أسس هندسة الري و البزل

من قبل المهندس المدني

ناموّ حمهأمين سعيد

فهرس المواضيع

علم هندسة المياه 1
الدورة المائية 1
موقع الري من الدورة المائية 4
مفهوم الري وأهميته 5
أنظمة الري (Irrigation Systems) 8
الري السطحي (Surface Irrigation) 8
الري الفيضي (السيلي) (Spate Irrigation) 8
الري بالرش (Sprinkler Irrigation) 9
الري بالتنقيط (Drip Irrigation) 10
تقدير كمية مياه الري 11
تعريفات أساسية 13
الري Irrigation 13
التبخر Evaporation 14
النتح Transpiration 16
التداخل بين عملية التبخر وعملية النتح 18

فصل في مصطلح التبخر الزراعي (Evapotranspiration (ET 21
العوامل التي تؤثر على التبخر الزراعي 22
عوامل الطقس 22
خصائص المحاصيل 23
إدارة الحقل والظروف البيئية 23
التبخر الزراعي للمحصول 25
التبخر الزراعي للمحصول المرجعي 27
خلاصة التبخر الزراعي 28
فوائد الري 31
زيادة إنتاج المحاصيل 31
التنمية الاقتصادية 31
الإمداد المائي للسكان وللصناعة 31
تحقيق الأمن الغذائي 32
توليد الطاقة الكهرومائية 32
تحديات مشاريع الري 33
المراجع 34

علم هندسة المياه

تنقسم العلوم المختصة بدراسة المياه إلى قسمين كبيرين ورئيسين، الأول يهتم بدراسة خصائص المياه من حيث وجودها في الطبيعة، بصورة شاملة لمختلف المكونات، من أنهار وبحار وتبخر وأمطار ومياه جوفية وغيرها، ويعرف هذا بعلم (**حركة المياه في الطبيعة**) وباللغة الإنجليزية بالهيدرولوجي (Hydrology).

الجزء الثاني من علم المياه يختص بدراسة جزيئات الماء وخواصها الفيزيائية والحركية ويشمل حركة المياه في القنوات المفتوحة والانابيب وحركة الأجسام المختلفة في الماء، ويعرف هذا بعلم (**حركة جزيئات الماء**)، وبالإنجليزية بالهيدروليكا (Hydraulics).

في هذا الكتاب سنناقش الجوانب الأساسية المتعلقة بعملية الري، وهي تندرج تحت القسم الأول، وهو حركة المياه في الطبيعة (الهيدرولوجي).

الدورة المائية

تبدأ دراسة علم حركة المياه في الطبيعة بدراسة وفهم الدورة المائية، حيث تسمى الحركة المستمرة للماء، وتغير خواصه الفيزيائية على الأرض وفي الجو،

بإسم الدورة المائية، أو دورة المياه في الطبيعة، أو الدورة الهيدرولوجية (Hydrologic Cycle). الشكل 1 يوضح تفاصيل هذه الدورة.

سميت بهذا الإسم لأن المياه تكمل دورة كاملة خلال حركتها في الأرض، تليها مرحلة التبخر، ثم العودة في النهاية إلى نفس المصدر. خلال هذه الدورة تتغير طبيعة الماء، ويمر بكافة حالته الثلاث من بخار (غاز)، إلى سائل (ماء)، إلى صلب (جليد وثلوج).

الشكل 1: ملخص موجز عن الدورة المائية [1].

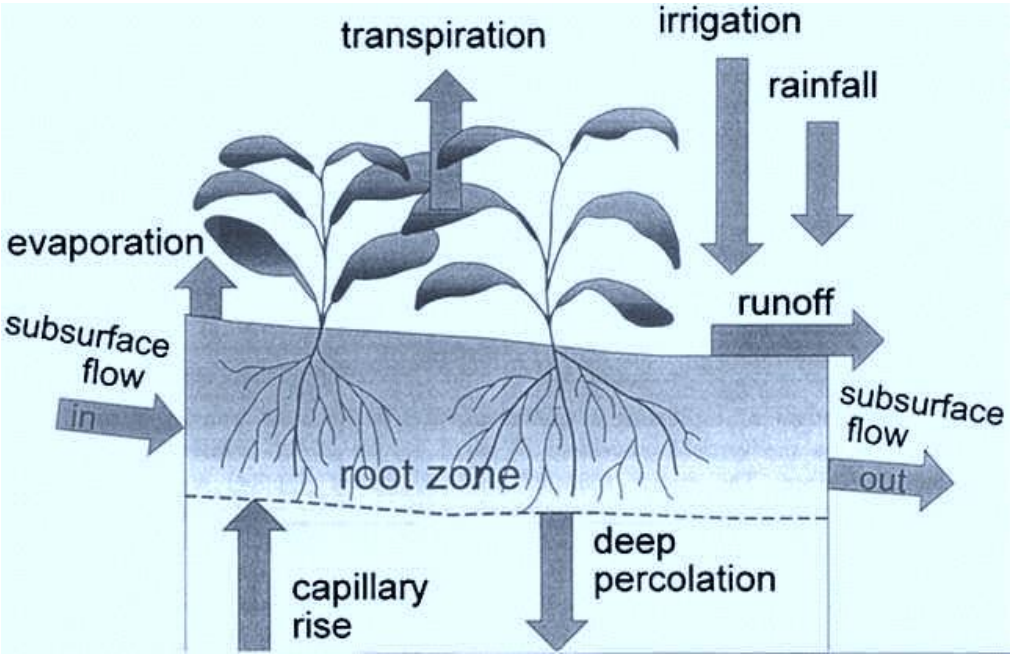
إذا افترضنا بداية الدورة المائية بسبب هطول الأمطار من السماء إلى الأرض، نجد أن هناك جزء من المياه يتبخر قبل أن يصل إلى الأرض، والبعض قد يتسرب إلى التربة، كما ينساب البعض الآخر عبر المجاري والأنهار. نجد كذلك جزء من المياه التي تتسلل إلى الأرض تمتصها جذور النباتات ثم تخرج من النباتات عبر عملية النتح، كما نجد أن هناك كمية تتسرب إلى الأسفل حيث خزانات المياه الجوفية. وقد تنتقل تلك المياه الجوفية إلى سطح الأرض وتشكل الينابيع أو البحيرات؛ أو تتدفق مباشرة إلى المسطحات المائية المختلفة أو البحار أو المحيطات، حيث تتبخر وتنزل الأمطار أو الثلوج وتبدأ الدورة مرة أخرى [2].

علم حركة المياه في الطبيعة (الهيدرولوجي)، يدرس العلوم الهندسية التي تحلل المكونات المختلفة لهذه الدورة المائية، مع الأخذ في الإعتبار أن هذه الدورة الطبيعية يمكن أن تتأثر عن طريق الأنشطة البشرية المختلفة مثل بناء الخزانات والسدود.

من خلال الإلمام بكافة العوامل والعمليات المذكورة أعلاه، نجد أن علم هندسة المياه في الطبيعة (الهيدرولوجي) يعمل على فهم وحساب جميع جوانب المتعلقة بالدورة المائية بمختلف مكوناتها. في هذا الكتاب سنناقش ونقدم وصفًا هندسيًا للعمليات المتعلقة بعملية الري (الأمطار والتبخر والنتح).

موقع الري من الدورة المائية

إذا أخذنا قطعة زراعية من الأرض بغرض دراستها من حيث كمية المياه الداخلة والخارجة منها، كما هو موضح في الشكل 2 أدناه، فيمكن تطبيق مبدأ التوازن المائي، والذي ينص على أن المخزون المائي يكون ثابت إذا أخذنا في الإعتبار حساب كمية المياه الداخلة، وكمية المياه الخارجة، والفواقد، خلال فترة معلومة من الزمن.



الشكل 2: الموازنة المائية لعملية الري [3].

عند حساب كمية المياه التي يتم اضافتها للأرض الزراعية لغرض الري، فإن المكونات الرئيسة للميزان المائي (لفترة زمنية معينة) هي:

$$P + I - E + Q_i - Q_o - \Delta S = 0$$

حيث (P) تمثل كمية الأمطار؛ (I) كمية مياه الري؛ (E) هو كمية المياه المتبخرة (من الأرض والنبات)؛ (Q_i) هو كمية المياه القادمة من خارج المنطقة، بما في ذلك التدفق الجانبي و كمية المياه الصاعدة من التربة بالخاصية الشعرية؛ (Q_o) هو حجم التدفق الخارج، بما في ذلك الجريان السطحي وتحت السطحي، والتسرب العمودي؛ و ΔS هو التغير في حجم تخزين المياه في المنطقة. **إذا تم تحديد كافة هذه العوامل بدقة، يمكن تحديد وحساب كمية مياه الري بصورة مباشرة.**

مفهوم الري وأهميته

تقوم فكرة الري الأساسية على توفير الماء الذي يحتاجه النبات للنمو، ولتحديد هذه الكمية من المياه؛ تم استحداث العديد من الطرق لمعرفة وحساب كمية المياه التي يحتاجها النبات ليكون نموه مكتملاً. في الماضي كانت عملية الري تتم عبر غمر الأراضي الصالحة للزراعة بالمياه من أجل إمداد المحاصيل بمتطلبات المياه التي تحتاجها.

في المناخات القاحلة لا يمكن إنتاج الغذاء والأعلاف الكافية بدون ري، وذلك بسبب التفاوت في هطول الأمطار والذي ينتج عنه انخفاض إنتاجية المحاصيل وخطر فشل الموسم الزراعي، وعليه فهناك حاجة ضرورية إلى الري في المناطق شبه القاحلة.

علاوة على ذلك، فإن الري في المناطق الرطبة وشبه الرطبة يمثل ضمان ضد خسائر المحاصيل، وعلى الرغم من أن هطول الأمطار في فصل الصيف في تلك المناطق عادة ما يكفي لنمو المحاصيل، إلا أنه قد يحدث الجفاف في فترة من الزمن خلال العام. ونسبة لأن إنتاج محصول مربح عادة ما يكون هو الهدف من الزراعة، فإن الري يوفر تأمين للزراعة المربحة في المناطق شبه القاحلة وشبه الرطبة والرطبة؛ كما إنه ضروري في المناطق القاحلة [4].

- المبدأ الأساسي لعملية الري هو تزويد المحاصيل بالمياه، وتظهر أهمية هذه العملية بصورة خاصة في المناطق القاحلة عندما لا يكون هناك ما يكفي من الأمطار، حيث تستخدم تقنيات الري في الزراعة لتمكين النباتات من النمو بصورة متكاملة.

- هندسة الري تسهم بصورة فاعلة في التقليل من هدر المياه المخصصة للزراعة وذلك عبر رفع كفاءة عملية الري مما ينتج عنه توفير كميات كبيرة من المياه وفي نفس الوقت المحافظة على انتاج عالي للمحاصيل الزراعية.

- من ناحية أخرى، ارتبطت مشاريع الري بتحقيق الأمن الغذائي وتوفير الطعام، وخفض معدلات الجوع وسوء التغذية في العديد من البلدان، حيث تعمل على توفير المحاصيل الغذائية بكميات كبيرة.

- في الفترات الأخيرة ازدادت أهمية الري على مستويات عديدة، وذلك نتيجة للتقلبات المناخية والظواهر البيئية مثل ظاهرة الإحتباس الحراري، حيث تغيرت معدلات هطول الأمطار وارتفعت درجات الحرارة، وهذه من العوامل الرئيسية في حدوث موجات الجفاف وقلة المياه في بعض المناطق، والفيضانات والغرق في أخرى.

أنظمة الري (Irrigation Systems)

توجد العديد من التصنيفات لسبل توزيع مياه الري، ويمكننا الحديث عن أربعة أنواع رئيسة، وتشمل:

الري السطحي (Surface Irrigation)

في نظام الري السطحي، يتم توزيع المياه من خلال شبكة من القنوات، ومن ثم يتم غمر الحقول الزراعية. يتم توزيع المياه داخل الحقل عبر تقسيم الحقل إما إلى أحواض بحيث تغمر المياه الأرض (وتناسب محاصيل مثل الأرز (Border System)، أو يتم التقسيم في شكل خطوط يتسرب الماء بينها (سرابات) وبالإنجليزية (Furrow System).

يعتبر نظام الري السطحي من أقل أنظمة الري كفاءة، ويستهلك كميات كبيرة من المياه.

الري الفيضي (السيلي) (Spate Irrigation)

نظم الري الفيضي (نسبة للفيضان) أو السيلي (نسبة للسيل) من أقدم أنظمة الري في العالم، تم إنشاؤها للاستفادة من مياه الفيضان التي تأتي من الأنهار والوديان الموسمية، ومن ثم يتم تحويلها عبر قنوات للأراضي

لري المحاصيل. تكون هذه المياه محملة بالإطماء بتركيز عالي جداً، وتأتي عادة في شكل موجات ودفقات لفترة محددة. من أبرز ما يميز هذا النظام هو أن الأراضي الفيضية ذات خصائص فريدة، فيكفي رية واحدة فقط لزراعة المحصول طول الموسم.
يجب التركيز بصفة خاصة على حقيقة أن الري الفيضي ليس مثيلاً للري السطحي التقليدي، وهناك حاجة ماسة للعمل الهندسي من أجل تحسين وتطوير تقنيات الري الفيضي.

الري بالرش (Sprinkler Irrigation)

في نهاية القرن التاسع عشر تم تطوير نظام الري بالرش، وقد استنبطت فكرته من مياه الأمطار الطبيعية، ومحاولة عمل نظام مماثل لها. كانت البداية عبر الرشاشات الثابتة، والمزودة برؤوس دوارة، وتطورت لاحقاً النماذج الدوارة، ورشاشات الدفع، والخراطيم والفوهات بمقاسات وخصائص مختلفة. هناك عدة أنظمة للري بالرش، ويتم تقسيمها بناءاً على إمكانية الحركة إلى ثابتة، ومتحركة، وشبه متحركة، كما أن الحركة إما أن تكون دائرية أو أفقية مستقيم.

الري بالتنقيط (Drip Irrigation)

تعتمد فكرته الأساسية على قياس المحتوى الرطوبي للتربة ومن ثم يتم تزويد الماء حسب إحتياجات المحصول المعين، ويتم ذلك عبر توصيل الأنابيب إما فوق السطح أو يتم دفنه تحت التربة عند مستوى جذور النبات. ويعتبر الري بالتنقيط أكثر طرق الري كفاءة، وتم تطوير العديد من المعدات والأجهزة المتعلقة به، حيث أصبح النظام آلياً بدرجة كبيرة.

تقدير كمية مياه الري

هناك العديد من الطرق لتقدير كمية مياه الري، يمكن تقسيمها بشكل عام إلى طريقتين رئيستين:

1. تقدير مياه الري عبر الملاحظة والممارسة

هي الطريقة التقليدية والمستخدمة منذ القِدم، وتقوم على مبدأ الملاحظة البصرية، من خلال مراقبة المحصول وتقييم حالة التربة ومظهرها. وتشمل متابعة التغيرات في خصائص النبات، مثل التغيرات في لون النباتات، وتَكوّر الأوراق، والذبول في نهاية المطاف. غالبًا ما يمكن اكتشاف التغييرات فقط من خلال النظر إلى المحصول بشكل عام بدلاً من النباتات الفردية.

تتمثل مميزات هذه الطريقة، عند استخدامها لجدولة عمليات الري، في أنها طريقة سريعة وسهلة ولا تحتاج إلى معدات أو دعم فني.
ورغماً عن تلك المميزات فإن المشكلة الكبرى، عند استخدام هذه الطريقة، هي غياب الدقة في تحديد كمية المياه المطلوبة، وهذا يرجع بشكل أساسي إلى غياب المعلومات الدقيقة حول خصائص رطوبة التربة وعوامل المحصول. وعليه قد يتأثر النبات سلباً عند تحويل مياه أقل من المطلوب، وعلى النقيض، فإن زيادة فترة بقاء مياه الري في التربة لفترة طويلة جدًا، يمكن أن يؤدي إلى انخفاض في انتاج المحصول وجودته.

ومع ذلك ، إذا تم زراعة محصول بشكل متكرر، وتم الاحتفاظ بسجل طويل الأجل لمياه الري المنفذة، يمكن حينئذٍ استخدام هذا السجل لتقدير الطلبات المستقبلية.

2. طريقة حساب احتياجات المحاصيل المائية

أساس هذه الطريقة هو حساب كمية المياه المخصصة لري النبات عن طريق عمل الموازنة المائية وحساب كافة العوامل والتفاصيل التعلقة بها. تطور هذا المبدأ في بدايات القرن الماضي وتمت عليه الكثير من الدراسات والأبحاث، ومازال هذا المجال في تطور مستمر. يتم وفقاً لهذه الطريقة تعويض الفواقد المائية من التربة ومن المحصول عبر عمليتي التبخر والنتح، هذا بالإضافة إلى أنها تأخذ في الحسابان خصائص المحصول ودرجة نموه وخصائص التربة، وخصائص المناخ والبيئة.

تمتاز هذه الطريقة بدقة تقييمها لكمية المياه التي يحتاجها النبات لنموه مما يساهم في توفير المياه وحسن إدارتها وتوزيعها. نتج عن هذا المبدأ تحسينات كبيرة في التعامل مع موارد المياه، تشمل تحديد المواعيد المثلى للري وظهور نظم الري الأكثر كفاءة، مثل الري بالتنقيط.

أبرز الملاحظات على الطريقة الحسابية أنها تحتاج إلى توفير الكثير من البيانات المتعلقة بخصائص المحصول وعوامل الطقس، وتحتاج كذلك إلى خبرة فنية ومختصين لحساب كمية المياه. هذه الملاحظات يتم العمل على معالجتها بإستخدام التقنيات الحديثة والبرامج المطورة.

تعريفات أساسية

الري Irrigation

كلمة الرّي في اللغة العربية تنطق بفتح الراء وكسرها، وأصل المصطلح من رَوِي رياً، إذا أخذ حاجته من الماء [5]. وفي الإصطلاح العلمي الهندسي هناك العديد من التعريفات، ويمكن تلخيصها على النحو التالي:

" الري هو عملية توصيل المياه التي يحتاجها النبات"

ولشرح هذا التعريف يمكن تفصيله كالتالي: أن الري "عملية" بمعنى أنه مجموعة من الإجراءات، و"توصيل المياه" يتم من خلال وسائط مختلفة سواءًا بواسطة التربة أو مباشرة عبر الجذور كما في حالة الزراعة المائية والهوائية، و"التي يحتاجها النبات" يعني كمية المياه الكافية لنمو النبات ونضجه بصورة سليمة لا تؤثر على إنتاجيته.

يعتبر الري طبيعياً (مطرياً)، وفقاً لشرطين: أن يكون المعدل السنوي للأمطار أكثر من 1,000 ملم، وأن يكون هذا المقدار موزعاً بصورة جيدة خلال فترة نمو المحصول. إذا لم يكن توزيع الأمطار جيداً خلال فترة نمو المخصول، فلا بد من ادخال الري الصناعي، حتى لو كان المعدل أكثر من 1,000 ملم، ويعرف في هذه الحالة بالري التكميلي.

التبخر Evaporation

التبخر هو العملية التي يتم من خلالها تحويل الماء السائل إلى بخار ماء. يتبخر الماء من مجموعة متنوعة من الأسطح، مثل الاسطح المائية (البحيرات والمحيطات والأنهار) بالإضافة إلى سطح التربة والنباتات الرطبة. حتى تتم عملية التبخر يجب توفر الطاقة مطلوبة لتغيير حالة جزيئات الماء من السائل إلى البخار، ويتم توفير هذه الطاقة بصورة كبيرة من خلال الإشعاع الشمسي المباشر.

القوة المحركة والفعّالة في إزالة بخار الماء من سطح التبخر؛ هي الفرق بين ضغط بخار الماء على سطح التبخر وضغط الهواء المحيط به. مع استمرار عملية التبخر، يصبح الهواء المحيط بذلك السطح مشبعًا، وتقل العملية تدريجيًا حتى تتوقف تماماً عندما لا يتم نقل الهواء الرطب إلى الغلاف الجوي. تعتمد عملية استبدال الهواء المشبع بهواء آخر أكثر جفافًا بدرجة كبير على سرعة الرياح. وبالتالي نجد أن هناك عدة عوامل فعالة هي الإشعاع الشمسي، ودرجة حرارة الهواء، ورطوبة الهواء، وسرعة الرياح، والتي تمثل أبرز العوامل المناخية التي يجب مراعاتها عند دراسة عملية التبخر.

عندما يكون سطح التبخر هو التربة، فإن أهم العوامل المؤثرة على عملية التبخر هي مستوى الغطاء النباتي وكمية المياه المتاحة على سطح التربة. مصدر هذه المياه السطحية على التربة إما أمطار أو مياه ري أو مياه من باطن الأرض تصل إلى السطح عبر الخاصية الشعرية.

في ظل الظروف التي تكون فيها المياه قليلة في التربة (المحتوى الرطوبي متدني)، ومع عدم وجود أي إمداد مائي للتربة، فإن معدل التبخر ينخفض بسرعة مع الوقت وقد تتوقف عملية التبخر تمامًا في غضون بضعة أيام.

هناك عمليات أخرى ذات صلة بالتبخر وهي:

التسامي: وهو العملية التي يتحول بها الجليد أو الثلج من الصلابة إلى بخار الماء مباشرة.

الندى (Dew): هو احد انواع التكاثف، ويقوم على تحول البخار الى قطرات مياه عن طريق ملامسته لسطح بارد (مثل أوراق النبات)، مكوناً بالتالي قطرات الندى، وتتم بشكل عام في الليل أو الصباح الباكر.

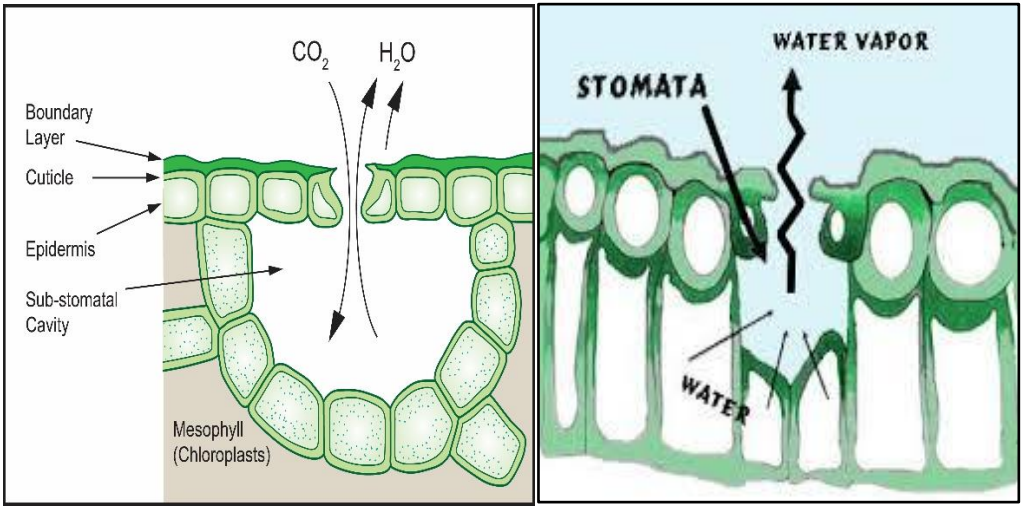
وحدات قياس التبخر

معدل التبخر يعبر عن كمية المياه المفقودة من سطح رطب خلال فترة زمنية محددة.
يتم التعبير عن معدل التبخر عادة بعمق المياه (بالملليمتر (مم)) لكل وحدة زمنية. يمكن أن تكون الوحدة الزمنية ساعة أو يوم أو عشرة أيام أو شهر أو فترة نمو المحصول كاملة أو سنة. يتم تحويل كمية المياه من العمق (ملم) إلى حجم (متر مكعب) عن طريق ضرب العمق في المساحة التي تتأثر بالتبخر.

كما يمكن التعبير عن معدل التبخر عن طريق حساب كمية الطاقة المستهلكة لحدوث عملية التبخر.

النتح Transpiration

النتح هو العملية التي يتم من خلالها تبخر الماء السائل الموجود في أنسجة النبات، ومن ثم وإطلاق هذا البخار في الجو. تفقد المحاصيل مياهها في الغالب عن طريق فتحات دقيقة على سطح الأوراق. هذه الفتحات صغيرة جداً على ورقة النبات (Stomata)، وتمر من خلالها الغازات وبخار الماء (الشكل 3).



الشكل 3: رسم توضيحي لعملية النتح من سطح أوراق النبات [6].

يتم امتصاص الماء مع بعض العناصر الغذائية بواسطة الجذور ويتم نقله عبر الجذور والفروع للأوراق والثمار. يحدث التبخر داخل انسجة الورقة، وتحديداً في المساحات بين الخلايا، ويتم التحكم بتبادل البخار مع الغلاف الجوي عن طريق فتحات دقيقة على الورقة. يتم فقد معظم المياه التي يتم امتصاصها بواسطة الجذور عن طريق عملية النتح، بينما يتم استخدام جزء صغير جدًا منها لنمو النبات.

عملية النتح مماثلة لعملية التبخر المباشر، وتعتمد على توفر الطاقة وضغط البخار والرياح، وبالتالي، ينبغي الأخذ في الإعتبار مقدار الإشعاع الشمسي، درجة حرارة الهواء، الرطوبة الجوية، وحركة الرياح عند دراسة عملية النتح.

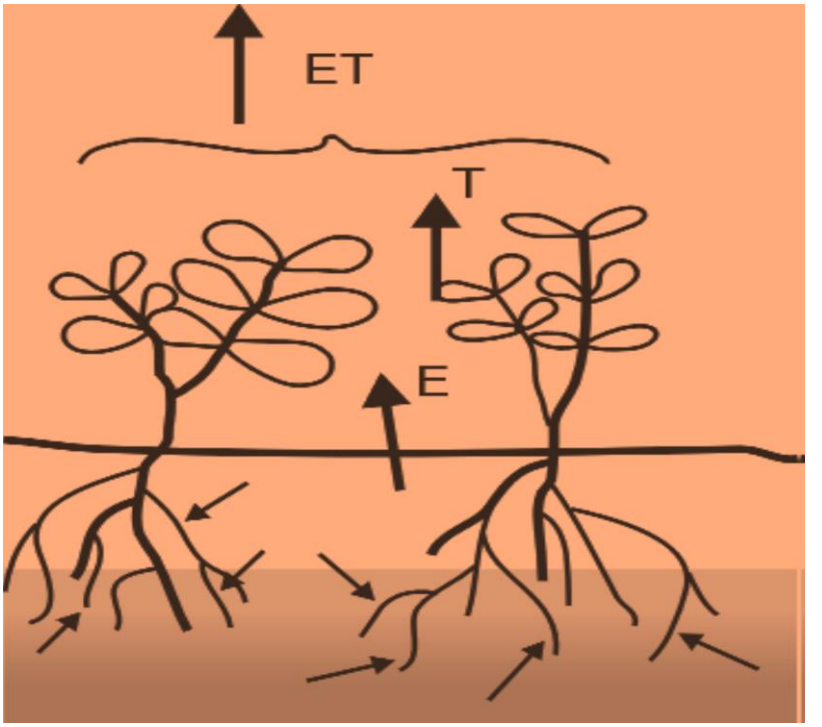
إن محتوى التربة المائي (Soil Moisture Content) وقدرة التربة على توصيل المياه إلى الجذور يؤثران أيضًا معدل النتح، كذلك التشبع بالمياه وملوحة مياه التربة. كما يتأثر معدل النتح أيضًا بخصائص المحاصيل والجوانب البيئية وممارسات الزراعة. على سبيل المثال أنواع القطن المختلفة يكون لها معدلات نضح مختلفة. بالإضافة إلى أنه ليس فقط نوع المحاصيل يؤثر على العملية، ولكن أيضًا درجة نمو المحاصيل والبيئة الخارجية وأسلوب الإدارة يجب أن تؤخذ في الاعتبار عند دراسة وحساب النتح.

الشكل 4: فيديو توضيحي لعملية النتح [7].

التداخل بين عملية التبخر وعملية النتح

يحدث التبخر من التربة والنتح من النبات بعملية مشتركة في المنطقة التي يوجد بها غطاء نباتي، وليس هناك طريقة سهلة للتمييز بين العمليتين في نفس الوقت (شكل 5). بغض النظر عن توفر المياه في التربة

السطحية، فإن التبخر المباشر من سطح التربة يتم تحديده بشكل أساسي من خلال كمية الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح التربة.

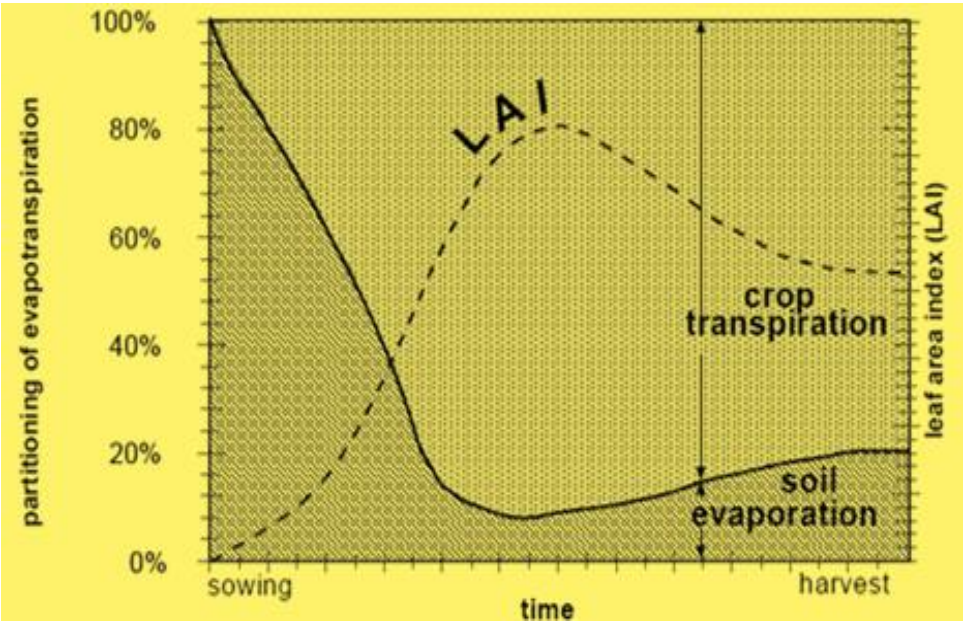


الشكل 5: التداخل بين التبخر من التربة (E) والنتح من النبات (T) [8].

تنخفض قيمة التبخر المباشر من التربة بعد ظهور النبات على سطح الأرض، والتي مع ظهورها تبدأ عملية النتح، ومع تطور مراحل النمو تزيد مساحة الغطاء النباتي ويتم تظليل مساحة أكبر من الأرض. عندما يكون المحصول صغيرًا، فإن معظم الماء يضيع غالبًا بسبب التبخر من التربة،

ولكن بمجرد أن ينمو المحصول بدرجة كافية بحيث يغطي التربة تمامًا، يصبح النتح هو العملية الرئيسة في تبخر المياه الكلي.

الشكل رقم 6 أدناه يوضح مخططاً لتقسيم التبخر الكلي إلى تبخر من التربة، ونتح من النبات، حيث يتم تقديره حسب نسبة مساحة ورقة النبات لوحدة السطح من التربة التي تحتها ((Leaf Area Index (LAI). عند بداية عملية الزراعة فإن نسبة 100٪ تقريبًا من التبخر الكلي يأتي مباشرة من التربة، بينما في حالة الغطاء النباتي الكامل للمحاصيل نجد أن أكثر من 90٪ من التبخر الكلي ينتج من عملية النتح.



شكل 6: مخطط التبخر الكلي الناتج عن التبخر من التربة والنتح من النبات مع تأثير مساحة الغطاء النباتي [3].

فصل في مصطلح التبخر الزراعي Evapotranspiration (ET)

يشير مصطل **Evapotranspiration** باللغة الإنجليزية إلى الجمع بين العمليتين المنفصلتين لتبخر المياه من ناحية من سطح التربة بالتبخر، ومن ناحية أخرى من النبات الماء عبر عملية النتح.

في اللغة العربية عندما نريد ترجمة أي مصطلح فهناك ثلاث طرق رئيسة وهي: الترجمة الحرفية، ترجمة المعنى، أو تعريب المصطلح بنفس طريقة نطقه.
عند تطبيق هذه القواعد على مصطلح (**Evapotranspiration**)، نجد أنه تمت ترجمة هذا المصطلح ترجمة حرفية وهي (البخر نتح) وفي بعض المصادر (التبخر النتحي) وأيضاً (تبخر نتح)، إلا أن التركيبة اللغوية لهذه المصطلحات غير دقيقة إما من ناحية اللغة أو ومن ناحية المعنى.

المصطلح الأول (البخر نتح) نجد أن الكلمة الأولى البخر، كإسم معرّف، تعني الرائحة غير الجميلة من الفم، حسب قاموس المعاني للغة العربية.
بالنسبة للمصطلح الثاني (التبخر النتحي) فهو لغوياً غير دقيق إذ أنه ينسب التبخر إلى عملية النتح وحدها.
أما مصطلح (تبخر نتح) فيمكن قبوله كترجمة حرفية، إلا أنه لا يعطي المتلقي أي إنطباع عما يمثله هذا المصطلح وما يعنيه.

الإستخدام الأصلي لهذا المصطلح هو الجمع بين التبخر Evaporation والنتح Transpiration حيث تم دمج الكلمتين في مصطلح واحد بغرض التسهيل وهو

Evapotranspiration، وعليه فإن الترجمة الحرفية الدقيقة تكون (عمليتي التبخر والنتح).

كما ذكرنا آنفاً في أن المقصود من المصطلح هو الجمع بين عملية التبخر وعملية النتح، والتي تتم في سطح الأرض التي تحوي نبات بصورة عامة، وعليه فإن ترجمة المعنى للمصطلح يمكن أن يعبر عنها بمصطلح **(التبخر الزراعي)**، بحيث يدل على عملية التبخر من الأراضي التي تحتوي على النبات، والذي يعطي معنى مباشر للعملية وبصورة مختصرة. وعليه في هذا الكتاب أينما وجد مصطلح **(التبخر الزراعي)** فهو ترجمة مصطلح Evapotranspiration.

العوامل التي تؤثر على التبخر الزراعي

هناك الكثير من العوامل التي تؤثر على التبخر الزراعي وأبرزها عوامل الطقس، وخصائص المحصول، وأسلوب إدارة الري، بالإضافة إلى الجوانب البيئية [3].

عوامل الطقس Weather Parameters

عوامل الطقس الرئيسية التي تؤثر على التبخر هي الإشعاع ودرجة حرارة الهواء والرطوبة وسرعة الرياح.
يحتاج محصول معين يزرع في مناخ مشمس وحار إلى كميات أكبر من المياه مقارنة بالمحصول نفسه الذي يزرع في مناخ غائم وبارد. ومع ذلك، هناك عوامل مناخية أخرى تؤثر على احتياجات المياه للمحاصيل، وهذه العوامل تشمل الرطوبة وسرعة الرياح. عندما تكون المنطقة جافة، فإن

حاجة المحاصيل للمياه تكون أعلى مقارنة مع المنطقة رطبة، وفي المناطق ذات التيارات الهوائية العالية تستهلك المحاصيل كميات أكبر من المياه مقارنة بالمناطق الهادئة.

خصائص المحاصيل Crop Parameters

ينبغي مراعاة نوع المحاصيل ومرحلة نموها عند تقييم الفواقد المائية عبر عملية التبخر، خاصة بالنسبة للمحاصيل التي تزرع في الحقول الكبيرة. تنتج الاختلافات في مقدار التبخر عبر عملية النتح لعدة عوامل بالنسبة لنفس المحصول وتشمل: ارتفاع المحصول من الأرض، وخشونة السطح، ودرجة الانعكاس الإشعاعي، ومساحة الغطاء النباتي، وغيرها. يتم دراسة عوامل التبخر الخاصة بالمحاصيل التي تزرع في حقول كبيرة في ظل الظروف المثالية، مثل مياه التربة المثلى، والإدارة الحقلية الممتازة والظروف البيئية الملائمة، بحيث تحقق الإنتاج الأقصى في ظل الظروف المناخية المحددة.

إدارة الحقل والظروف البيئية Management and Environment

هناك عوامل أخرى ذات تأثير على عملية التبخر غير متعلقة بالطقس أو خصائص النبات، مثل ملوحة التربة وضعف خصوبة الأراضي والتطبيق المحدود للأسمدة ووجود تربة صلبة وظهور الأمراض والآفات. إن

ضعف إدارة التربة قد يحد من نمو المحاصيل ويقلل من التبخر. كما أن محتوى التربة المائي له تأثير مباشر على عمليتي التبخر والنتح.
عند تقييم معدل التبخر الزراعي، ينبغي الأخذ في الإعتبار الممارسات الإدارية التي تؤثر على العوامل المناخية ونمو المحاصيل مثل ممارسات تحضير الأراضي الزراعية، ونوع طريقة الري، واللتان تؤثران على خصائص المحاصيل ودرجة ترطيب التربة والجو المحيط.
عندما تختلف ظروف الحقل عن الشروط المثالية لنمو المحصول، تكون عوامل التصحيح مطلوبة لضبط احتياجات المحاصيل المائية. ويعرف هذا التعديل بالإحتياجات البيئية والإدارية ذات التأثير على عملية التبخر من المحاصيل.

التبخر الزراعي للمحصول (ETc) Crop Evapotranspiration

يتم تعريف التبخر الزراعي لمحصول معين على أنه (كمية المياه المتبخرة من محصول في ظل الظروف المثالية لنموه). يمكن تعريف هذه الظروف المحصول على أنه خالي من الأمراض، وتربة مخصبة جيدًا، ومزروع في مساحة كبيرة، وتحت ظروف مياه التربة مثالية، وفي ظل الظروف المناخية المحددة، ليحقق نموه التام وإنتاجه الكامل.

تتأثر عملية التبخر الزراعي للمحصول بخصائصه التركيبية، مثل مساحة الغطاء النباتي، مساحة الورقة وشكلها ولونها، ومرحلة النمو. من المهم معرفة أن معامل المحصول (ويعبر عنه بالإختصار (K_c)) يختلف للمحصول الواحد خلال مراحل نموه وتطوره المختلفة، وذلك لإختلاف الخصائص أعلاه، خاصة مساحة الغطاء النباتي.

كذلك يمكن ان نستنتج أن نفس المحصول، عندما يزرع في مناطق مناخية مختلفة، سيكون له احتياجات مائية مختلفة. على سبيل المثال، سيحتاج نوع معين من الذرة المزروعة في مناخ بارد إلى كمية أقل من المياه في مناخ أكثر سخونة.

على سبيل المثال، يحتاج العشب الذي يزرع في مناخ شبه جاف مع متوسط درجة حرارة 20 درجة مئوية إلى حوالي 6.5 مم من الماء يوميًا. يحتاج نفس المحصول في مناخ شبه رطب مع متوسط درجة حرارة 30 درجة مئوية إلى حوالي 7.5 مم من الماء يوميًا .

لذلك من المفيد أن يكون هناك محصول معياري معين يشكل مرجعاً لتحديد كمية المياه التي يحتاجها المحصول المحدد يوميًا في المناطق المناخية المختلفة.
متوسط الاحتياجات المائية اليومية لهذا المحصول المرجعي تعتمد على **العوامل المناخية فقط** من معدل هطول الأمطار ودرجات الحرارة اليومية.

المحصول المرجعي (Reference Crop)

المحصول المرجعي هو المحصول الذي يوفر شرط أن يكون سطح التبخر سطح رطب يغطي الأرض تماماً، بحيث يكون التبخر الكلي للأرض الزراعية ناتجاً عن عملية النتح فقط ولا تبخر من التربة، وعليه من أبرز مواصفات هذا المحصول أن يكون كثيفاً ويغطي سطح الأرض تماماً بحيث لا تظهر التربة ولا تتأثر بعملية التبخر، كما يجب أن يكون هذا المحصول مكتفي تماماً من المياه، حتى لا تكون هناك فواقد للمياه يمتصها النبات للنمو. كما يشترط في هذا المحصول أن يكون طوله في مستوى واحد بحيث يكون هناك تجانس تام على سطح التبخر قدر الإمكان.

هناك نوعان أساسيان من المحاصيل المرجعية ولا يزالان قيد الاستخدام في جميع أنحاء العالم، وهما العشب (Grass)، والبرسيم (Alfalfa)، والتي تنطبق عليها المواصفات المذكورة أعلاه.

التبخر الزراعي للمحصول المرجعي
Reference Crop Evapotranspiration (ET_o)

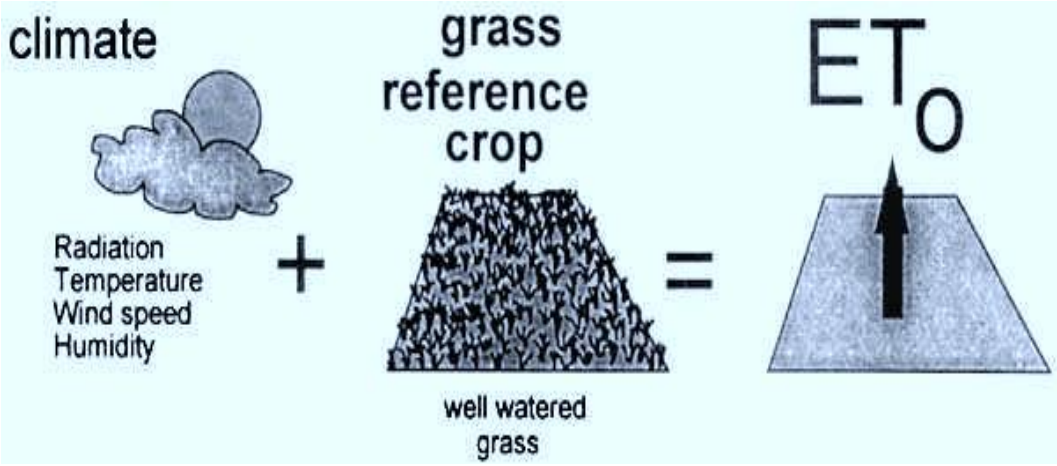
تم وضع مفهوم التبخر الزراعي المرجعي لدراسة مقدار التبخر من النبات بالأخذ في الإعتبار عوامل الطقس فقط، بشكل مستقل عن العوامل الأخرى مثل نوع المحصول ودرجة نموه، وممارسات الري، وطبيعة العمليات الزراعية.عبر دراسة وتحليل عوامل الطقس، تم تطوير مفهوم التبخر الزراعي المرجعي(ET_o) ، وهذا المصطلح يعبر عن كمية المياه المتبخرة للغلاف الجوي من خلال حساب العوامل المناخية دون غيرها.

يبرز هذا المفهوم لتوضيح أن هناك مرجعية يمكن إعتمادها لعملية التبخر الزراعي، حيث أن السطح الذي يحدث منه التبخر يمثل حالة خاصة، من المفترض أن يكون فيها الماء متوفر بكثرة على ذلك السطح، هذا المقدار من التبخر في تلك الحالة يماثل في مقداره نفس كمية المياه التي تتبخر من المحصول المرجعي لنفس الظروف المناخية.

من خلال التعريف أعلاه، نجد أنه يمكن قياس مقدار التبخر الزراعي المرجعي، (يرمز له إختصاراً (ET_o))، إما عن طريق قياس التبخر مباشرة، عبر إناء قياس التبخر (Evaporation Pan)، أو بعمل القياسات الحقلية لحساب إستهلاك المحصول المرجعي، أو عبر المعادلات الوضعية.

أبرز ما يميز هذه المنهجية أنها تلغي الحاجة إلى تحديد مقدار التبخر الزراعي بصورة منفصلة لكل محصول وخلال كافة مراحل نمو. كما تتيح هذه الآلية

إمكانية مقارنة تأثير العوامل المناخية على معدلات التبخر الزراعي بالنسبة للمناطق المختلفة.



شكل 7: مكونات عملية التبخر الزراعي للمحصول المرجعي [3].

خلاصة التبخر الزراعي

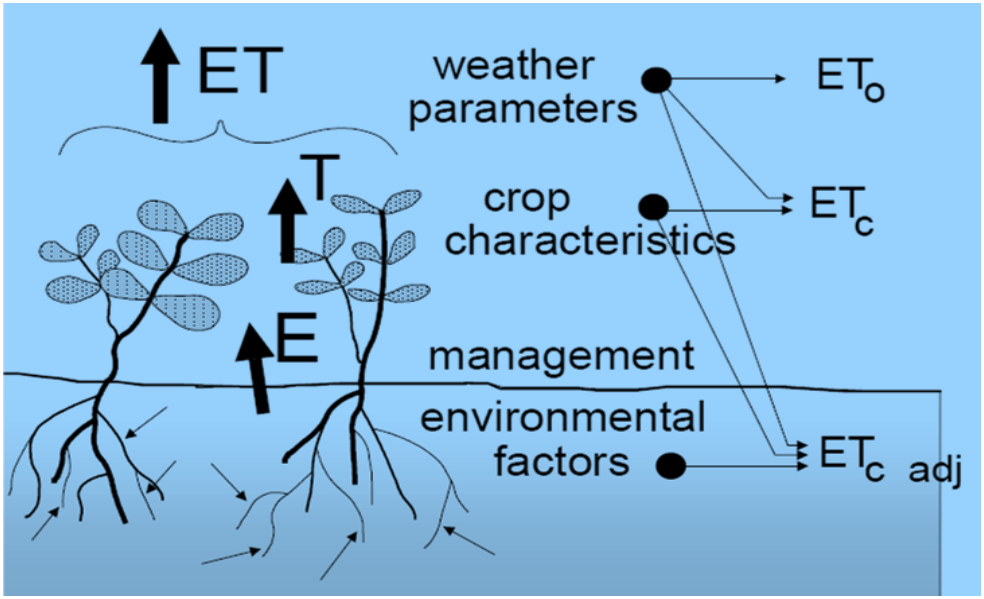
حساب كمية التبخر الزراعي بغرض توفير مياه الري يدخل فيه حساب العديد من العوامل.

أولاً: يتم حساب مقدار التبخر الزراعي المرجعي (**ET_o**)، والذي يأخذ في الأعتبار العوامل الجوية وبيانات الطقس فقط.

ثانياً: يتم حساب التبخر الزراعي للمحصول في ظل الظروف المثالية للنمو (**ET_c**)، والذي يأخذ في الإعتبار خصائص المحصول.

ثالثاً: يتم حساب التبخر الزراعي للمحصول وفقاً للظروف الواقعية (**ET_c adj**)، وتأخذ في الإعتبار عوامل تصحيحية إذا كانت إدارة الحقل دون المستوى، أو في حال وجود قيود بيئية تؤثر على نمو المحصول.

يوضح الشكل التالي المفاهيم المختلفة لعوامل التبخر الزراعي، وكيف تؤثر العوامل المختلفة في التبخر الزراعي للمحصول المرجعي (**ET_o**)، والاختلاف بين تبخر المحصول في ظل ظروف قياسية (**ET_c**) وظروف الإدارة والبيئة المختلفة (**ET_c adj**).



شكل 8: العوامل المؤثرة على عملية التبخر الزراعي [3].

تحديد كمية مياه الري (Irrigation Water Requirement IWR)

بعد حساب كمية المياه التي يحتاجها المحصول في موقعه، يتم حساب كمية مياه الري المطلوبة (**IWR**)، وهي كمية المياه التي يجب تطبيقها لتلبية احتياجات المحصول دون انخفاض في الإنتاجية.

في هذه المرحلة نأخذ بالحسبان العوامل التي تؤثر على عملية الري، وتمثل الفواقد المختلفة خلال عملية توصيل المياه، وتختلف من نظام ري لآخر، ويعبرعنها بمصطلح كفاءة الري **(Irrigation Efficiency).**

فوائد الري

هنالك الكثير من المميزات المصاحبة لمشاريع الري مقارنة مع الإعتماد الكلي على مياه الأمطار [4]، وأهم هذه المزايا هي:

زيادة إنتاج المحاصيل

يمكن زيادة إنتاج جميع أنواع المحاصيل تقريباً من خلال توفير الكمية المناسبة من الماء في الوقت المناسب، وهذا يؤثر على شكل المحصول ودرجة نموه. هذا المقدار من التحكم في إمداد المياه لا يمكن الحصول عليه إلا من خلال هندسة الري.

التنمية الاقتصادية

تحقق مشاريع الري تنمية إقتصادية واضحة للعيان وبصورة خاصة في الدول النامية، وذلك من خلال عدة عوامل أولها توفير العمل والوظائف، توغير العملة الصعبة من خلال تصدير المحاصيل ذات الطلب العالمي، هذا بالإضافة إلى استفادة الحكومة من الضريبة المحصلة من المزارعين في مقابل توفير المياه.

الإمداد المائي للسكان وللصناعة

يمكن استخدام بعض المياه من قنوات الري لتوفير المياه للإستخدامات المنزلية لأغراض الشرب والحياة اليومية، وكذلك لتشغيل الصناعات الخفيفة للمناطق المجاورة. وعلى العموم، فإن كميات المياه

للاستخدامات المنزلية والصناعية تعتبر صغيرة نسبياً مقارنة باحتياجات مياه الري، ولا تؤثر على إجمالي التدفق في القنوات.

تحقيق الأمن الغذائي

توفر مشاريع الري في أي منطقة ضمان وحماية من تذبذب هطول الأمطار والذي يؤثر بصورة مباشرة على إنتاج المحاصيل ويتسبب في حدوث المجاعات بسبب الجفاف والقحط. والتي تحدث بصورة دورية في المناطق بدون نظام للري، والتي تعتمد فقط على الأمطار لزراعة المحاصيل، وبما أن الأمطار قد لا توفر كمية المياه الكافية لزراعة المحاصيل كل عام، فإن هذا الخطر يكون قائماً بصورة مستمرة.

توليد الطاقة الكهرومائية

في نظام الري الذي يعتمد على قنوات كبيرة، يوجد اختلاف في مستوى الماء قبل وبعد المنشئات والمنظمات في أماكن معينة. على الرغم من أن هذا الفرق في المنسوب قد لا يكون مرتفعًا للغاية، إلا أنه يمكن استخدام هذا الإرتفاع لتوليد الكهرباء. يمكن إنشاء مثل هذه المشاريع الصغيرة لتوليد الطاقة الكهرومائية، بحيث يستفاد منها في المناطق القريبة.

تحديات مشاريـع الري

على الرغم من المميزات العديدة لمشايع الري إلا أن هناك بعض التحديات الكبرى والتي تعتبر من الآثار السالبة لعملية الري. حيث نجد أن حوالي 66 ٪ من نسبة المياه في العالم تستخدم في الزراعة، إلا أن معظم أنظمة الري (خاصة الري السطحي) بها هدر كبير للمياه، ويتجلى ذلك في أن 50 - 60 ٪ من المياه المستخدمة لا يستفيد منه النبات [4]. وهذه تعتبر كمية ضخمة جداً من المياه والتي تذهب في الغالب هدراً دون الإستفادة منها، عليه فمن الضروري الإهتمام بالمشاريـع المروية والتركيز على رفع كفاءة الري بصورة تضمن الحفاظ على هذا المورد ومراعاة الإنتاج الأمثل للمحاصيل الزراعية. يعتمد هذا الحل على استخدام تقنيات أكثر تطوراً لتحسين طريقة الري ويمكن أن تقلل من فقدان المياه، ومن أمثلة ذلك نظم الري بالتنقيط والري بالرش.

من ناحية أخري، نجد أن إنشاء مشاريـع الري الكبرى له آثار بيئية سالبة، من إزالة للغطاء النباتي في الغابات، والتأثير على الأنبعاث الحراري كما في حالة مشاريـع ري الأرز، وعلى الرغم من أهمية الري لتوفير الغذاء، إلا أن هذا لا ينبغي أن يكون على حساب تدهور الموارد الأخرى مثل الأرض والمياه، وهو ما يعني تهديد المنظومة الطبيعية والتي يتأثر بها الإنسان في نهاية المطاف. من أجل تخطي هذه التحديات، هناك حاجة ملحة لوضع استراتيجيات لمشاريـع الري في الوقت الحالي وفي المستقبل، بحيث تحقق التنمية المستدامة طويلة المدى.

المراجع

[1] Startimes, “THE HYDROLOGIC CYCLE,” 2009. [Online]. Available: https://www.startimes.com/f.aspx?t=20090341. [Accessed: 12-Dec-2019].

[2] ASCE, “Hydrology Handbook, ASCE Manuals on Engineering Practice No. 28.” New York: ASCE, 1996.

[3] R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith, “Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56,” *Fao, Rome*, vol. 300, no. 9, p. D05109, 1998.

[4] S. K. Garg, *Irrigation Engineering and Hydraulic Structures*. Khanna Pub., 2005.

[5] Almaany, “معجم المعاني الجامع, 2019”. [Online]. Available: https://www.almaany.com/ar/dict/ar-ar/الري/. [Accessed: 20-Apr-2019].

[6] Desert-aire, “Transpiration through stomata,” 2019. [Online]. Available: https://www.desert-aire.com/resources/application-notes/grow-room-load-determination. [Accessed: 13-Dec-2019].

[7] TutorVista, “Transpiration In Plants,” 2010. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=U4rzLhz4HHk. [Accessed: 21-Dec-2019].