المملكة الأردنية الهاشمية

المركز الوطني للبحث والارشاد الزراعي

الأسس العملية في تقدير الاحتياجات المائية وجدولة الري للمحاصيل الزراعية

إعداد

مهندس زراعي

وائل عادل الشريف

مستشار في إدارة المياه والري

٢٠٠٩

المركز الوطني للبحث والإرشاد الزراعي

الأسس العملية في تقدير الاحتياجات المائية وجدولة الري للمحاصيل الزراعية

إعداد

مهندس زراعي

وائل عادل الشريف

مستشار في إدارة المياه والري

٢٠٠٩

المملكـــة الأردنيـــة الهاشميـــة
رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية
(٢٠٠٩/٢/٦١٩)

* يتحمل المؤلف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مصنفه ولا يعبّر هذا المصنف عن رأي دائرة المكتبة الوطنية

اهـــــداء

الى الزملاء الاعزاء الذين سرنا معهم

والـــذيـــن رافـقـونـــــــا

والذين سيواصلون الخطى

عـلـــى هـــذا الـــــدرب

اهـــدي هـــذا الكتـــاب

شكر وتقدير

انتهز هذه المناسبة لأتقدم بالشكر الجزيل لعطوفة مدير عام المركز الوطني للبحث والإرشاد الزراعي الدكتور فيصل عواوده على دعمه المتواصل لمسيرة البحث العلمي الزراعي وبتسهيل إصدار وطباعة هذا الكتاب، كما وأخص بالشكر أيضا جميع الزملاء الباحثين في المركز الوطني للبحث والإرشاد الزراعي الذين قاموا بمراجعة هذا الكتاب ولما أبدوه من ملاحظات واقتراحات وأفكار قيمة ومفيدة وبناءة والتي أثرت في المادة العلمية لهذا المؤلف وهم:

- الدكتور ماجد الزعبي
- المهندس علي مساعده
- المهندس خليل جرن
- الدكتور أحمد بولاد
- المهندس سعيد الزريقي
- الدكتور معين القريوتي
- الدكتور نعيم مزاهرة
- الدكتور منير حسين
- الدكتور عدنان الياسين

المقدمـــة

الماء شريان وعنصر ديمومة الأمم والشعوب فهو آية من آيات الله ولا ينتج ولو اجتمعت مختبـرات الكون لجمع ذرتين من الهيدروجين مع ذرة أكسجين لتكوين الماء لما استطاعوا، فهناك شـواهد كثيـرة فـي التاريخ تؤكد أن حضارات ازدهرت على كوكبنا الذي نعيش علية بازدهار وتقدم نظم ريها واندثرت بتراجـع هذه النظم. وقد ورد ذكر الماء بعدة مواقع في القرآن الكريم للدلالة على أهميته في حياة الأفـراد والـشعوب ومنها على سبيل المثال لا الحصر ما جاء في قوله تعالى "وجعلنا من الماء كل شي حي" (سورة الأنبياء الآية ٣٠) وقوله تعالى "وهو الذي أنزل من السماء ماءاً فاخرجنا به نبات كل شي، فاخرجنا منه خضراً نخرج منه حباً متراكباً ومن النخل من طلعها قنوان دانية وجنات من أعناب والزيتون والرمان مشتبها وغيـر متـشابة، انظروا إلى ثمره إذا أثمر وينعه، إن في ذلك لآيات لقوم يؤمنون" (سورة الأنعام الآية ٩٩) وقوله تعالى "قـل أرايتم إن أصبح ماؤكم غورا فمن يأتيكم بماء معين" (سورة الملك الآية ٣٠) صدق الله العظيم.

هذا غيض من فيض على ما ورد في القرآن الكريم عن الماء وقدسيته وعلى حسن إدارته وإسـتعماله بأكمل وأفضل وجـه لاستمرار الحياة. فهو حياه للبشر وللنبات وللكائنات الحية الاخرى، ولتحقيق هذا الهدف كان لابد من معرفة الوسائل والطرق السليمة والصحيحة التي توصل للنتائج المرجوة، فجاءت هذه الدراسـة لتلقي اضاءة على أكبر مستهلك من هذه الثروة الطبيعية وهي المملكة النباتية ودراسة احتياجاتهـا ومقنناتهـا المائية وطرق حسابها وعلاقاتها بالظروف المناخية والبيئية.

إن الإحتياجات المائية وجدولة الري للمحاصيل الزراعية هي الأساس في استيعاب وفهم ودراسة ادارة مياه الري على النطاق العام للمنطقة المروية وعلى مستوى المزرعة بشكل خاص.

فالإحتياجات المائية وطرق قياسها وحساباتها وعوامل المناخ والتربة والأساليب الزراعية المؤثرة فيها ومعرفة الإستهلاك المائي للمحاصيل هي وسيلة المهندس الزراعي لتقدير كمية المياه التي يجب أن تروى بها المحاصيل ومواعيد اضافة هذه الكميات وهي أيضاً وسيلة مهندس الري لتصميم وتخطيط مشاريع الري وكما هي بالنسبة للهيدرولوجست لتحديد الموازنة المائية بين تجدد المياه الجوفية في مكامنها ومقدار ما يضخ منهـا لتجنب انخفاض مستواها وتردي نوعيتها.

وإذا ما نظرنا إلى الوضع المائي للمملكة الأردنية الهاشمية فنجد أنها تقع حسب التـصنيف العـالمي ضمن الدول العشر الأوائل الأكثر فقراً مائياً في العالم حيث لا تتجاوز حصة الفرد ١٥% من مـستوى خـط الفقر المائي الذي حددته المنظمات الدولية بألف متر مكعب سنوياً.

إن التفاوت في التضاريس الطبيعية الذي تتميز به المملكة من الشمال إلى الجنوب والباديـة الـشرقية والمناطق المنخفضة في وادي الأردن أحدث تفاوتاً شديداً في درجات الحرارة ومعدلات سقوط الامطار علـى المناطق البيئية المختلفة، فمعدلات الأمطار السنوية تتراوح من ٥٠-٦٠٠ ملم في السنة وإن أكثر مـن ٩٢%

من مساحة الأردن يستقبل هطولاً مطرياً أقل من ٢٠٠ ملم وأن مجموع هذه الامطار يبلغ ٨,٥ بليـــون متـــر مكعب يتبخر منه ما نسبته ٩٢% ويخزن الباقي في باطن الارض أو وراء السدود للاستعمالات المختلفة.

هذه الحقيقة يجب استيعابها والعمل على تخفيف آثارها السلبية المباشرة وغيرالمباشرة على المجتمع وذلك بإجراء الدراسات والأبحاث التي تعظم كفاءة إستخدام هذه المياه في النواحي المختلفة ومنها دراسة الإستهلاك المائي لأهم المحاصيل الزراعية التي تنتشر زراعتها في المملكة الأردنية الهاشمية.

المحتويات:

كلمة شكر

مقدمة الكتاب

المحتويات

الفصل الأول: ١٠

- علاقة الماء بالتربة والنبات. ١٠
- صفات التربة الطبيعية: ١٠

١. قوام أو نسجة التربة. ١١
٢. تركيب التربة. ١١
٣. الكثافة الظاهرية. ١٢
٤. مسامية التربة. ١٢
٥. عمق التربة. ١٣
٦. المواد الغذائية الأولية في التربة. ١٣
٧. أنواع الماء بالتربة. ١٣
٨. الشد الرطوبي. ١٤
٩. التوتر السطحي للماء والخاصية الشعرية. ١٥
١٠. نفاذية التربة ١٧
١١. التغلغل العميق. ١٧
١٢. حركة الماء في التربة. ١٨

الفصل الثاني: الإحتياجات المائية. ٢١

١. الإحتياجات المائية والإستهلاك المائي. ٢١
٢. العوامل التي تؤثر على الإستهلاك المائي: ٢٢
   i. العوامل النباتية ٢٢
   ii. العوامل البيئية ٢٤
   iii. العوامل المناخية ٢٧
٣. تقدير الإستهلاك المائي : ٢٨

٣-١ طرق تقدير الاستهلاك المائي ٣٠

i. طريقة الأحواض أو اللايسميترات ٣٠

ii. طريقة الإستنزاف الرطوبي. ٤٠
iii. طريقة استخدام حوض التبخر. ٤٣

الفصل الثالث: جدولة الري للمحاصيل الزراعية. ٤٧
١. جدولة الري. ٤٧
٢. كفاءة الري. ٥١
٣. الأمطار الفعالة. ٥٥
٤. صافي وإجمالي كمية الري. ٥٥
٥. فترة الري. ٥٦
٦. مؤشرات حاجة النبات للري / تقدير جدولة الري: ٥٧
- المؤشر النباتي أو ملاحظة النبات. ٥٧
- مؤشر التربة. ٥٨
- الموازنة المائية. ٦٧
٧. برمجة الري ومراحل نمو المحاصيل. ٦٧
٨. طرق برمجة الري. ٦٨

الفصل الرابع: الإحتياجات المائية للمحاصيل الزراعية. ٧٠
i) المحاصيل الخضرية : ٧٠
١. البندورة. ٧٠
٢. البطاطا. ٧٢
٣. الفلفل. ٧٣
٤. البصل. ٧٤
٥. البطيخ. ٧٥
٦. الفاصولياء. ٧٦
٧. البازيلاء. ٧٧
٨. الملفوف. ٧٨
ii) المحاصيل الحقلية والأعلاف : ٧٩
٩. القمح. ٧٩
١٠. البرسيم. ٨١

iii) الأشجار المثمرة : ٨٢

١١. الحمضيات. ٨٢

١٢. التفاح. ٨٤

١٣. الزيتون. ٨٥

١٤. الموز. ٨٦

١٥. العنب. ٨٩

الفصل الخامس: ٩١

تطبيقات عامة. ٩١

المراجع. ١٠٢

الفصـــل الأول

علاقة الماء بالتربة والنبات "Soil, Water, Plant Relationship"

إن التربة هي الخزان الطبيعي لمياه الأمطار والري ومنها يتم استخراج ما يحتاجه الإنسان لسد احتياجاته المختلفة من المياه أو ما يمتصه النبات بواسطة مجموعه الجذري للقيام بعملياته الحيوية والفسيولوجية وبناءاً عليه يجب ملىء هذا الخزان بين الحين والآخر لسد العجز الذي ينتج عن الظواهر الطبيعية كالتبخر أو نتيجة لما ذكر سابقاً. وسوف نبين خواص التربة الطبيعية التي تساعدنا في تحديد كمية المياه الواجب اضافتها للتربة والتي تعتمد اعتماداً مباشراً على قدرة التربة التخزينية للمياه والتي تختلف باختلاف نوعها.

شكل ١: وصف لقطاع أحد أنواع الترب يبين خصائصها الطبيعية وعمق طبقاتها (أفاقها).

صفات التربة الطبيعية :

تؤثر خواص التربة الطبيعية كالقوام والبناء والمسامية وغيرها على تقدير رطوبة التربة والتي لها علاقة مباشرة في تحديد الإحتياجات المائية للمحاصيل الزراعية حيث يبين(الشكل ١) وصف لقطاع تربة يوضح آفاقها كما هي بالطبيعة والتي سوف نفصلها فيما يلي:

١. قوام التربة أو نسجة التربة "Soil Texture"

التربة جسم مسامي يتكون من حبيبات أو دقائق عضوية ومواد غيرعضوية تقوم بتثبيت النباتات وإمدادها بالماء والمواد الاولية اللازمة لنموها وانتاجها، وعندما نبحث موضوع قوام التربة فإننا نقصد الجزء غيرالعضوي المكون للتربة فقط والتي تنقسم إلى قسمين القسم الاول ويشمل الحبيبات التي يزيد قطرها عن المليمترين كالحجارة والحصى وهي لا تدخل في تعريف قوام التربة، أما القسم الثاني فهي الحبيبات التي تعطي للتربة قوامها أو نسجتها ويقل قطرها عن المليمترين وهي الرمل والسلت والطين. فالرمل يتراوح قطرحبيباته بصورة عامة ما بين ٢ و ٠,٠٠٥ ملم ، أما السلت فيتراوح قطر حبيباته بين ٠,٠٠٥ و ٠,٠٠٢ ملم ، وقطرحبيبات الطين تقل عن ٠,٠٠٢ ملم ، حيث تتكون التربة من مزيج منها بنسب متفاوته فقد تكون خشنة أو متوسطه أو ناعمة الملمس وهذا يتوقف على نسبة ما يوجد فيها من حبيبات كبيرة أو متوسطه أو صغيرة الحجم. فالنسبة المئوية لكل من الرمل والسلت والطين في نموذج ما من تربة يدل على قوامها أو نسجتها، حيث تقسم الترب حسب قوامها إلى ثلاث أقسام رئيسية هي :ـ

- الترب الرملية (sandy soils): وهي التي تحتوي على أكثر من ٨٥% من وزنها من الرمل وما تبقى فهو طين وسلت.
- الترب السلتية (loamy soils): وهي الترب التي تحتوي على ٢٧% من وزنها من الطين و ٢٨-٥٠% من السلت وأقل من ٥٢% من وزنها من الرمل.
- الترب الطينية (clayey soil): وهي التي تحتوي على ما لا يقل عن ٤٠% من وزنها من الطين وما تبقى فهو رمل وسلت.

ومن المهم تحديد قوام التربة وذلك لحساب فترات الري وكمية مياه الري التي تعطى في كل رية، وكثيراً ما تدعو الضرورة إلى معرفة قوام التربة في الحقل فيعمد إلى إختبار ملمس التربة بدعكها بين السبابة والإبهام أو راحة اليد. وإن ترطيب التربة يساعد كثيراً في تشخيص قوامها بالحقل ، فالترب الطينية تكون صعبة الدعك وتنزلق عند ترطيبها وتمتاز بتكوينها لمجاميع قوية عند جفافها ، أما الترب الرملية فيمكن مشاهدة دقائق الرمل فيها كما أنها تعطي صوتاً خاصاً عند دعكها قرب الأذن ، أما صفات الترب السلتية فهي وسط بين التربتين السابقتين.

٢. تركيب التربة "Soil Structure"

يعرف تركيب التربة بأنه تماسك حبيباتها مع بعضها البعض بنظام معين وتكوينها مجاميع (aggregates) ذات شكل خاص. ويتم تماسك حبيبات التربة بعوامل وأسباب كثيرة منها تعاقب إبتلال وجفاف التربة ، تأثير جذور النباتات المختلفة ، وجود المواد العضوية ، وتأثير الحيوانات التي تعيش في التربة كالجرذان والديدان ، وتعاقب تجمد وذوبان ماء التربة ، كل هذه العوامل تولد ضغطاً يؤدي إلى تقارب حبيبات التربة إلى بعضها البعض وكذلك فإن وجود بعض الكاتيونات كالكالسيوم والمغنيسيوم التي تعمل على تقارب

هذه الحبيبات من بعضها البعض ، فإذا وجدت المادة العضوية فإنها تغلف هذه الحبيبات الصغيرة المتقاربة وتفصلها عن بعضها البعض منتجة ما يسمى بالمجاميع وبذلك يتم تكوين تركيب التربة.

ومن ناحية عمليات الري فإنه من الضروري أن تكون مجاميع التربة قوية البناء بحيث لا تنهار عند غمرها بالماء اثناء الري أو سقوط المطرعليها. وإن إنهيار أو تفتت مجاميع التربة ضعيفة التركيب يعمل على تكوين طبقة سطحية (surface crust) من التربة تمنع دخول الماء وتعيق نمو وظهور البادرات.

إن تركيب التربة مهم بالنسبة للري ونمو النباتات حيث ان حركة الهواء داخل التربة وسرعة تبادله مع الهواء الخارجي وحركة الماء هي ظواهر فيزيائية تنشط بتحسين تركيب التربة، كما وتسهل عملية نفاذ الماء وتغلغل جذور النباتات وتنشط العمليات الحيوية وتزداد نسبة الماء الميسر في الترب ذات التركيب الجيد، لذلك يجب المحافظة على تركيب التربة وذلك بعدم إغداق التربة كلياً عند ريها ، ومنع سير الآليات الثقيلة على التربة الرطبة ، وإضافة المواد العضوية ، وعدم حرث التربة وهي جافة فذلك يؤدي إلى سحق مجاميعها.

٣. الكثافة الظاهرية للتربة "Bulk Density"

تعرف الكثافة الظاهرية بأنها كتلة وحدة حجمية واحدة من التربة في حالتها الطبيعية. فالتربة في حالتها الطبيعية تتكون من جزء صلب هو دقائق التربة وجزء مسامي يكون عادةً مشغولاً بالهواء أو الماء أو بكليهما معاً. ومن المهم معرفة الكثافة الظاهرية للتربة وذلك لإحتساب عمق الماء الذي تحتويه التربة عند تقدير كمية الري.

٤. مسامية التربة "Soil Porosity"

تعتمد إنتاجية التربة على جزيئها الصلب والسائل بالاضافة إلى الهواء الذي تحتويه. فالأوكسجين مهم لتنفس الجذورالنباتية والأحياء المجهرية ، وغاز ثاني أكسيد الكربون يساعد على إذابة المواد الغذائية الاولية لتكون جاهزة للإمتصاص من قبل النباتات. ويتواجد الماء الميسر في المسامات صغيرة الحجم (الشعرية) في التربة، حيث يتحرك الماء في هذه المسامات بوضع تستطيع النباتات امتصاصه بواسطة جذورها لذلك فإن مسامية التربة مهمه لري المحاصيل.

ولقد عرفنا في البند السابق أن التربة تتكون من حبيبات متباينة الحجوم وتبعاً لذلك فإن المسامات المحصورة بين هذه الحبيبات تتباين في حجومها أيضا. فحبيبات الرمل تحصر بينها مسامات كبيرة الحجم، أما حبيبات الطين فهي على خلاف ذلك ، وعلية فإن المسامات تنقسم إلى قسمين بالنسبة لحجومها وهي المسامات كبيرة الحجم والمسامات صغيرة الحجم ، حيث تسمح المسامات كبيرة الحجم للهواء والماء بالمرور خلالها بصورة طليقة ، أما المسامات صغيرة الحجم فإنها تحد من هذه الحركة. وتبعاً لذلك فإن تجهيز الماء والهواء للمنطقة الجذرية للمحاصيل يكون أسرع في الترب الرملية منه في الترب الطينية. وبما أن المسامية الكلية للتربة

الطينية هي أكبر من المسامية الكلية للتربة الرملية فإن التربة الطينية تحتوي على كمية أكبر من الماء الميسرمن التربة الرملية.

٥.عمق التربة "Soil Depth"

يحدد عمق التربة كمية الماء الذي تحتفظ به ضد قوة الجذب الأرضي. فالترب الضحلة ذات الطبقة الصماء تحد من إنتشار الجذور النباتية وتحمل كمية من الماء أقل من تلك التي تحملها التربة العميقة من جهة ومن جهة اخرى فإن مياه الري تتجمع فوق الطبقة الصماء مما ينتج عنه ظروف مغدقة تقل فيها التهوية الضرورية لتنفس النباتات. أما الترب العميقة فهي بالاضافة إلى كونها تسمح لانتشار الجذور النباتية خلال قطاع التربة مما يعطي فرصة أكبر للتماس بين الجذور النباتية والتربة والاستفادة من المخزون الرطوبي من جهة ومن جهة اخرى فليس هناك فرصة لتجمع مياه الري الزائدة وتعرض الجذور النباتية لظروف مغدقة.

٦. المواد الغذائية الاولية في التربة

ترتبط خصوبة التربة بمقدار ما تحتويه من عناصر غذائية ضرورية لنمو النبات وإنتاجه. فقدرة التربة على توفير وإمداد النبات بالعناصر الغذائية الاولية يتوقف على عوامل كيميائية وفيزيائية مختلفة منها توفر الماء الميسر للامتصاص من قبل النبات، فإجراء عملية الري بالوقت المناسب وبالكمية المناسبة يؤثر تأثيراً مباشراً على جاهزية العناصر الغذائية للامتصاص من قبل النباتات، لذلك فإن التأخير في الري وتعريض النبات لفترات من الجفاف يحرم النبات من امتصاصه للمواد الغذائية وبالتالي ضعفه وقلة إنتاجه وربما موته.

٧.أنواع الماء في التربة "Soil Water"

الماء هو أحد العناصرالضرورية لحياة النباتات والأحياء الدقيقة في التربة حيث يتوقف نمو المحاصيل وإنتاجيتها على مقدارما يتوفر في التربة من ماء ميسر.

أما الاشكال التي يوجد فيها الماء بالتربة فهي:

الماء الجزيئي	**Water of crystallization**
ماء الامتساك أو الماء الممسوك	**Hygroscopic Water**
الماء الشعري	**Capillary Water**
الماء المجتذب	**Gravitational Water**
بخار الماء	**Water vapor**

- فالماء الجزيئي هو الماء الداخل في تركيب حبيبات التربة ويكون غير قابل للامتصاص من قبل النباتات.
- أما ماء الإمتساك ويدعى أيضا بماء التلاصق وهو الماء الذي تمتصه حبيبات التربة من الجو

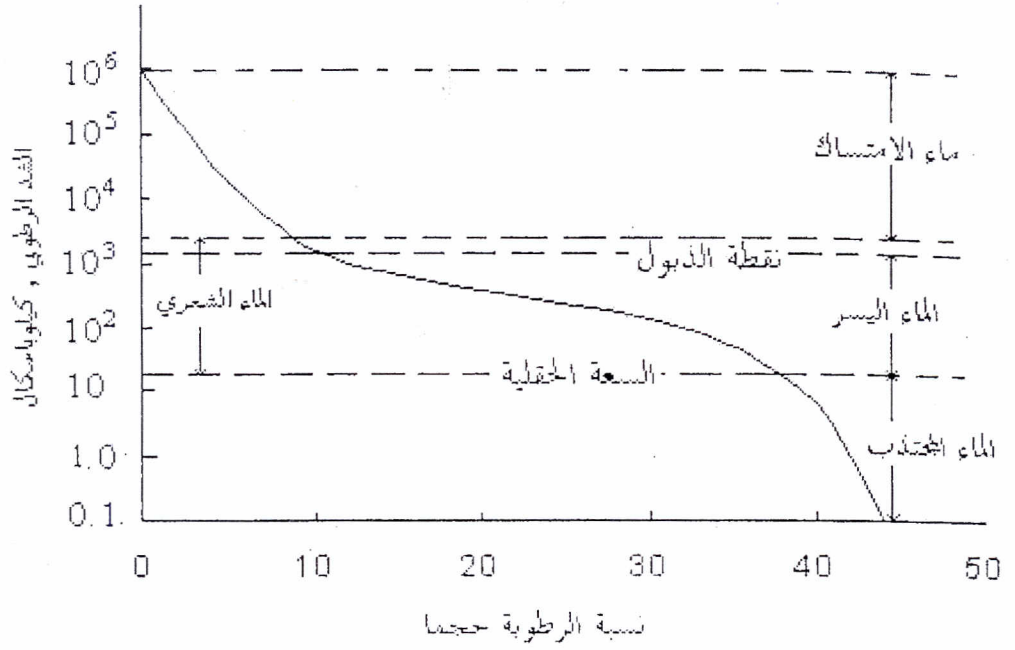
والمجتذب إلى سطحها تحت شد يقل عن (١٠)^{٦} كيلوباسكال (١٠٠٠٠ ضغط جوي) لجزيئات الماء الملاصقة لحبيبات التربة ويقل هذا الشد مع سمك الغلاف المائي حول حبيبات التربة حتى يصل إلى ٣١٠٠ كيلوباسكال (٣١ ضغطا جويا) كحد أدنى للشد الرطوبي لماء الإمتساك.

- أما الماء الشعري ويسمى أيضا بماء التماسك وهو عبارة عن الماء الموجود فى خلايا المسام صغيرة الحجم المسماة بخلايا المسام الشعرية. وإن الشد السطحي للماء هو الجهد اللازم لحفظه في التربة ضد الجذب الأرضي وتتراوح قيمته بين ٣١٠٠ كيلوباسكال قرب سطح الجزيئات و ١٠٠ كيلوباسكال (ضغط جوي واحد) في خلايا المسام الشعرية.
- والماء المجتذب هو الماء الذي يشغل خلايا المسام كبيرة الحجم ويقع تحت شد يقل عن ٣٣ كيلوباسكال(٣/١ ضغط جوي) بحيث تتغلب قوة الجذب الأرضي على مقدرة التربة للإحتفاظ به فينزل إلى أسفل.
- أما بخار الماء فإنه يشغل خلايا المسام التي تخلو من الماء.

وتتوقف درجة تشبع هواء التربة ببخار الماء على مقدار ما تحتويه التربة من ماء ، فتزداد الرطوبة النسبية لهواء التربة بزيادة رطوبة التربة وتقل بقلتها إذ تصل إلى ٩٨ – ١٠٠ % عندما تقع التربة تحت شد رطوبي يقل عن ٣١٠٠ كيلوباسكال ، أما إذا زاد الشد الرطوبي عن ٣١٠٠ كيلوباسكال فإن الرطوبة النسبية لهواء التربة تقل حتى تصل الصفر في التربة المجففة في الفرن.

٨. الشد الرطوبي للتربة :

لقد تطرقنا فيما سبق إلى الشدالرطوبي للتربة ولتوضيح وفهم هذا الاصطلاح فإن هناك قوتان مسؤولتان عن حفظ الماء بشكل غلاف حول حبيبات التربة وفي خلايا المسام صغيرة الحجم المسماة خلايا المسام الشعرية، فقوة تعلق الماء بالتربة تسمى بالشد الرطوبي للتربة ويعبر عنها بالكيلوباسكال أو الضغوط الجوية، فالتربة المشبعة بالماء هي التي تمتلئ كل مساماتها الكبيرة والصغيرة الحجم بالماء وإن الضغط الواقع على هذا الماء هو الضغط الجوي. لكن سرعان ما ينزل الماء الذي يملئ المسامات كبيرة الحجم تحت تأثير الجذب الأرضي ويبقى الماء الذي يشغل المسامات صغيرة الحجم متعلقاً بالتربة نتيجة للشد الواقع عليه وذلك لوجود قوى التلاصق والتماسك، وكلما إزداد فقد الماء من التربة كلما إزداد الشد الواقع عليه. فلو رسمنا الشد الرطوبي الواقع على الماء في التربة على محور الصادات وما تحتويه التربة من ماء بالنسبة لوزنها الجاف على محور السينات لحصلنا على ما يسمى بالمنحنى البياني للشد الرطوبي والذي يبين أيضاً ماء الإمتساك والماء المجتذب الذي ذكرناه سابقاً.



الشكل (٢): منحنى الشد الرطوبي للتربة.

ولتفسيرموضوع الشد الرطوبي وتعلق الماء بالتربة سنبحث موضوع التوتر السطحي للماء والخاصية الشعرية.

٩.التوترالسطحي للماء والخاصية الشعرية

عدا الجزيئات الواقعة بتماس مع الهواء فإن كل جزيئات الماء داخل أي وعاء تنجذب مع بعضها البعض بقوة تماسك (Cohesion force) متساوية في كل الإتجاهات وفي حالة توازن. لكن الجزيئات الواقعة على سطح الماء تكون في حالة تماس مع الهواءالذي يعلوها وتنجذب إلى بقية جزيئات الماء الأخرى إلى أسفل أو إلى الجوانب فقط فهي في حالة غير متزنة ، إذ أن قوة التجاذب بين جزيئات الماء هي اكبر من قوة التجاذب بين جزيئات الماء وجزيئات الهواء ، وعدم الإتزان هذا يتسبب في إنكماش سطح الماء بظاهرة تسمى بالشد السطحي أو التوتر السطحي (surface tension) فإذا سقطت قطرة ماء على وجه زجاجي نظيف فإنها تنتشر على السطح الزجاجي وذلك لأن قوة التلاصق (Adhesion force) بين جزيئات الماء والسطح الزجاجي هي أكبر من قوة التماسك بين جزيئات الماء مع بعضها البعض. أما إذا كان السطح الزجاجي غير نظيف فإن قوى التجاذب بين جزيئات الماء تفوق قوى التجاذب بين جزيئات الماء والسطح الزجاجي فتنكمش قطرة الماء بقوة الشد السطحي لتأخذ أصغر مساحة سطحية لها وهي الشكل الكروي، وما يهمنا من ظاهرة الشد السطحي هو ظاهرة اخرى تتعلق بها هي الخاصية الشعرية (capillarity)، والتي تعتمد على قوى التلاصق بين جزيئات الماء وقوى التلاصق بين جزيئات الماء وجدارالوعاء الذي يوجد به الماء فالإرتفاع الذي يصل إليه الماء في

الأنبوب الشعري يتوقف على قوة الشد السطحي ووزن عمود الماء، فالخاصية الشعرية هي التي تسبب حركة الماء في التربة بإتجاه الجذور النباتية وهو ما يعرف بالماء الشعري أو الماء الميسر والجاهز للإمتصاص من قبل النبات والذي ينحصر بين نقطتان مهمتان بالنسبة للري وهما نقطة السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم ، حيث يبلغ الشد الرطوبي للتربة عند نقطة الذبول ١٥٠٠ كيلوباسكال (١٥ ضغط جوي) ، في حين يبلغ عند السعة الحقلية ٣٣ كيلوباسكال (٣/١ ضغط جوي)، حيث تختلف كمية الماء الميسر باختلاف قوام التربة كما هو مبين في الجدول (١).

الجدول (١): الرطوبة الميسرة لترب متباينة القوام.

قوام التربة	عمق الماء الميسر (ملم/م عمق)	قوام التربة	عمق الماء الميسر (ملم/م عمق)
طينية ثقيلة Heavy clay	١٧٠	طمية طينية رملية Sandy Clay Loam	١٣٠
طينية طمية Silt clay	١٨٠	طمية رملية Sandy Loam	١٠٠
طمية Loam	١٧٠	رملية طمية ناعمة Loamy sand	١٢٠
طمية طينية Silt Clay Loam	٢٢٠	رملية طمية (متوسطة)	١٠٠
طمية طينية ناعمة Clay loam	١٦٠	رملية Sandy	٥٠

وتظهر أهمية معرفة الماء الميسرفي قطاع التربة أو منطقة إنتشار الجذورلأي نبات، فإذا ارتفعت كمية أو نسبة هذه الرطوبة عن حد معين أعلى من كميته أو نسبته عند نقطة السعة الحقلية حيث تبدأ مياه التربة تحل محل الهواء مما ينتج عنه ظروف مغدقة تقل فيها التهوية الضرورية لتنفس النبات وإذا إستمر هذا الوضع لفترة طويلة فإنها تؤدي إلى موت النبات نتيجة عملية الاختناق وقلة الهواء، بينما إذا قلت كمية الماء الميسر أو نسبة الرطوبة لدرجة تصل إلى نقطة الذبول المؤقت فيجد النبات صعوبة لامتصاص الماء الميسر في التربة لقلته ولقوة انجذابه إلى حبيبات التربة حيث تبدو على النبات حالة من الإصفرار والضعف ، وإذا لم يتم إضافة ما تم فقده من مياه الري فإن التربة تصل إلى نقطة الذبول الدائم، حينئذ تجف أغصان النبات ويذبل ويموت، وللمحافظة على نمو النبات في حالة جيدة يجب تعويض التربة بكميات مناسبة تقابل ما يفقد منها من ماء.

١٠. نفاذية التربة "Soil Infiltration"

تسمى عملية دخول الماء إلى التربة بالنفاذية (infiltration) أما حركة الماء داخل التربة تحت تأثير الجاذبية الأرضية فتسمى بالتغلغل أو التسرب العميق (Deep percolation) ويمكن اعتبار النفاذية الخطوة الأولى للتغلغل العميق. أما معدل النفاذية فهو معدل دخول الماء إلى التربة ويقاس بوحدة طول لكل وحدة زمنية واحدة (ملم/ساعة).

ويتوقف معدل النفاذية على قوام ومسامية التربة وكثافتها الظاهرية وتركيبها ورطوبتها ونوعية مياه الري وضغط الماء فوق التربة. فكلما زادت نسبة المسامات كبيرة الحجم كلما زاد معدل النفاذية ، لذا فإن معدل النفاذية يكون أعلى في الترب الرملية منه في الترب الطينية، كما أن زيادة نسبة المواد العضوية في التربة يؤدي إلى زيادة معدل النفاذية وذلك لإنخفاض كثافتها الظاهرية، أما تحسين بناء التربة وتكوين المجاميع فإنه يزيد من معدل النفاذية أيضاً، حيث تكون التربة الجافة أكثراستعداداً لإمتصاص الماء من التربة الرطبة، لذا فإن معدل النفاذية يكون عالياً في بداية عملية الري ويقل معدله مع الزمن حتى يصل حداً ثابتاً أو يقف تقريباً. ويمكن تقسيم معدل النفاذية إلى سبعة أقسام هي نفاذية سريعة جداً، سريعة، سريعة إلى متوسطة، متوسطة ، متوسطة إلى بطيئة ، بطيئة ، وبطيئة جداً كما هو مبين في الجدول (٢).

الجدول (٢): معدل النفاذية في التربة

السرعة	معدل النفاذية (ملم/ساعة)
سريعة جداً	٢٥٤<
سريعة	١٢٧- ٢٤٥
سريعة – متوسطة	٦٣ - ١٢٧
متوسطة	٢٠ - ٦٣
متوسطة – بطيئة	٥ - ٢٠
بطيئة	١ - ٥
بطيئة جداً	١>

وبشكل عام فإن معدل النفاذية يتراوح بين ٠,١ – ٠,٥ سم/ساعة للترب الطينية و٣ سم /ساعة للترب الرملية ، أما الترب الطميية الرملية فمعدل نفاذيتها هو بين ٢,٠ – ٣,٠ سم /ساعة و١,٠- ٢,٠ سم /ساعة للترب الطميية و٠,٥ – ١,٠سم /ساعة للترب الطينية الطميية.

١١. التغلغل العميق "Deep Percolation" :

تسمى حركة الماء في مسامات التربة كبيرة الحجم داخل التربة تحت تأثير الجاذبية الأرضية بالتغلغل العميق فهو ماء مجتذب حيث يمر من خلال مسامات التربة كبيرة الحجم خارج منطقة إنتشار الجذور فلا

تستطيع النباتات الإستفادة منه. هذا ويتوقف التغلغل العميق على وجود الطبقة الصماء التي يتوقف عندها تغلغل الماء، والتغلغل العميق يحمل معه المواد الغذائية الاولية المذابة فيؤدي إلى قلة خصوبة التربة من جهة، إلا أنه بالغ الأهمية في عمليات الصرف وغسل الملوحة والمحافظة على التوازن الملحي في التربة وفي إستصلاح الأراضي. هذا ويمكن تقسيم التغلغل العميق إلى تغلغل سريع، متوسط إلى سريع، متوسط السرعة، متوسط إلى بطيئ، بطيئ وبطيئ جداً. والذي يوضحها الجدول (٣).

الجدول (٣): معدل التغلغل العميق في التربة

السرعة	معدل التغلغل (ملم/ساعة)
سريع	١٦٠<
متوسط – سريع	٥٠ – ١٦٠
متوسط السرعة	١٦ – ٥٠
متوسط – بطيئ	٥ – ١٦
بطيئ	١,٢٥ – ٥
بطيئ جداً	١,٢٥ >

١٢. حركة الماء في التربة

هناك نوعان من حركة الماء في التربة ، فالتربة إما أن تكون مشبعة بالماء فتسمى حركة الماء فيها بالحركة المشبعة ، أوأن تكون التربة غير مشبعة وتسمى حركة الماء فيها بالحركة غير المشبعة.

١٢ – ١: حركة الماء في التربة المشبعة

يتحرك الماء في التربة المشبعة بكل الإتجاهات ويطلق على معدل حركة الماء في التربة المشبعة بالتوصيل المائي، حيث يـُعرف التوصيل المائي للتربة بأنه مرور وحدة حجم واحدة من الماء خلال وحدة مساحة من التربة بوحدة زمنية واحدة تحت تأثيروحدة منحدر ضغط واحدة. ويتأثر التوصيل المائي في التربة المشبعة بمساحة خلايا المسام الفعالة في تمرير الماء ، وإنحدارالضغط المائي، هذا ويتناسب التوصيل المائي عكسياً مع المسامية الكلية للتربة، فالتربة الطينية مساميتها أعلى من التربة الرملية وتوصيلها المائي أقل منه في التربة الرملية. أما التربة الرملية فإن مساميتها الكلية أقل من التربة الطينية ومع ذلك فتوصيلها المائي أعلى من التربة الطينية والسبب في ذلك يرجع إلى كبر حجم مسامات التربة الرملية. أما الكثافة الظاهرية للتربة فإنها تؤثر على التوصيل المائي حيث يقل بزيادة الكثافة الظاهرية للتربة.

١٢ – ٢: حركة الماء في التربة غير المشبعة :

يتعلق الماء الميسر في التربة كما ذكرنا بجهد تتراوح قيمته بين ٣٣ كيلوباسكل عند السعة الحقلية و ١٥٠٠ كيلوباسكال عند نقطة الذبول حيث يشغل هذا الماء خلايا المسام الشعرية. أما القوة الدافعة لحركة هذا

الماء فهي منحدر الشد الرطوبي بين النقطتين ، إذ يتحرك الماء من النقطة التي يقل فيها الشد الرطوبي (أقل سلبية) إلى النقطة التي يكون فيها الشد الرطوبي مرتفعاً (الأكثر سلبية). فلو كان الشد الرطوبي لتربة عند المجموع الجذري لمحصول ما هو ٥٠ كيلوباسكال والشد الرطوبي لنقطة اخرى قريباً منها هو ٣٣ كيلوباسكال ، فإن الماء يتحرك بإتجاه المجموع الجذري، ويتوقف معدل سرعة حركة الماء (التوصيل المائي) في التربة غيرالمشبعة على مساحة مقطع خلايا المسام الفاعلة في تمرير الماء، فيزداد التوصيل المائي مع زيادة المسامية الفاعلة. أما بالنسبة للرطوبة فكلما زاد جفاف التربة ، إي كلما إزداد شدها الرطوبي فإن الغلاف المائي الذي يملئ خلايا المسام الشعرية يتقطع فتقف حركة الماء، لكن حركة الماء في الترب الرملية غير المشبعة يقف بشد رطوبي أقل مقارنة بالتربة الطمية أو الطينية ، حيث يتقطع الغلاف المائي في الترب الرملية قبل الترب الطمية أو الطينية، ويزدادالتوصيل المائي للتربة غير المشبعة مع زيادة رطوبتها ويكون التوصيل المائي أعلى في الترب الطينية ومتوسطا في الترب الطمية ومنخفضا في الترب الرملية. وعلى العكس من ذلك ، يكون التوصيل المائي للتربة المشبعة أعلى منه في الترب الرملية مقارنة بالترب الطينية أو الطمية.

ولحساب ما تحتويه تربة من رطوبة اومياه نورد المثال التالي :

المعطيات :-

إذا كانت الرطوبة الأرضية لتربة ما عند السعه الحقلية وعند نقطة الذبول هي على التـــوالي ٣١% و ٢٢% على أساس الوزن ، وأن الكثافة الظاهرية لهذه التربة هي ١,٢ غم/سم^{٣}، وعمق المجموع الجذري متر واحد.

احسب كمية المياه المتاحة لهذه التربة ؟

الحل:

إن الماء الميسر أو المتاح لهذه التربة يساوي الفرق ما بين الرطوبة عند نقطة السعه الحقلية ونقطة الذبول، أي أن :

نسبة الرطوبة الميسرة أو المتاحة في التربة على أساس الوزن=

رطوبة التربة عند السعة الحقلية – رطوبة التربة عند نقطة الذبول.

$$= ٣١\% - ٢٢\%$$

$$= ٩\%$$

أما إذا أردنا حسابه على أساس الحجم فتضرب بالكثافة الظاهرية اي ان:

نسبة الرطوبة الميسرة أو المتاحة في التربة على أساس الحجم=

نسبة الرطوبة الميسرة أو المتاحة في التربة على اساس الوزن × الكثافة الظاهرية.

= ٠,٠٩ ×١,٢

= ١٠,٨%

وهذا يعني أن ١٠,٨% من حجم هذه التربة ماء.

فإذا كانت مساحة الأرض المنوي زراعتها دونم واحد (١٠٠٠ م^{٢})، عمق المجموع الجذري متر واحد(١٠٠سم).

فإن حجم هذه الأرض= ١٠٠٠ م^{٢} × ١ م= ١٠٠٠ م^{٣}.

فإن حجم أو كمية المياه المتاحة أو الميسرة في هذه الأرض=

كمية المياه المتاحة على أساس حجمي × حجم الارض.

= (١٠,٨÷١٠٠) ×١٠٠٠ م^{٣}

= ١٠٨ م^{٣}/ دونم

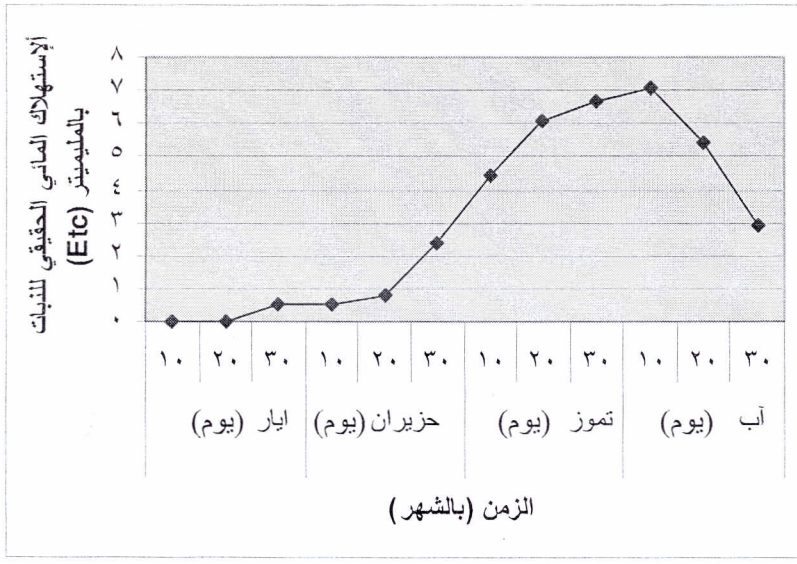
الفصل الثاني

الإحتياجات المائية والإستهلاك المائي للنبات "Water Requirement and Plant Evapotranspiration"

تعتبر الإحتياجات المائية والإستهلاك المائي للمحاصيل الزراعية من أهم عناصر الدورة المائية التي تؤثر على الموازنة المائية في كل مراحلها، كما أن معرفتها تعتبر ذات أهمية بالغة في مجال تخطيط وإدارة المصادر المائية.

فالإحتياجات المائية للمحاصيل (Water Requirement) هي كمية المياه الواجب توفرها للنباتات حتى تنمو نمواً طبيعياً بالإضافة إلى إحتياجات الغسيل لاملاح التربة (إن وجدت) وما يفقد من مياه خلال عملية الري والذي يعبر عنه بكفاءة الري ويشمل مختلف مصادر المياه كالأمطار ومياه الري التي تدخل قطاع التربة والساقط من المياه أو الأمطار التي تتجمع على سطح النباتات خلال فترات محددة.

أما الإستهلاك المائي الحقيقي للنبات (تبخر – نتح) "Evapotranspiration" فهو عبارة عن كمية المياه التي تستهلكها النباتات في عملية النتح أو بناء أنسجتها والتبخر من سطح التربه (الشكل ٣).



شكل ٣: الاستهلاك المائي الحقيقي للنباتات

فالنتح هو عملية فقد الماء على شكل بخار من الثغور التنفسية المنتشرة على سطح الورقة بصورة رئيسية وهو يشكل ٩٠% من مجموع النتح، اما النتح الذي يحصل عن طريق البشرة النباتية فهو لا يشكل إلا ١٠% من مجموع النتح وبالتالي فإن النتح هو عملية خروج بخار الماء من الثغور التنفسية التي تنشأ بصورة رئيسية بفعل إختلاف قيم ضغط بخار الماء بين الثغور التنفسية والهواء المحيط بها. أما **التبخر** فيعرف بأنه العملية الفيزيائية التي يتم تحول المادة السائلة إلى بخار وهي طريقة يتم فيها فقد الماء على شكل بخار من سطح التربة ومن سطح الأوراق التي تعترض مياه الأمطار والمياه الساقطة من رشاشات نظام الري أو التي يشكل عليها الندى.

١. العوامل التي تؤثر على الإستهلاك المائي للمحاصيل:

يؤثر على الإستهلاك المائي للمحاصيل ثلاثة عوامل رئيسه هي :

١ــ ١: العوامل النباتية:

تختلف النباتات من حيث موعد زراعتها وسرعة نموها وطول موسمها وحجم وعمق مجموعها الجذري ومساحة مجموعها الورقي وشكله واتجاهه وطريقة فتح وغلق ثغورها الورقية، كما تختلف في طريقة تعرضها للأشعه الساقطة والطاقة الحرارية التي يحملها الهواء.

فالعوامل النباتية التي تؤثر على الإستهلاك المائي هي كما يلي :

١ــــ١ــ ١: سطح النباتات والإشعاع الساقط

تأتي طاقة الإشعاع الموجودة في حقل زراعي من الشمس، الأرض، الجو والنباتات نفسها، ومن الصعوبة تحليل مكونات هذه الطاقة لذا فإن من السهل مناقشة عناصرالإشعاع ذي الموجات القصيرة التي تخترق المجموعة النباتية، وتؤثر شدة إنعكاس الأشعة الساقطة على سطح النبات على مقدار الإستهلاك المائي للمحاصيل ، وتعتمد شدة هذا الإنعكاس على كثافة النبات ونسبة تغطيته لسطح الأرض ،حيث تتراوح نسبة الإنعكاس هذه بين ٢٠ % - ٣٠ %من مجمل الطاقة الساقطة على النباتات.

١ــ١ــ ٢: نسبة تغطية سطح الأرض بالنباتات

يعتمد مقدار الإستهلاك المائي على المساحة الورقية ،ونسبة الأشعة المنعكسة ، وكمية الرطوبة المتوافرة في التربة. فنسبة إنعكاس الطاقة الساقطة على التربة المكشوفة وخاصة الرطبة منها يقل عن نسبة الطاقة المنعكسة عن سطح النبات ، فبثبات كل الظروف الأخرى يزداد التبخر من سطح التربة مع قلة الغطاء النباتي. أما من ناحية سهولة إمداد سطح الأرض بالرطوبة وتأثير ذلك على الإستهلاك المائي للمحاصيل فإن تبخر الماء من تربة مكشوفة يكون مرتفعاً بعد الري مباشرة مقارنة بالنتح ، ويبقى في حالة ثبات ما دام السطح مبتلا خلال عملية الري ، أو فترة نزول الأمطار ، ثم يتناقص بشكل تدريجي. وتختلف نسبة التبخر حسب قوام التربة ودرجة التوصيل المائي. اما النتح فإنه يزداد بزيادة الغطاء النباتي حتى تصل نسبة هذه التغطية إلى ٥٠ % من المساحة الكلية وبعد هذا الحد تتوقف زيادة الإستهلاك المائي على رطوبة التربة وليس على نسبة التغطية ، فليس من الضروري إذن تغطية سطح الأرض بصورة كاملة بالنباتات لتسجيل أعلى قدر من الإستهلاك المائي.

١ــ١ــ ٣: مساحة الأورق وكثافة الغطاء النباتي

يسمى عدد النباتات التي تنمو في وحدة مساحة الأرض بنسبة التغطية. فنسبة التغطية ، ورطوبة التربة ،ومقدار الطاقة الصافية جميعها تؤثر مباشرة على الإستهلاك المائي. فيزيد تعرض التربة الرطبة لأشعة الشمس المباشرة من معدل التبخر وخاصة في الظروف التي تكون فيها نسبة الكساء النباتي منخفضة ، ويقل هذا المعدل مع إزدياد هذه النسبة. كما أن إرتفاع عدد النباتات ومساحة الأوراق في وحدة المساحة يرفع من

معدل النتح والتبخر من سطح التربة ، ويعود ذلك بصورة رئيسية إلى سقوط الإشعاع بصورة مباشرة على المجموع الخضري للنبات قبل أن يصل إلى سطح التربة ، وبذلك تستغل الطاقة الإشعاعية في عملية التمثيل الضوئي ، ورفع درجة حرارة الأوراق.

١ــ١ــ ٤: نوع المحصول وموسم نموه

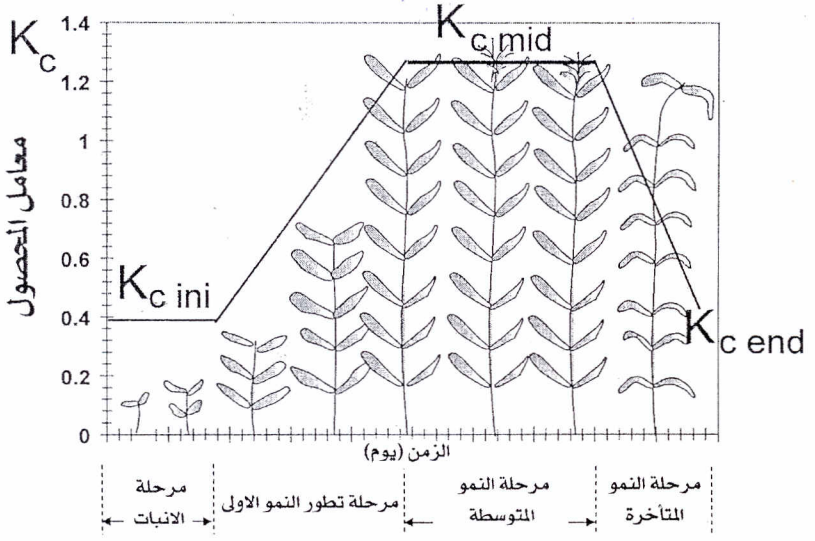
تتباين النباتات المختلفة في إستهلاكها للماء نتيجة لإختلاف موعد الزراعة وموسم نموها وشكل وحجم اوراقها. فالمحصول الموسمي كالقمح الذي لا تزيد فترة نموه عن ١٨٠ يوم يستهلك كمية من المياه أقل عن تلك التي يستهلكها محصول معمر كالفصة. اما المحاصيل الصيفية المعرضة للاشعاع الشمسي الشديد والحرارة المرتفعة فإنها تستهلك كمية من الماء تزيد على ما يستهلكه محصول شتوي. فمحصول البطاطا الذي يزرع في كانون الثاني يستهلك كمية من الماء تزيد على تلك التي تستهلكها البطاطا المزروعة في شهر أيلول وذلك نتيجة تعرض المحصول في الفترة الأولى لظروف جوية تتصف بمعدل حرارة وإشعاع شمسي أعلى مقارنة بالفترة الثانية.

١ــ ١ــ ٥: عمق وإنتشار المجموع الجذري

يزداد الإستهلاك المائي للمحاصيل بزيادة عمق وإنتشار المجموع الجذري على إفتراض جفاف التربة ، ويكون هذا التأثير واضحاً في المناطق الجافة وشبه الجافة بالمقارنة مع المناطق الرطبة. هذا ويتوقف عمق وإنتشار الجذور وزيادة حجمها على إضافة الأسمدة والكثافة الظاهرية للتربة وتوافر الرطوبة والمواد الغذائية فيها. فإضافة الأسمدة بالكميات المناسبة تزيد من نمو المجموع الجذري والخضري للنباتات وبالتالي يزداد الإستهلاك المائي كما أن غياب الطبقة الصماء يساهم في امتداد جذور النباتات عمودياً في التربة مما يسمح بزيادة فرص توافر ماء جاهز للإمتصاص النباتي وبالتالي زيادة الإستهلاك المائي.

١ــ ١ــ ٦: تأثير مرحلة نمو المحصول

يختلف الإستهلاك المائي للمحاصيل بإختلاف مرحلة نموها ،حيث يبدأ الإستهلاك المائي بمعدل منخفض في بداية موسم نمو المحصول ، ويكون معظم الإستهلاك المائي في هذه المرحلة على شكل تبخر من سطح التربة ، ومع تطور نمو النبات يزداد الإستهلاك المائي للمحصول نتيجة لزيادة سطح المجموع الخضري ،حيث يكون معظم الإستهلاك المائي على شكل نتح في مراحل النمو العظمى للنبات ثم يبدأ بالتناقص عند النضج لأن الأوراق تكون قد قل نشاطها أو جفت وسقطت، الشكل(٤).



شكل ٤: منحنى معامل المحصول لنبات حسب مراحل نموه المختلفة

١ – ٢: العوامل البيئية

يقصد بالعوامل البيئية هنا خواص التربة والعوامل الأخرى التي تؤثر على هذه الخواص وهي:

١ــ٢ ــ١: الخصائص الفيزيائية لسطح التربة

حيث تؤثرالخصائص الفيزيائية للتربة على معدل التبخر نتيجة لسهولة وسرعة تجهيز الطبقة السطحية بالماء من التربة التحتية الرطبة، ويتوقف تجهيز الماء من الطبقة التحتية إلى الطبقة السطحية من التربة على عاملين مهمين هما التوصيل المائي للتربة وفرق الجهد الرطوبي بين الطبقة التحتية والسطح، فكمية الماء المختزن في التربة يتوقف على عدة عوامل هي قوام التربة وبنائها وعمقها وكثافتها الظاهرية ومحتواها من المادة العضوية.

– فقوام التربة يحدد نسبة المسامات الشعرية ، فإذا قارنا مخزون المياه عند جهد محدد في الترب الرملية الخشنة والترب المتوسطة القوام كالترب الغرينية والثقيلة القوام كالترب الطينية الناعمة، فنجد أنه يكون أعلى في الترب الثقيلة القوام ومتوسط وقليل في الترب المتوسطة والخفيفة القوام.

ــ ومن خصائص التربة التي تؤثر أيضا على محتواها الرطوبي وقابليتها على إختزان الماء هو بناء أو تركيب التربة وسبب ذلك هو أن التربة التي تحتوي على نسبة عالية من المجاميع الحبيبية التي يقل قطرها عن ٠,٥ ملم تكون ذات مسامية عالية وتكون قدرتها على تخزين الرطوبة عالية ، لكن التربة المتكونة من مجاميع يزيد قطرها عن ١,٠ملم فهي تربة تقل فيها المسامية وخاصة الشعرية منها ، وتكن قدرتها على تخزين المياه أقل مقارنة بالتربة ذات الحبيبات الأصغر ، وإذا ما وجد هذا البناء على سطح التربة فإنه يعمل كغطاء يقلل من التبخر.

– تزداد قابلية التربة للإحتفاظ بالماء ويزداد مخزونها الرطوبي بزيادة كثافتها الظاهرية إلى حد معين ، ثم تقل بعد ذلك نتيجة لإنضغاطها وتحطم تركيبها وإنخفاض مساميتها.

ـ أما الترب العميقة فيكون مخزونها الرطوبي أعلى منه في الترب السطحية أو الضحلة ، ولذلك فإن معدل التبخر يكون أعلى في الترب العميقة مقارنة بالترب السطحية. وتحتفظ الترب المتجانسة بكمية من الماء تقل عن التربة غير المتجانسة التي يوجد في قطاعها طبقة صماء من تربة ناعمة القوام غير منفذة للمـــاء ، إذ يتراكم الماء على هذه الطبقة الصماء مكوناً مستوى ماء جوفياً مرتفعاً ، فإذا كان مستوى هذه الطبقة الـــصماء ضمن المتر الأول من قطاع التربة فإنه يزيد كثيراً من إمداد السطح بالمياه فيزداد التبخر.

- المادة العضوية ترفع من قابلية التربة للإحتفاظ بالماء ، حيث تمتص الترب العضوية الماء بنسبة تعادل أضعاف حجمها، بينما تؤدي زيادة المادة العضوية في الترب اللاعضوية إلى زيادة مخزونها الرطوبي بشكل غير مباشر نتيجة لتحسن بناء مجاميعها.

- يؤثر التوصيل المائي للتربة على معدل إمداد سطحها بالماء ، فالترب الخشنة يكون توصيلها المائي أعلى من الترب الناعمة القوام عند حدود الجهد الرطوبي المرتفع (الأقل سلبية) ، أي عندما تقترب التربة من درجة الإشباع، والعكس صحيح في الجهد الرطوبي المنخفض (الأكثر سلبية) ، لذلك فإن معدل تبخر الماء من التربة الناعمة يكون أعلى عند الجهد الرطوبي المنخفض ، ويستمر لفترة أطول بعد الري مقارنة بالتربة الخشنة التي يقل فيها معدل التوصيل المائي مع إنخفاض الجهد الرطوبي، ويكون معدل التبخر السطحي مرتفعاً ما دام سطح التربة رطباً، وذلك لأن البخار المتكون على سطح الأرض ينتشر بالجو الخارجي مباشرةً نتيجة للفرق الكبير في ضغط بخار الماء بين الهواء والطبقة الملامسة لسطح التربة ، وتسمى هذه المرحلة بمرحلة الثبات ، وينخفض معدل التبخر إذا إنخفضت رطوبة التربة عن السعة الحقلية وذلك لزيادة مقاومة إنتشار البخار المتكون في مسامات التربة التحتية خلال التربة السطحية ، أي أن البخار ينتشر من التربة التحتية إلى الجو الخارجي تحت إنحدار ضغط بخاري منخفض ،وهذا يعني قلة معدل التبخر الذي يعتمد في هذه الحالة على التوازن الحاصل بين الطاقة التي تصل إلى سطح الأرض وبين معدل إنتشار البخار، وتسمى هذه المرحلة بمرحلة الهبوط.

١ـ٢ـ ٢: غطاء التربة

تقلل مشتقات البترول والبلاستيك والحصى وسعف النخل والورق والقش من التبخر من سطح التربة ، وتكون هذه الأغطية أكثر فاعلية في تقليل التبخر في الترب الرطبة مقارنة بالترب الأقل رطوبة ، ويعود تأثير الأغطية إلى عزل أشعة الشمس من السقوط مباشرة على سطح التربة مما يقلل من كمية الطاقة التي تصل إلى ذلك السطح وبالتالي من كمية التبخر، ثم إن الأغطية تقلل من التاثير المباشر للرياح ، بحيث يزيد من مقاومة إنتشار بخارالماء إلى الجو ، وتخفض ضغط بخارالماء قرب سطح الأرض مما يقلل من التبخر. اما تأثير الأغطية على الإستهلاك المائي فإنه أكثر تعقيدا ، فتغطية سطح الأرض في المناطق الباردة أو في فصول السنة الباردة تزيد من درجة حرارة التربة مما يساعد على زيادة نمو النبات وإستهلاكه للمياه.

١-٢ــ ٣: حرارة التربة

يتوقف تدفق الحرارة في قطاع التربة أو منه إلى الجو الخارجي على التوصيل الحراري للتربة الذي يعتمد بدوره على قوامها وكثافتها الظاهرية وشدها الرطوبي. حيث تمتص التربة الطاقة الإشعاعية الساقطة عليها فترتفع حرارتها ، وهذه الطاقة تستعمل في عملية تبخر الماء من التربة وفي رفع درجة حرارة السطح الملامس لسطحها وحرارة التربة نفسها. وينعكس التذبذب اليومي لحرارة التربة بصورة شديدة على سطحها ويقل هذا التأثير مع العمق. ويؤثر هذا التذبذب في حرارة سطح التربة على معدل التبخر من السطح وإتجاه حركة بخارالماء ، فعندما يكون سطح التربة بارداً ليلاً والتربة التحتية مرتفعة الحرارة فإن الماء بحالتيه السائلة والغازية يتحرك نحو الأعلى بإتجاه السطح ، ولهذه العملية دور في إمداد التربة السطحية بكميات من الماء. ويؤثر تجمد الترب على عملية التبخر من سطحها ، فتحول المحتوى المائي للتربة من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة يؤدي إلى خفض الجهد الرطوبي لتلك الطبقة السطحية المتجمدة مما ينتج عنه إنحدار في الجهد الرطوبي بإتجاه السطح فيتحرك الماء من التربة التحتية إلى التربة السطحية ، وهذا يؤدي إلى تراكم الماء في سطح التربة ، وبعد انقضاء فصل الإنجماد يكون معدل التبخر من سطح التربة مرتفعاً نظراً لإرتفاع المحتوى الرطوبي لتلك الطبقة، وتنتقل الطاقة الحرارية التي تمتصها الأرض إلى الطبقات التحتية من التربة نهاراً وتفقدها ليلاً في الصيف ويحصل العكس شتاءاً نظراً لإنخفاض حرارة السطح. وإن هذه الطاقة الحرارية التي تختزن في التربة تشارك في زيادة الإستهلاك النباتي للمحاصيل.

١ــ٢ــ ٤: لون التربة وإتجاه إنحدارها :

يتأثر تبخر الماء من سطح التربة بلونها فالترب الغامقة اللون تمتص قدرا أكبر من الطاقة الساقطة مقارنة بالترب فاتحة اللون ، لذلك يكون معدل التبخر من الترب الغامقة اللون أعلى مقارنة بالترب فاتحة اللون عند المحتوى الرطوبي نفسه ، وزيادة رطوبة التربة ومحتواها من المادة العضوية يزيدان من غمق اللون.

أما إنحدار الأرض وإتجاه هذا الإنحدار فإنهما يؤثران على مقدار الإشعاع الساقط ، وذلك لأن زاوية سقوط أشعة الشمس تتغير بتغير درجة الإنحدار ، وإتجاه هذا الإنحدار ، فإذا كان إتجاه إنحدار الأرض هو الشمال من نصف الكرة الشمالي فإن مقدار الطاقة الساقطة إلى هذا المنحدر تقل عن تلك التي تسقط على الإنحدار المتجه جنوباً.

١ــ ٢ ــ ٥: الأساليب الزراعية :

العمليات الزراعية والري والسيطرة على مستوى المياه الجوفية هي من الأساليب الزراعية التي تؤثر على الإستهلاك المائي ، وسنبحث هذه العوامل كل على حده :

١ ــ ٢ــ ٥ــ أ: الــري

تهدف عملية الري إلى زيادة الماء الميسر للنباتات في التربة ، فنفاذ هذا الماء يؤدي إلى قلة الضغط

الإنتفاخي داخل الخلايا النباتية ، وبالتالي قلة الإستهلاك المائي فعلاقة الإستهلاك المائي للمحاصيل بالشد الرطوبي للتربة هي علاقة عكسية ، فكلما إنخفض الشد الرطوبي زاد الإستهلاك المائي للنباتات ، إلى أن يصل الشد الرطوبي إلى درجة الذبول الدائم وهي ١٥٠٠ كيلوباسكال حيث يصل الإستهلاك المائي إلى حدوده الدنيا.

١ــ٢ ــ٥ ــ ب: العمليات الزراعية

قد لا تؤثر إثارة التربة السطحية كثيرا على الإستهلاك المائي للمحاصيل ، لكن الحراثة العميقة وقلب التربة يزيدان من تبخر الماء من التربة السطحية ، نظراً لتعرض الجزء الرطب من التربة المقلوبة للجو الخارجي ، وكذلك لإنخفاض مقاومة إنتشار بخار الماء نتيجة للحراثة ، اما العمليلت التي تهدف إلى إزالة الأعشاب بإستعمال الكيماويات بدل الحراثة فتؤدي إلى زيادة مخزون التربة الرطوبي.

١ ــ ٢ ــ ٥ ــ ج: السيطرة على مستوى المياه الجوفية

عندما يكون مستوى المياه الجوفية قريباً من سطح الأرض أو في حالة وصول جبهة الماء الشعري إلى سطح التربة فإنها تؤثر بشكل فاعل على الإستهلاك المائي ، إذ أن حركة الماء الشعري تعوض النبات ما يخسره بعملية النتح وتقلل الحاجة إلى الري.

١ - ٣ :العوامل المناخية: -

إن الإستهلاك المائي هو عبارة عن عمليتا التبخروالنتح معاً، وهاتين العمليتين متشابهتين إلى حد كبير من الناحية الفيزيائية ففي كلتاهما يتم تحويل الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية على شكل بخار ماء، وبالتالي فإن العوامل المناخية التي تؤثر في احداهما تؤثر في الثانية. ومن أهم العوامل المناخية (الجوية) التي تؤثر على الإستهلاك المائي توازن الطاقة وديناميكية الهواء.

١ــ ٣ــ ١: توازن الطاقة:

١ ــ ٣ ــ ١ ــ أ: توازن الطاقة الحرارية

هناك علاقة قوية بين صافي طاقة الإشعاع التي تسقط على محصول ينمو في تربة مغدقة أو تربة رطبة ومعدل التبخر– نتح ، أو التبخر ، حيث يعتبر صافي طاقة الإشعاع هو العامل الرئيسي الذي يتحكم بهاتان العمليتان وخاصة في المناطق الرطبة وشبه الرطبة.

١ ــ ٣ ــ ١ ــ ب: الإشعاع الشمسي

الإشعاع الشمسي هو المصدر الرئيسي للطاقة الحرارية التي تؤدي إلى حصول عملية (التبخر – نتح)، حيث تعتمد الطاقة الشمسية التي تسقط على سطح أفقي خارج الغلاف الجوي على خط العرض وعلى الفصل السنوي ووجود وكثافة الغيوم وكثافة بخار الماء ونوعية الغازات في الجو بالإضافة إلى طول فترة النهار.

١ – ٣ – ١ – ج: صافي الإشعاع

تتطلب معرفة صافي الإشعاع تقدير أو قياس كل من الإشعاع القادم والإشعاع المنعكس عن الأرض

المزروعة ، ولتقدير إحتياجات محصول معين لمياه الري فإنه من الممكن تقدير أو قياس صافي الإشعاع لمحصول مرجعي مثل الفصة ثم ربط معدل (التبخر – نتح) للمحاصيل الأخرى مع ذلك المحصول المرجعي.

١– ٣ – ١ – د: الحرارة الكامنة والحرارة المنبعثة (المحسوسة)

تعرف الموازنة العمودية للطاقة على سطح التربة أو سطح المحصول بمجموع تدفق الحرارة المنبعثة من وإلى الهواء و الحرارة الكامنة وصافي الإشعاع وكذلك إنبعاث المصادر الأخرى.

١ – ٣ – ٢: ديناميكية الهواء :

يكون ضغط بخار الماء داخل الثغورالتنفسية للورقة عادة في حدود ضغط بخار الماء المشبع ، ويتناسب تبخرالماء خلال هذه الثغورعكسياً مع القوة المقاومة لإنتشاره، وطردياً مع الفرق في ضغط البخار بين الجو الخارجي وضغط بخار الماء داخل الثغر التنفسي، لذلك يعتمد معدل النتح على إنحدار الضغط البخاري ، بينما تعتمد كثافة بخار الماء على سطح الخلايا الداخلية للثغور على درجة حرارة الورقة ، فالطاقة الحرارية للورقة ومعدل النتح يعملان معاً بصورة متداخلة للوصول إلى حالة توازن تحت ظروف جوية معينة.

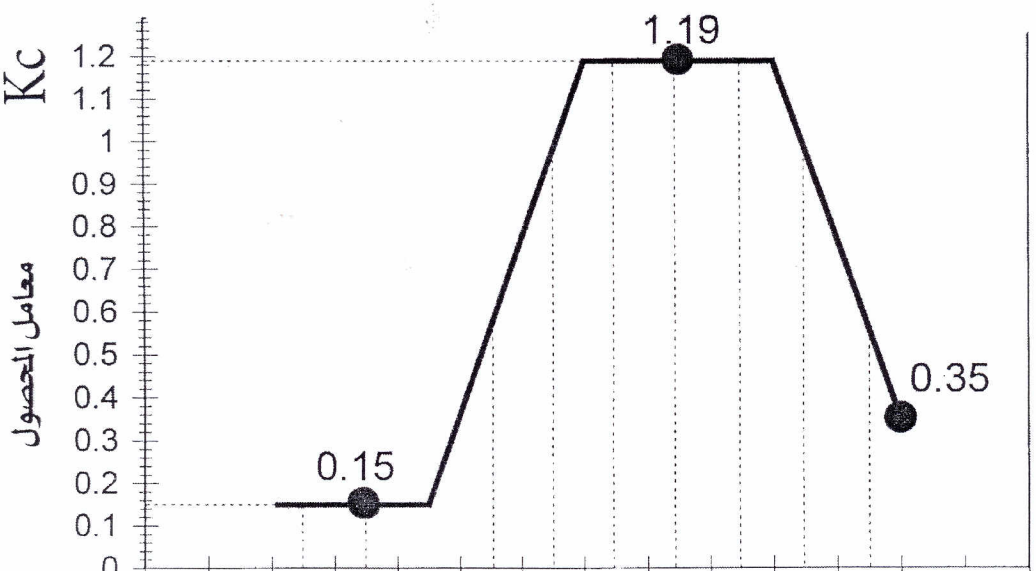
تقسم قوة مقاومة إنتشار بخار الماء من ثغور الورقة النباتية إلى مقاومة إنتشار داخلية ومقاومة إنتشار خارجية، حيث تعتمد مقاومة الإنتشارالداخلية على سعة فتحة الثغرالتنفسي ، فكلما ضاقت فتحة الثغرالتنفسي زادت مقاومة إنتشار بخار الماء والعكس صحيح. ويتوقف إنغلاق الثغر وإنفتاحه ، وسعة فتحته على شدة الإضاءة.

أما مقاومة الإنتشارالخارجية فتعتمد على شكل الورقة وإتجاهها وعرضها وصفاتها الخارجية ، بالإضافة إلى سرعة حركة الرياح وإستمرارية هذه الحركة ، فإذا زادت سرعة الريح وحركتها الإضطرابية فإنها تؤدي إلى تقليل سمك الطبقة الهوائية المشبعة ببخارالماء المحيط بالورقة ، وبالتالي تقلل من مقاومة الإنتشار ، فيزداد تبعا لذلك معدل النتح ، هذا وتتوقف كذلك عملية النتح على مقدارالطاقة الحرارية التي يحملها الهواء والتغير في حرارة ورطوبة الهواء وضغطه البخاري وكذلك حرارة الأوراق.

٣ . تقدير الإستهلاك المائي:-

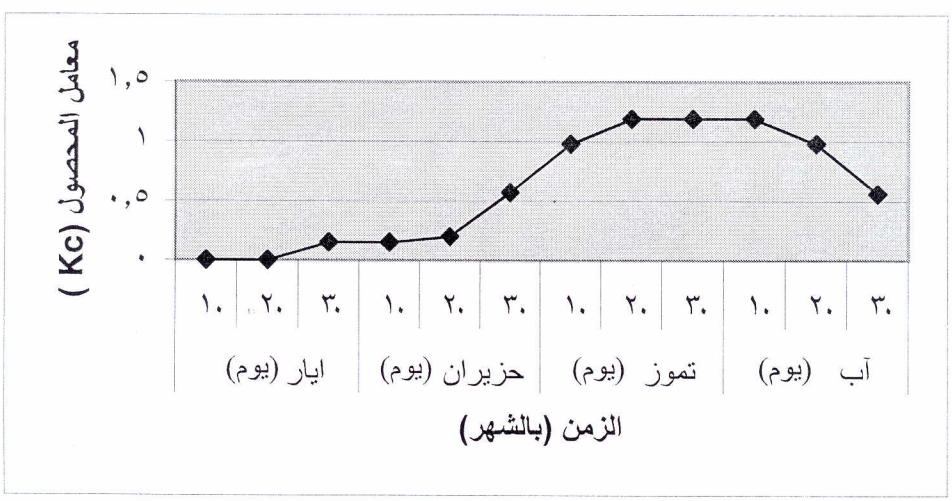
ذكرنا فيما سبق أن الإستهلاك المائي لأي محصول يعتمد على العوامل البيئة والمناخية وعلى النباتات وطبيعة تطورها ومراحل نموها المختلفة. وبالتالي فإن مقدار الإستهلاك المائي السنوي للنبات سوف يختلف بإختلاف هذه العوامل، فلا نستطيع تحديد مقداراً ثابتاً للإستهلاك المائي لمحصول ما بشكل صحيح يعتمد عليه في جميع الحالات والأزمان، ولتجاوزهذه المشكلة اجرى العلماء قياسات حقيقية للإستهلاك المائي للمحاصيل المتنوعه ولمختلف مراحل نموها ونسبوها إلى الإستهلاك المائي الأعظمي (الكامن) وهو ما تم معرفته

وتسميته بمعامل المحصول شكل (٥أ و ٥ ب)



يوم	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	
شهر	أيار			حزيران			تموز			آب			
معامل المحصول	0.15	0.15	0.20	0.57	0.98	1.19	1.19	1.19	0.98	0.56		
الاستهلاك المائي الكامن	3.0	3.4	4.0	4.2	4.5	5.1	5.6	6.0	5.5	5.2	ملم / يوم	
الاستهلاك الحقيقي للنبات	0.5	0.5	0.8	2.4	4.4	6.1	6.7	7.1	5.4	2.9	ملم / يوم	

شكل ٥أ: معامل المحصول والاستهلاك المائي الحقيقي والكامن للنبات حسب فترات نموه المختلفة



شكل ٥ب: معامل المحصول لنبات ناضج حسب فترات نموه المختلفة

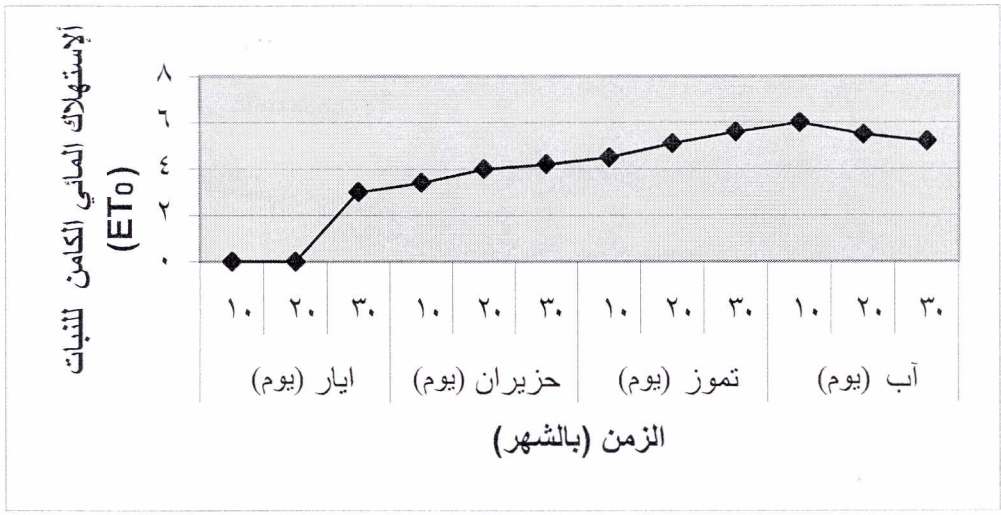
والذي يتمثل بالعلاقة التالية: -

معامل المحصول (Kc)= الإستهلاك المائي الحقيقي للنبات (ملم)

الإستهلاك المائي الأعظمي (الكامن) (ملم)

حيث يمكن قياس الإستهلاك المائي الكامن مباشرةً في الحقل شكل (٦) أو تقديره بإستخدام معادلة بلاني ــ كريدل أو بنمان مونتيف وغيرهما من المعادلات النظرية التي تعتمد على بعض أو معظم العوامل المناخية التي تؤثر على الإستهلاك المائي أو بإستخدام حوض التبخر"Class A pan" بواسطة العلاقة التالية :

"الإستهلاك المائي الكامن= مقدار الفقد أو التبخر من حوض التبخر (ملم) X معامل حوض التبخر"



شكل ٦: الإستهلاك المائي الكامن لنبات ناضج حسب فترات نموه المختلفة

ومن هنا يمكننا تطبيق هذه العلاقة لمحصول ما في أي منطقة حيث أن العوامل المناخية لا تؤثر في قيم معامل المحصول بل تؤثر وبشكل مباشر في قيم كلاً من الإستهلاك المائي الحقيقي والكامن وبالتالي تبقى النسبة بينهما ثابتة.

إن الكائنات النباتية كأي كائن حي تبدأ من مرحلة البذرة والإنبات والنمو إلى مرحلة النضج والحصاد، وبناءاً عليه فإن الإستهلاك المائي لها يبدأ بكميات قليلة ويزداد بتطورها ونموها حتى تصل إلى مرحلة النضج وبعد ذلك تبدأ بالتناقص حتى تصل لمرحلة الحصاد وهو ما يعبر عنه بيانياً بمنحنى النمو كما هو مبين بالشكل (٥أ و ٥ب)

٣ – ١: طرق تقدير الإستهلاك المائي:

تنقسم طرق تقدير الإستهلاك المائي إلى طريقتين رئيسيتين الأولى مباشر و تعتمد على قياسات حقلية فعلية وتمتاز بدقتها وهي موضوع بحثنا ، وأخرى غير مباشرة أو نظرية والتي تعتمد على حساب الإستهلاك المائي بإستخدام بعض أو كل العوامل المناخية التي تؤثر في الإستهلاك المائي ولا تحتاج إلى تجارب في الحقل، حيث تنقسم الطرق المباشرة لتقدير الإستهلاك المائي إلى ثلاث طرق هي :

٣ – ١ – ١ :طريقة الأحواض أو ما يسمى اللايسميترات "Lysimeters"

وهي عبارة عن أحواض معدنية أو خرسانية معزولة هيدرولوجياً عن الحقل الذي توضع فيه وتكون ذات حجوم وأشكال مختلفة، فمنها المكعب ومتوازي المستطيلات ومنها الإسطواني، وبهدف تمثيل الظروف

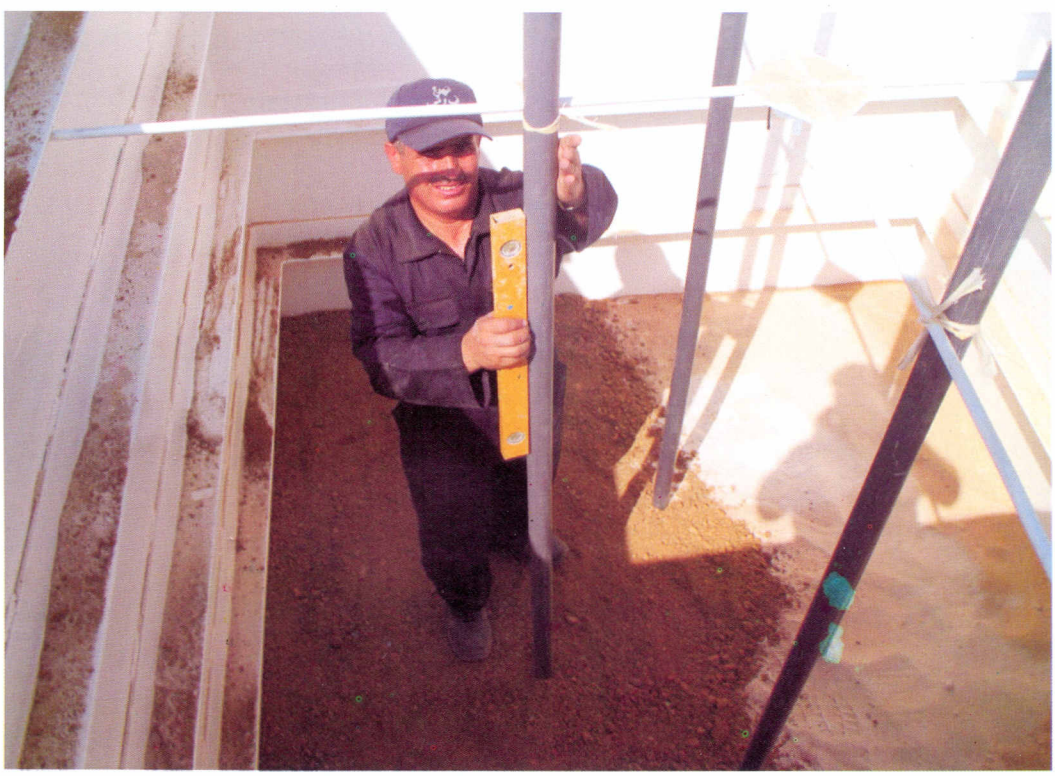
الطبيعية للحقل تحفر الأرض المراد وضع الحوض فيها بحجم يماثل حجم الحوض، ثم يوضع الحوض بحيث يظهر من حافته العليا ما يقارب من ٥- ١٠سم فوق سطح الأرض، وتعاد التربة إلى الحوض بحسب طبقاتها الطبيعية قبل حفرها وإذا كانت التربة غير ناضجة أي حديثة التكوين وغير محددة الطبقات فيصار إلى رفعها بشكل طبقات سمك كل طبقة ٣ سم ثم تعاد هذه الطبقات إلى الحوض بعد إنزاله بالحفرة حسب ترتيبها في وضعها الطبيعي، وبما أن حفر التربة يؤدي إلى إنخفاض كثافتها الظاهرية فإن كل طبقة من طبقات التربة المعادة إلى الحوض تضغط لاعادة كثافتها الظاهرية إلى قيمتها الأصلية ومن ثم يزرع اللايسميتر بنفس المحصول الذي سيزرع في الارض الدائمة الموضوع بها اللايسميتر ويعامل بنفس المعاملات الزراعية شكل (٧ – ١٥).

شكل (٧) عمل قاعدة اسمنتية لوضع ميزان اللايزوميتر

شكل (٨) وضع الهيكل الخارجي للايزوميتر

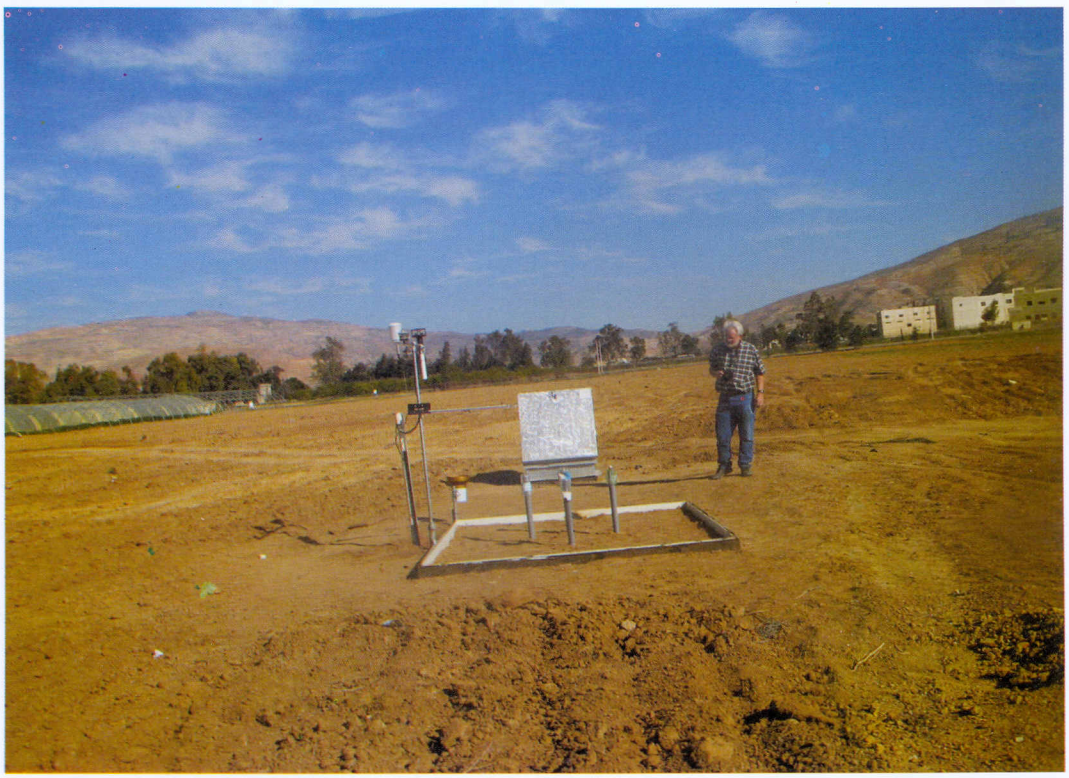
شكل (٩) تركيب الميزان ووضع صندوق اللايزوميتر فوقه

شكل (١٠) تركيب جهاز الصرف للايزوميتر



شكل (١١) اعادة وضع التربة على طبقات وتركيب انابيب لقياس رطوبة التربة

شكل (١٢) وضع دعامات لحماية الجهاز من ضغط التربة الجانبية للايزوميتر



شكل (١٣) تركيب محطة رصد جوي بجانب جهاز اللايزوميتر

شكل (١٤) تمديد شبكة الري والزراعة داخل اللايسميتر

شكل (١٥) النباتات كاملة النضج داخل اللايسميتر

ويجب أن تتوافر الشروط التالية عند قياس الإستهلاك المائي بالأحواض :

١ ــ تلاؤم مساحة اللايسميترمع طبيعة المحصول المراد دراسته.

٢ ــ توفر العمق اللازم لنمو وانتشار المحصول المراد دراسته داخل الحوض.

٣ ــ ضمان توافر الرطوبة والتهوية المناسبين داخل اللايسميتر.

٤ ــ يراعى أن يكون مستوى سطح التربة في اللايسميتر مماثلاً للمستوى الطبيعي للأرض المحيطة به.

٥ ــ يجب أن تكون جدران اللايسميتر رقيقة ما أمكن ومصنوعة من مادة قليلة التأثر بالحرارة أو يمكن طليها بدهان يقلل من تأثير الحرارة عليها.

٦ ــ ضرورة تماثل التربة داخل اللايسميتر مع التربة خارجه، وأن يخضع اللايسميترللمعاملات الزراعية نفسها التي تمارس خارجه، وهذه المعاملات تشمل مواعيد الزراعة والري ومكافحة الأعشاب والآفات الزراعية وعمليات التسميد وغيرها.

٧ ــ أن لا يكون اللايسميتر قريباً من العوائق الطبيعية كمصدات الرياح والأبنية وأن يكون موقعه متوسطاً في الحقل المراد دراسته.

٨ ــ تراعى إمكانية صرف المياه الزائدة من اللايسميتر.

إن تقدير الإستهلاك المائي باللايسميتر هي طريقة دقيقة وتحقق تماماً معادلة التوازن المائي وتقارن بها نتائج تقديرات الإستهلاك المائي بالطرق الاخرى للتأكد من صحة نتائج تلك الطرق. ويمكن تقسيم اللايسميترات إلى ثلاثة مجموعات هي: -

٢ – ١ – ١ – أ: اللايسميتر الصرفي "Drainage Lysemeter"

وهي التي يقدر التغير في محتواها الرطوبي بواسطة إحدى طرق قياس الرطوبة ويزود اللايسميتر بفتحة جانبية عند القاعدة تعمل كمصرف لجمع المياه الزائدة عن حاجة النبات الشكل (١٦) ويحسب الإستهلاك المائي بإستخدام اللايسميتر الصرفي حسب العلاقة التالية :

الإستهلاك المائي= كمية الري + كمية الامطار – كمية الصرف ± التغير في رطوبة التربة