتيجى فى الجزائر ، إذا علمت أن السهل يقع على خط عرض ٣٦ درجة شمالا وأن متوسط الحرارة لشهر يناير هو ١٠ درجات مئوية ؟

الجواب :

١٠ درجات سلسيوسيوية تساوى ٥٠ درجة فهرنهايتية . .

وعلى خط عرض ٣٦ درجة تبلغ النسبة المئوية اليومية الضوئية لشهر يناير ٦,٩٧

وإذا عوضنا :

$$\text{تم} = \frac{٠,٨٠}{١٠٠} \times ٥٠ \times ٦,٩٧ = ٢٧٨ \text{ بوصة}$$

تم (بالملليمتر) = ٧٠,٦١ ملليمتر .

٣ ـ فعالية الرى :

إذا علمنا كمية المياه المتبخرة أى التبخر الكلى المحتمل وعرفنا كمية التساقط يمكننا أن نقدر بسهولة الكمية المائية الضرورية لرى لمزرعة معينة فى فترة معينة وذلك بطرح الكمية المتبخرة فى الفترة من الكمية الساقطة لنفس الفترة إذا كان الناتج سالبا احتاجت المزرعة للرى وإن كان موجبا فلا تحتاج إلى الرى ، وعلى هذا الأساس فان الكمية المائية التى يجب توفيرها لتربة معينة بها زراعة معينة تحتل الأرض لمدة معينة تساوى :

$$\text{ك} = \text{تم} - \text{ت} \qquad H = U - P$$

ويلاحظ على المعادلة أن كمية الرى تساوى كمية التبخر ناقص كمية التساقط وليس العكس لأن الرى لا يكون إلا إذا فاقت كمية التبخر عن كمية التساقط وإلا لكان الرى عبثا ، كما يلاحظ أيضا أن هذه المعادلة لا تعطى اعتبارا ولا تدخل فى الحساب الفاقد المائى الناتج عن انتقال المياه من مصدر سحبها إلى المزرعة المروية ، مما لا شك فيه أن هناك كمية من مياه الرى تتسرب من قنوات الرى إلى أعماق الأرض وكمية أخرى تخرج من قناة الرى قبل وصولها إلى المزرعة المروية ، ولهذا يجب اضافة هذه الخسارة إلى الكمية المتبخرة .

والكمية المائية المتسربة من قنوات الرى إلى أعماق الأرض تكون ضئيلة إذا كانت القنوات مفروشة بالأسمنت أى مخرسنة betonnes أو من مواد صناعية غير منفذة ، وتكون كبيرة إذا كانت قنوات الرى طبيعية أى غير مفروشة ، وتختلف كمية الخسارة المائية فى قنوات الرى الطبيعية باختلاف نسيج التربة . وقد قدرت هذه الخسارة بحوالى ١٥٪ بالنسبة للتربة الخفيفة و ٨٪ بالنسبة للتربة المتوسطة و ٢٪ بالنسبة للتربة الثقيلة .

ويقصد بفعالية الرى efficience de l'irrigation النسبة المئوية لميـــاه الرى الواجب دفعها وتسليمها لقطعة الأرض أو للمزرعة لاستعمالها فى التبخر الكلى . ويرمز لها بالحرف اللاتينى e إذا كانت لقطعة الأرض أو الحرف E إذا كانت للمزرعة ويمكن أن نرمز لها بالحروف العربية (فق) لقطعة الأرض (وفم) للمزرعة ، وقد قدرت حسب الجدول الآتى :

	تربة خفيفة	تربة متوسطة	تربة ثقيلة
فعالية الرى : فق	٦٠٪	٧٥٪	٦٥٪
فعالية الرى : فم	٥٠٪	٧٠٪	٦٣٪

وحسب ما سبق يمكن تقدير الكمية المائية الضرورية لرى أى محصول باتباع الخطوات التالية :

١ ــ جمع الاحصائيات عن الحرارة والتساقط من جداول محطات الارصاد الجوية للمنطقة التى يراد ريها . ويستحسن أن تكون هذه الاحصائيات لمدة طويلة من الزمن تقرب من خمسين سنة حتى تكون متوسطاتها قريبة من الواقع .

٢ ــ الأخذ من الجداول النسب المئوية للمدة الضوئية اليومية لكل شهر بالنسبة للمدة الضوئية اليومية السنوية تبعا لخط عرض المكان . والجدول (١) يبين هذا .

٣ ــ طرح التساقط الشهرى لشهور الزرع من التبخر الكلى المحتمل الشهرى لشهور الزرع وبذلك نحصل على حاجية المزروع من الكمية المائية دون ادخال عامل الفاقد عن طريق التسرب والتشعب .

٤ ــ تقويم الحاجيات المائية للرى لقطعة الأرض أو للمزرعة بادخال عامل فعالية الرى.

والمثال الآتى يبين الخطوات التى اتبعناها فى التقديرات المائية للرى فى مزرعة الخضر بالسبل المتيجى البالغة مساحتها هكتارين ، مع العلم أن المنطقة تقع على خط عرض ٣٦ وأن المزروع هى الفصولية التى زرعت فى شهر يونية واستغرقت دورتها الزراعية أربعة شهور . ومعاملها الزراعى ٠,٦٠ .

أما قطعة الأرض التى زرعت فيها هذه الفصولية فتكسوها تربة متوسطة فى نسيجها تبلغ فعاليتها للرى ٧٠٪.

الموازنة المائية السنوية لمحطة مدينة الجزائر

حسب معادلة ثورنتوايت

الشهور / العناصر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	السنة
الحرارة	٢١,١	١٦,١	١٣	١٢,١	١٢,٨	١٤,٢	١٦,٦	١٨,٨	٢٢	٢٤,٧	٢٥,٦	٢٣,٨	
التساقط	٧٨	١٢٩	١٣٦	١١٣	٨٤	٧٤	٤١	٤٦	١٥	٢	٤	٤٠	٧٦٢
التبخر المحتمل	٧٨	٤٥	٢٨	٢٦	٢٩	٤٤	٦٥	٨٨	١١٧	١٥٢	١٥٢	١١٨	٩٤٢
النافع أو الفرق بين التبخر و التساقط	٠	٨٤	١٠٨	٨٧	٥٥	٣٠	−٢٤	−٤٢	−١٠٢	−١٥٠	−١٤٨	−٧٨	−١٨٠
المخزون النافع في التربة	٠	٨٤	١٠٠	١٠٠	١٠٠	١٠٠	٧٦	٣٤	٠	٠	٠	٠	
الفائض	٠	٠	٩٢	٨٧	٥٥	٣٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	
العجز	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٦٨	١٥٠	١٤٨	٧٨	٤٤٤
التبخر الفعلي	٧٢	٤٥	٢٨	٢٦	٢٩	٤٤	٦٥	٨٨	٤٩	٢	٤	٤٠	٤٩٨

المعطيات بالمليمتر والدرجات السليوسية

الموازنة المائية السنوية (١٩٦٠) لمحطة الدار البيضاء بالجزائر

حسب معادلة ثورنتوايت

المركبات	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونية	يولية	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	السنة
الحرارة	١٠,٥	١٣,٤	١٤,١	١٤,٦	١٨,٣	٢٢,٠	٢٣,٧	٢٥,٤	٢١,٥	١٩,١	١٥,٧	١٠,٦	
التساقط	١٢١,٠	٩٢,٠	٧٨,٠١	٥٤,٠	٨٥,٠	١١,٠	٠,٠	٠,٠	٦,١	١٨,٠	١٨,٠	١٩٥,٠	٧٧٨,٠
معامل الحراره	٣,١	٤,٥	٤,٩	٥,١	٧,٢	٩,٥	١٠,٦	١١,٨	٩,٢	٧,٧	٥,٧	٣,٢	٨١,٨
التبخر الكلي المحتمل	٢٠	٣٢	٤٣	٤٩	٨٣	١١٦	١٣٦	١٤٦	٩٥	٧١	٤٤	٢١	٨٥٤
التبخر الفعلي	٢٠	٣٢	٤٣	٤٩	٨٣	٩٢	٥٨	٣١	١٦	٢٢	٢٠	٢١	٤٨٧
الفرق بين التبخر والتساقط	١٠١	٦٠	٣٥	٥	٢	١٠٥	١٣٦	١٤٦	٨٨	٥٣	٢٦	١٧٤	٧٦
معامل التصحيح	٢٥	٢٥	٣١	٣٣	٣٧	٣٦	٣٧	٣٥	٣١	٢٩	٢٦	٢٥	
المخزون النافع	٢٠٠	٢٠٠	٢٠٠	٢٠٠	٢٠٠	٩٥	٠	٠	٠	٠	٠	١٧٤	
العجز	٠	٠	٠	٠	٠	٢٤	٧٨	١١٤	٧٨	٤٨	٢٤	٠	٣٦٧
الفائض	١٠١	٦٠	٣٥	٥	٢	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٣٠٣
الجريان	٥٠	٥٥	٤٥	٧٥	٣٩	١٩	١٠	٥	٢	١	١	٠	٣٠٣

طريقة الرسم للوحات بيانية

لتقدير التبخر الكلي المحتمل لمحطتي : الدار البيضاء والجزائر حسب طريقة ثورنتوايت

محطة الدار البيضاء

الشهور	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونية	يولية	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	السنة
المتوسط الشهري للحرارة	١٠,٥	١٣,٤	١٤,١	١٤,٦	١٨,٣	٢٢,٠	٢٣,٧	٢٥,٤	٢١,٥	١٩,١	١٥,٧	١٠,٦	١٧,٣٥
معامل الحرارة $(\frac{ح}{٥})^{١,٥١٤}$	٣,٠٨	٤,٤٥	٤,٨١	٥,٠٧	٧,١٣	٩,٤٢	١٠,٥٥	١١,٧١	٩,١٠	٧,٦١	٥,٦٥	٣,١٢	٨١,٧٠

محطة الجزائر

المتوسط الشهري للحرارة	١٢,١	١٢,٨	١٤,٢	١٦,٦	١٨,٨	٢٢	٢٤,٧	٢٥,٦	٢٣,٨	٢١,١	١٦,١	١٨,٤	١٣
معامل الحرارة $(\frac{ح}{٥})^{١,٥١٤}$	٣,٨١	٤,١٥	٤,٨٦	٦,١٥	٧,٤٣	٩,٤٢	١١,٢٣	١١,٨٥	١٠,٦٢	٨,٨٥	٥,٨٧	٤,٢٥	٨٨,٤٩

تقديرات مائية للرى

لقطعة أرض بالسهل المتيجى

الشهور	يونيه	يوليه	أغسطس	سبتمبر
المتوسط الشهرى للحرارة بالدرجات المئوية	٢٢,٠	٢٣,٧	٢٥,٤	٢١,٥
النسبة المئوية للمدة الضوئية	٩,٨٣	٩,٩٩	٩,٤٠	٨,٣٧
التبخر الكلى المحتمل للشهر بالمليمتر مز ــ ٠,٦٠	١٠٧,١٩	١١٣,٥٤	١١١,٢٥	٩٠,١٧
المتوسط الشهرى للتساقط بالمليمتر	١١,٠	٠,٠	٠,٠	٦,١
حاجة الفصولية للرى بالمليمتر	٩٦,١٩	١١٣,٥٤	١١١,٢٥	٨٤,٠٧
حاجة الهتكار الواحد لمياه الرى فى الشهر بالمتر المكعب على أساس فعالية رى ٧٠٪	١٣٧٠	١٦٢٠	١٥٨٠	١٢٠٠
حاجة الهتكارين لمياه الرى فى الشهر بالمتر المكعب	٢٧٤٠	٣٢٤٠	٣١٦٠	٢٤٠٠
المجموع الكلى				١١٥٤٠

PLANEY CRIDDLE

المدة الضوئية بالنسبة لكل شهر من شهور السنة

١- نصف الكرة الشمالي

ف	٠°	٢°	٤°	٦°	٨°	١٠°	١٢°	١٤°	١٦°	١٨°	٢٠°	٢٢°	٢٤°
يناير	٨,٤٩	٨,٤٢	٨,٣٥	٨,٢٧	٨,٢١	٨,١٣	٨,٩٥	٧,٩٨	٧,٩٠	٧,٨٢	٧,٧٥	٧,٦٧	٧,٥٧
فبراير	٧,٧٣	٧,٦٩	٧,٦٥	٧,٦١	٧,٥٧	٧,٥٣	٧,٤٩	٧,٤٤	٧,٤٠	٧,٣٥	٧,٣١	٧,٢٦	٧,٢١
مارس	٨,٤٩	٨,٤٨	٨,٤٧	٨,٤٧	٨,٤٦	٨,٤٥	٨,٤٤	٨,٤٣	٨,٤٣	٨,٤٢	٨,٤١	٨,٤٠	٨,٣٩
ابريل	٨,٤١	٨,٤٠	٨,٢٧	٨,٣٠	٨,٣٣	٨,٣٦	٨,٣٩	٨,٤٢	٨,٤٥	٨,٤٨	٨,٥٢	٨,٥٥	٨,٥٩
مايو	٨,٤٩	٨,٥٥	٨,٦١	٨,٦٧	٨,٧٤	٨,٨١	٨,٨٨	٨,٩٥	٩,٠٢	٩,٠٩	٩,١٧	٩,٢٤	٩,٣٠
يونيه	٨,٤١	٨,٤٨	٨,٣٦	٨,٤٤	٨,٥٢	٨,٥٠	٨,٦٨	٨,٧٧	٨,٨٤	٨,٩٢	٩,٠١	٩,١٠	٩,١٩
يوليه	٨,٤٩	٨,٥٦	٨,٦٣	٨,٧٠	٨,٧٧	٨,٨٥	٨,٩٣	٩,٠١	٩,٠٩	٩,١٧	٩,٢٥	٩,٣٣	٩,٤١
أغسطس	٨,٤٩	٨,٥٣	٨,٥٧	٨,٦١	٨,٦٦	٨,٧١	٨,٧٥	٨,٨٠	٨,٨٤	٨,٨٩	٨,٩٤	٨,٩٩	٩,٠٤
سبتمبر	٨,٤١	٨,٢٢	٨,٤٣	٨,٢٣	٨,٣٤	٨,٣٣	٨,٣٠	٨,٢٧	٨,٢٣	٨,٢٨	٨,١٧	٨,٣٠	٨,٣١
أكتوبر	٨,٤٩	٨,٤٦	٨,٤٣	٨,٤٠	٨,٣٧	٨,٣٣	٨,٣٠	٨,٢٧	٨,٢٣	٨,٢١	٨,١٧	٨,٢٤	٨,١١
نوفمبر	٨,٤١	٨,١٦	٨,١٠	٨,٠٤	٧,٩٨	٧,٩٢	٧,٨٥	٧,٧٨	٧,٧١	٧,٦٤	٧,٥٧	٧,٥٠	٧,٤٣
ديسمبر	٨,٤٩	٨,٤١	٨,٣٣	٨,٢٤	٨,١٥	٨,٠٦	٧,٩٨	٧,٩٨	٧,٨٠	٧,٧١	٧,٦٥	٧,٥٣	٧,٤٣

ف	٢٦°	٢٨°	٣٠°	٣٢°	٣٤°	٣٦°	٣٨°	٤٠°	٤٢°	٤٤°	٤٦°	٤٨°	٥٠°
يناير	٧,٤٨	٧,٣٨	٧,٢٩	٧,١٨	٧,٠٩	٧,٠٠	٦,٨٧	٦,٧٢	٦,٦٠	٦,٤٣	٦,٢٧	٦,١٠	٥,٩٤
فبراير	٧,١٥	٧,١٠	٧,٠٥	٦,٩٩	٦,٩٢	٦,٨٧	٦,٨١	٦,٧٥	٦,٦٧	٦,٥٩	٦,٥١	٦,٤٣	٦,٣٥
مارس	٨,٣٩	٨,٣٨	٨,٣٧	٨,٣٦	٨,٣٥	٨,٣٤	٨,٣٣	٨,٣١	٨,٢٩	٨,٢٧	٨,٢٥	٨,٢٣	٨,٢٣
ابريل	٨,٦٣	٨,٦٧	٨,٧١	٨,٧٥	٨,٧٥	٨,٨٢	٨,٨٨	٨,٩٣	٨,٩٨	٩,٠٤	٩,١٠	٩,١٧	٩,٢٥
مايو	٩,٤٠	٩,٤٨	٩,٥٦	٩,٦٥	٩,٧٤	٩,٨١	٩,٩٢	١٠,٠١	١٠,١٤	١٠,٢٨	١٠,٤٢	١٠,٥٦	١٠,٧٠
يونيه	٩,٤٩	٩,٣٩	٩,٤٩	٩,٦٠	٩,٧١	٩,٨٣	٩,٩٥	١٠,٠٧	١٠,٢٤	١٠,٤١	١٠,٥٨	١٠,٧٥	١٠,٩٣
يوليه	٩,٤٩	٩,٥٧	٩,٦٦	٩,٧٧	٩,٨٨	٩,٩٩	١٠,١٠	١٠,٢١	١٠,٣٠	١٠,٤١	١٠,٥١	١٠,٦٦	١٠,٨١
أغسطس	٩,٤١	٩,١٥	٩,٢٦	٩,٣٣	٩,٤٠	٩,٤٧	٩,٥٣	٩,٥٤	٩,٦٣	٩,٧٣	٩,٨٣	٩,٩٣	١٠,٠٣
سبتمبر	٨,٣٥	٨,٣٣	٨,٣٤	٨,٣٥	٨,٣٦	٨,٣٧	٨,٣٨	٨,٣٩	٨,٤٠	٨,٤١	٨,٤٣	٨,٤٤	٨,٤٦
أكتوبر	٨,٠٧	٨,٠٣	٧,٩٩	٧,٩٥	٧,٩١	٧,٨٦	٧,٨٢	٧,٧٦	٧,٧٠	٧,٦٣	٧,٥٨	٧,٥٠	٧,٤٥
نوفمبر	٧,٣٦	٧,٢٨	٧,٢٠	٧,١١	٧,٠٢	٦,٩٣	٦,٨٣	٦,٧٣	٦,٦٢	٦,٥٢	٦,٤٢	٦,٣٢	٦,٢١
ديسمبر	٧,٢٣	٧,٢٣	٧,١٣	٧,٠١	٦,٨٩	٦,٧٧	٦,٦٥	٦,٥٣	٦,٤٠	٦,٢٧	٦,١٤	٦,٠٠	٥,٨٥

٢- نصف الكرة الجنوبي

ف	٠°	٢°	٤°	٦°	٨°	١٠°	١٢°	١٤°	١٦°	١٨°	٢٠°	٢٢°	٢٤°
يناير	٨,٤٩	٨,٥٠	٨,٦٣	٨,٧٠	٨,٧٨	٨,٨٧	٨,٩٤	٩,٠٤	٩,١٠	٩,١٩	٩,٢٨	٩,٣٦	٩,٤٤
فبراير	٧,٧٣	٧,٧٦	٧,٨٠	٧,٨٤	٧,٨٨	٧,٩٢	٧,٩٦	٨,٠٠	٨,٠٤	٨,٠٨	٨,١٣	٨,١٨	٨,٢٣
مارس	٨,٤٩	٨,٤٩	٨,٥٠	٨,٥٠	٨,٥٢	٨,٥٤	٨,٥٦	٨,٥٥	٨,٥٧	٨,٥٧	٨,٥٨	٨,٥٨	٨,٥٩
ابريل	٨,٢١	٨,١٩	٨,١٦	٨,١٣	٨,١٠	٨,٠٧	٨,٠٤	٨,٠١	٧,٩٧	٧,٩٤	٧,٩٠	٧,٨٦	٧,٨٢
مايو	٨,٤٩	٨,٤٣	٨,٣٧	٨,٣١	٨,٢٥	٨,١٩	٨,١٢	٨,٠٥	٧,٩٨	٧,٩١	٧,٨٣	٧,٧٥	٧,٦٧
يونيه	٨,٢١	٨,١٣	٨,٠٥	٧,٩٧	٧,٨٩	٧,٨١	٧,٧٢	٧,٦٥	٧,٥٧	٧,٤٩	٧,٤٠	٧,٣١	٧,٢١
يوليه	٨,٤٩	٨,٤٥	٨,٣٥	٨,٢٨	٨,٢١	٨,١٣	٨,٠٦	٧,٩٩	٧,٩١	٧,٨٣	٧,٧٥	٧,٦٦	٧,٥٧
أغسطس	٨,٤٩	٨,٤٩	٨,٤٠	٨,٣٤	٨,٢٧	٨,١٩	٨,١٠	٨,٠١	٧,٩٢	٧,٨٣	٧,٧٤	٧,٦٤	٧,٥٤
سبتمبر	٨,٢١	٨,١١	٨,٠٠	٧,٩٠	٧,٨٠	٧,٧٠	٧,٦٠	٧,٥٠	٧,٤٠	٧,٣٠	٧,٢٠	٧,١٠	٧,٠٠
أكتوبر	٨,٤٩	٨,٢١	٨,٢٠	٨,١٩	٨,١٨	٨,١٧	٨,١٥	٨,١٤	٨,١٢	٨,١٠	٨,٠٨	٨,٠٥	٨,٠٢
نوفمبر	٨,٢١	٨,٢٧	٨,٣٣	٨,٣٩	٨,٤٦	٨,٥٣	٨,٦٠	٨,٦٧	٨,٧٤	٨,٨١	٨,٨٧	٨,٩٢	٨,٩٧
ديسمبر	٨,٤٩	٨,٥٧	٨,٦٥	٨,٧٣	٨,٨١	٨,٩٠	٨,٩٨	٩,٠٦	٩,١٤	٩,٢٣	٩,٣٠	٩,٣٦	٩,٤٢

ف	٢٦°	٢٨°	٣٠°
يناير	٩,٥٤	٩,٦١	٩,٧٠
فبراير	٨,٤٤	٨,٣٣	٨,٢٩
مارس	٨,٥٩	٨,٥٩	٨,٥٩
ابريل	٨,٧٢	٨,٧٢	٨,٧٩
مايو	٨,٧١	٨,٧٢	٨,٧٥
يونيه	٨,٦٨	٨,٧٠	٨,٧٥
يوليه	٨,٦٢	٨,٦٩	٨,٧٩
أغسطس	٨,٥٤	٨,٥٨	٨,٦٢
سبتمبر	٨,٤٤	٨,٤٦	٨,٤٨
أكتوبر	٨,٣٣	٨,٣٣	٨,٣٣
نوفمبر	٨,٢٢	٨,٢٠	٨,١٧
ديسمبر	٨,١٤	٨,١٠	٨,٠٥

LISTE BIBLIOGRA PHIQUE

4.1. — VERNON C. JAMISON
— Etude sur les facteurs de l'evapotranspiration.
Soil Science — Juin 1956 - Vol. 81 - n 6

4.2. — A. RODE
— Categories et formes de l'eau du sol et les proprietes hydrologiques sols (Compte-rendu du Vleme Congres Internstional de la Science du Sol)
Paris 1956 - Vol. B - Commission I .

4.3. — M. HALLAIRE
—Diffusion capillaire dans le sol et repartition de L'humidité en profondeur, sous-sols nus et cultives.
(These d'ingenienr-docteur de la Fac. des Sciences de Université de Paris - 1953)

4.4. — M. HALLAIRE
— Levaporation reelle, mesure et interpretation dans los conditions naturelles
La Meteorologie - Numero special - Decembre 1954 - P. 379 et suivantes

4.5. — M. HALLAIRE
— L'importance des pratiques agricoles dans l'economie de l'eau.
Cahiers des Ingenieurs Agronomes - n 108-1956

4.6. — MANZONI
— Consommation hydrique de la transpiration des plantes
Publication n 38 de l'Association Internationale d'Hydrologie - Assemblee generale de Rome

4.7. — A. DEMOLON
— Croissance des vegetaux cultives
(Dunod)

4.8. — A.DEMOLON
— Dynamique du sol
(Dunod)

4.9. —G.AZZI
— Ecologie agricole
(Editions J.B. Baillier. & Fils - Paris (1954))

4.10. — A. DARLOT
— Contribution a une determination rationnelle des perametres de l'irrigation cahiers du C.R.E.G.R. de Rabat - 1956

4.11. — RICHARDS and WADLEICB 1952.
— "Soil water and plant growth" In soil Physica)conditions an plant growth Academic Press - New - York-p.73-251

4.12. — LEHANE and STAPPIE - 1954
— Movement of water In unsaturated soils"- Canadi Jour. Agr. Sct - 34-p. 329-342.