نظم الري والبزل

م.د. عاصم ناصر المنصور

دكتوراه (أدارة تربة ومياه) كلية الزراعة – جامعة البصرة 2022م

ماجستير هندسة الري والصرف الحقلي –كلية الزراعة –جامعة عين شمس 2015 م

المحاضرة الخامسة

جدولة الري

Irrigation Scheduling

جدولة الري

General Approaches المنهج العام

- Maintain soil moisture within desired limits
  - direct measurement
  - moisture accounting
- Use plant status indicators to trigger irrigation
  - wilting, leaf rolling, leaf color
  - canopy-air temperature difference
- Irrigate according to calendar or fixed schedule
  - Irrigation district delivery schedule
  - Watching the neighbors

❑ **الحفاظ على رطوبة التربة ضمن الحدود المطلوبة وذلك عن طريق**
- **القياس المباشر**
- **حساب الرطوبة**

❑ **استعمال حالة النبات كمؤشر لتشغيل الري ومنها**
- **الذبول ، التفاف الاوراق، لون الاوراق**
- **اختلاف درجة حرارة الغطاء النباتي**

❑ **الري وفق لجدول او جدولة ثابته وذلك**
- **توزيع جدولة لمشاريع الري بالمنطقة**
- **مشاهدة المزارع المجورة**

خطوات تقدير المقننات المائية بالطرق المناخية

يتم تقدير المقننات المائية WR من خلال الطرق غيرالمباشرة أو المناخية من خلال الخطوات التالية :

1) تقدير جهد البخرنتح ETp أو قيم البخرنتح المرجعى ETo
2) تحديد مراحل النمو وطول كل مرحلة باليوم L
3) تقدير معامل المحصول وتعديلة بناءا على الظروف الفعلية لنمو المحصول KC
4) تقدير البخرنتح الفعلى للمحصول ETc أو ETa
5) تحديد الفترة ما بين الريات tw
6) تقدير الإحتياجات الغسيلية LR وكفاءة نظام الرى Ei
7) تقدير مقنن الرى الفعلى I

جدولة الرى Irrigation scheduling

تعبر جدولة الرى عن مقننات الرى الفعلية للمحصول WR ومناوبات إضافتها خلال مراحل النمو المختلفة من خلال نظام رى معين على أن تتضمن الإحتياجات المائية اللازمة لتغطية البخرنتح والتخزين فى الأنسجة النباتية والإحتياجات الغسيلية وكفاءة توصيل المياه الى منطقة الإمتصاص الجذرى . ويتم جدولة الرى من خلال الخطوات التالية والتى تلحق مباشرة خطوة تقدير معدل البخرنتح الفعلى المحصولى ETc بالمم/يوم .

1) تحديد عمق الجذور النشطة Zr .
2) تحديد الحجم الكلى للماء الميسر TAW .
3) تحديد معامل إستفادة المحصول من الماء الميسر *p* أو Ad .
4) تحديد الحجم الفعلى للماء الميسر الصالح للإمتصاص بواسطة المحصول RAW بمعلومية كل من TAW ومعامل إستفادة المحصول من الماء الميسر *p* أو Ad..
5) تحديد الوقت المناسب للرية (طول فترة الرية) tw بناءا على قواعد حركة الماء فى الأرض .
6) تحديد ميعاد الرية التالية للمحصول .
7) تحديد نسبة الإحتياجات الغسيلية LR أو معامل الغسيل Lf .
8) تحديد كفاءة نظام الرى Ei .
9) تحديد نسبة الإحتياجات المائية الإضافية الطارئة للمحصول Em .
10) تحديد مقنن الرى الفعلى فى الرية Iw بإستخدام المعادلة التالية :

$$I = ETc \times (1 + LR) \times (1 + Ei) \times (1 + Em) \quad \text{mm/day}$$

1) تحديد عمق منطقة إنتشار الجذور النشطة للمحصول Zr

تعتبر الجذور هى الجزء من النبات الذى ينمو ويتعمق وينتشر بين حبيبات الأرض ليتحمل مسئولياته سواء الفيزيائية لتثبيت المحصول فى بيئة النمو ومقاومة الأضرار الميكانيكية التى قد تسببها الرياح الشديدة التى قد يتعرض لها وكذلك مسئولياته الفسيولوجية المتعلقة بالبحث عن إحتياجات المحصول المائية والغذائية وإمتصاص القدر الكافى منها ونقلها الى الأجزاء العلوية من أفرع وأوراق وأزهار وثمار .

فى حالة عدم توافر القدر الكافى من الماء والعناصر الغذائية فى بيئة النمو فى حالة ميسرة وسهلة الإمتصاص والإستفادة بواسطة المحصول من خلال جذوره فتتحمل الجذور مسئوليات إضافية تتعلق بزيادة درجة تيسر الماء والمغذيات فى بيئة النمو وذلك من خلال :

- النمو والإنتشار فى مناطق جديدة فى بيئة النمو ذات مستويات أكثر تيسرا من الماء والعناصر الغذائية .
- إفراز مركبات عضوية تساعد على تيسير العناصر الغذائية فى بيئة النمو .
- بذل طاقة أكبر لإمتصاص الأغلفة المائية الممسوكة بقوة كبيرة ، إلا أن ذلك يعتبر نوعا من الإجهاد المائى وإستنفاذ جزء من الطاقة الذى كان يجب أن يستخدم فى تكوين نموات جديدة تؤدى الى زيادة المحصول .

وتنمو الجذور بصفة أساسية خلال مرحلة النمو الأولية وبشكل أسرع من المجموع الخضرى وتصل الجذور الى أقصى تعمق وإنتشار مع نهاية مرحلة وسط موسم النمو . ولذلك فإن عمق الجذور تكون أقل ما يمكن مع بداية مرحلة النمو ألأولية ثم يزداد التعمق تدريجيا مع تقدم عمر النبات حتى يكون التعمق أقصى ما يمكن مع وصول الغطاء النباتى للمحصول الى أقصى ما يمكن full cover وعادة ما يكون ذلك مع نهاية مرحلة وسط موسم النمو .

ونظرا لصعوبة تحديد شكل محدد لتوزيع الجذور رأسيا وأفقيا فإنه لا يمكن الإعتماد على الأبعاد المطلقة للتعمق الرأسى أو الإنتشار الأفقى للجذور لتحديد منطقة إنتشار الجذور ولابد من ضرورة الإعتماد بشكل أساسى على كثافة إنتشار الجذور وبالتالى يمكن إعتبار أن المنطقة التى بها أكثر كثافة لإنتشار الجذور هى أكثر مناطق بيئة النمو نشاطا فى إمتصاص الماء والعناصر الغذائية ويطلق عليها منطقة الجذور النشطة active roots ويكون عمقها هو عمق الجذور النشطة Zr . ويزداد نمو الجذور رأسيا وأفقيا بدءا من مرحلة النمو ألأولية وصولا الى أقصى عمق وإنتشار مع وصول الغطاء النباتى الى الحد الأقصى له Zrmax وعادة ما يكون ذلك فى نهاية مرحلة وسط موسم النمو .

عادة ما تعتبر النباتات ذات الجذور الوتدية Taproot أكثر قدرة على التعمق رأسيا فى الطبقات تحت السطحية للأرض مع قدرة منخفضة نسبيا على التمدد والإنتشار أفقيا أو عرضيا فى الطبقة السطحية للأرض ، بينما تقل قدرة النباتات ذات الجذور الليفية Fibrous على التعمق رأسيا فى الطبقات تحت السطحية للأرض إلا أنها تتميز بقدرة عالية على التمدد والإنتشار أفقيا فى الطبقة السطحية للأرض كما هو موضح فى .

ونظرا لأهمية تحديد عمق الجذور عند حساب حجم الماء الميسر الكلى وبالتالى تحديد المناوبات المناسبة للرى أو الفترة بين الريات المتتالية خلال مراحل النمو المختلفة فقد تم تقسيم المحاصيل تبعا لمدى تعمق جذورها الى المجموعات البسيطة التالية (جدول 18) الذى يوضح متوسط العمق التقريبى للجذور فى أراضى ذات خصائص طبيعية مختلفة :

- جذور سطحية مثل القرنبيط ، الكرنب ، البسلة ، الخس ، البصل ، البطاطس ، السبانخ ، السلق ، ..
- جذور متوسطة مثل الموز ، الفراولة ، الفاصوليا ، البنجر ، الجزر ، البرسيم ، الخيار ، الفول السودانى ، الفلفل ، فول الصويا ، عباد الشمس ، الطماطم ، الباذنجان ، ..
- جذور عميقة مثل القطن ، البرسيم ، القمح ، الشعير ، الذرة ، السمسم ، قصب السكر ، البطاطا ، المانجو ، الموالح ، البشملة ، الزيتون ، نخيل البلح ، أشجار الفاكهة المتساقطة ، العنب ، البطيخ ، ..

جدول (18) متوسط العمق التقريبى للجذور فى أراضى ذات خصائص طبيعية مختلفة

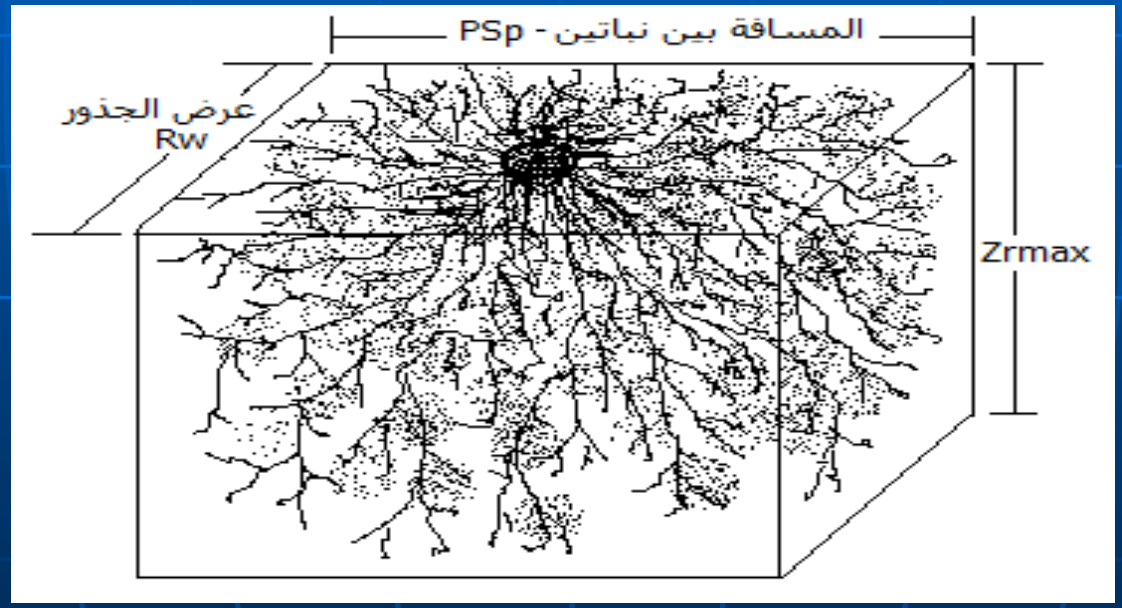
طبيعة القطاع الأرضى	ذات جذور سطحية سم	ذات جذور متوسطة سم	ذات جذور عميقة سم
أرض رملية	15	30	40
أرض طمييه	20	40	60
أرض طينية	30	50	70

ويرجع المدى الواسع نسبيا لمدى تعمق الجذور فى المجموعات السابقة الى تأثير عوامل أخرى مثل طريقة ومناوبات الرى وخصائص الأرض الطبيعية خاصة المرتبطة بتوزيع الرطوبة الأرضية على قدرة الجذور على التعمق .

يمكن التنبأ بحجم منطقة إنتشار الجذور النشطة RV كدالة للعمق الرأسى للجذور والطول الأفقى لهذه المنطقة ممثلا فى المسافة بين نباتين PSp والعرض الأفقى للجذور Rw كما هو موضح فى شكل (19) .

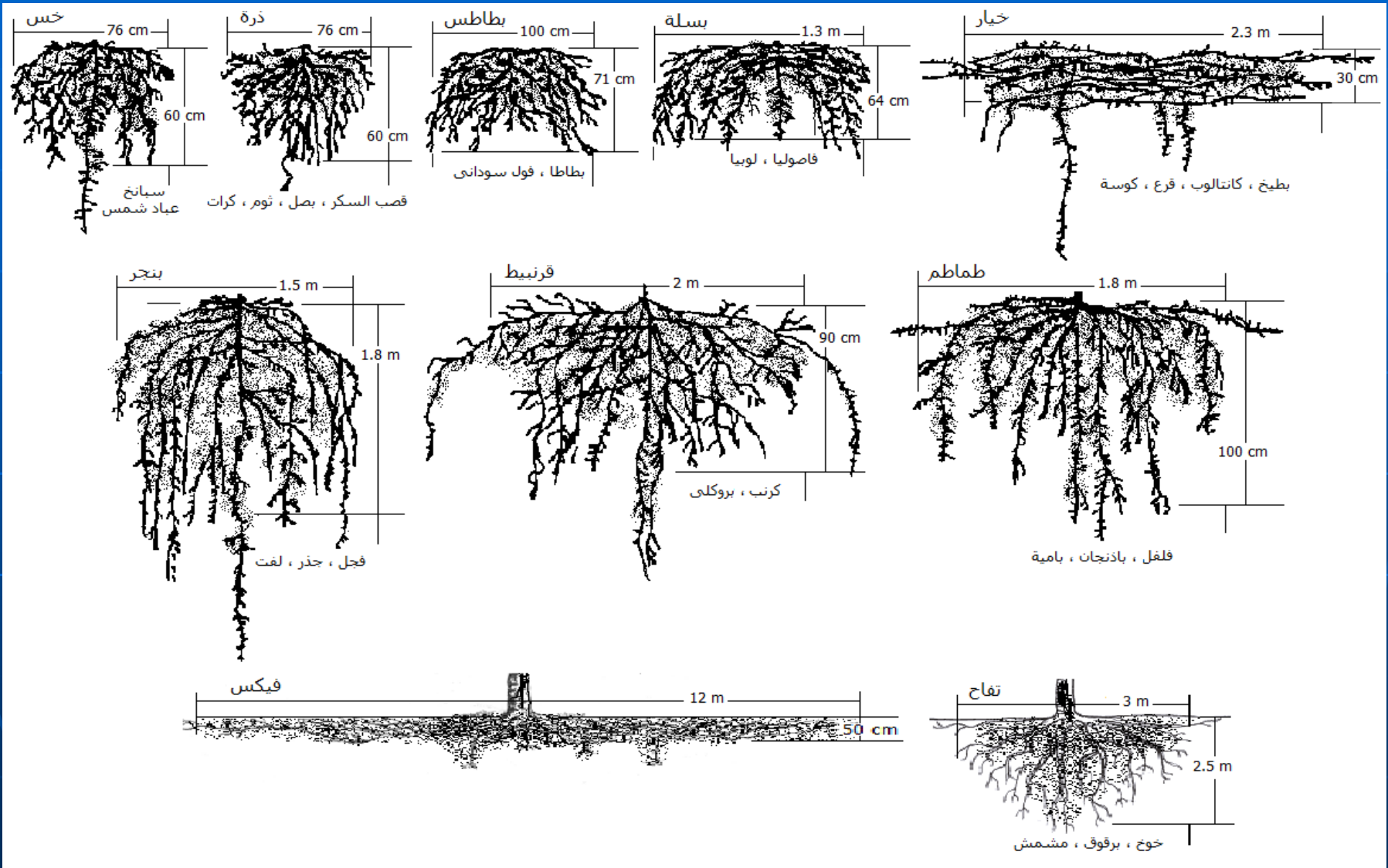
حيث يمكن حساب حجم منطقة إنتشار الجذور النشطة RVmax أو الحجم الأقصى لهذه المنطقة بإستخدام المعادلات التالية :

$$RV = PSp \times Rw \times Zr \quad m^3$$
$$RVmax = PSp \times Rw \times Zrmax \quad m^3$$



شكل (19) حجم الجذور النشطة RV كدالة لعمق الجذور والمسافة بين نباتين PSp وعرض الجذور Rw .

نموذج إنتشار جذور عدد من النباتات الحولية والمعمرة



شكل (18) عمق وعرض منطقة إنتشار الجذور النشطة لعدد من المحاصيل

يعتبر عمق الجذور من العوامل المحددة لمناوبات الرى أو الفترة مابيين الريات فتكون مناوبات الرى أكثر تقاربا مع معدلات أقل للمحاصيل ذات الجذور السطحية الأقل خاصة النامية فى الأراضى الرملية (ذات القدرة المنخفضة نسبيا على الإحتفاظ بالماء) والتى تروى بنظام الرى بالتنقيط بينما تكون مناوبات الرى أو الفترة بين الريات متباعدة نسبيا مع معدلات أكبر للمحاصيل ذات الجذور الأكثر تعمقا خاصة النامية فى أراضى ثقيلة القوام (ذات القدرة المرتفعة نسبيا على الإحتفاظ بالماء) والتى تروى بنظام الرى بالغمر . وتعتبر المحاصيل ذات الجذور السطحية أكثر حساسية لنقص الإمداد المائى بالمقارنة بالمحاصيل ذات الجذور المتعمقة نسبيا .

يفضل تحديد العمق المتوقع لإنتشار الجذور النشطة للمحصول من خلال الخبرات الشخصية المتراكمة نتيجة للتعامل مع المحصول فى الظروف البيئية للمنطقة تحت الدراسة وفى حالة عدم توافر هذه البيانات وهى الأكثر دقة يمكن الإستعانة بالبيانات المنشورة فى الجداول والتى توضح العمق الأقصى المتوقع للجذور النشطة Zrmax لمحاصيل مختلفة ثم تعدل القيم المأخوذة من هذا الجدول لتحديد العمق الفعلى للجذور النشطة فى أى يوم خلال موسم النمو .

$$Zr,J = Zrp + (Zrmax - Zrp) \times (J - Jp) / (Jfull - Jp) \qquad \text{If } J < Jfull$$

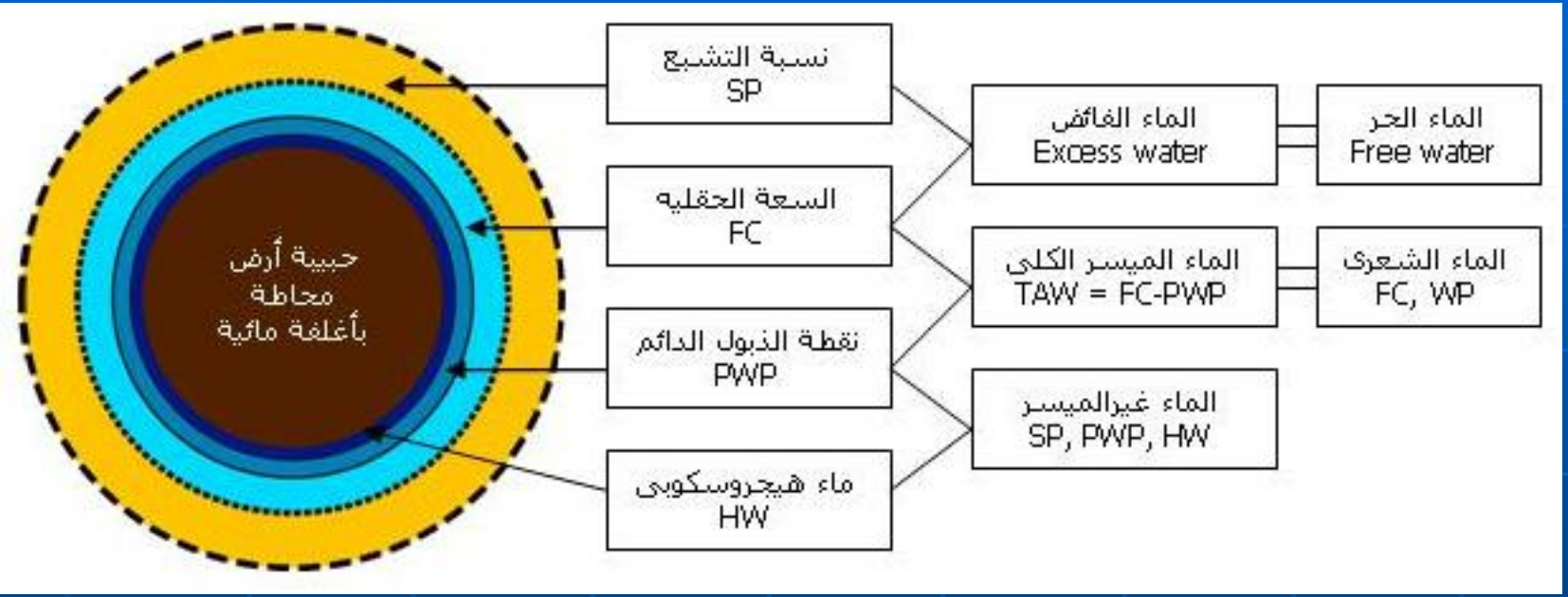
حيث :

Zr,J	عمق منطقة إنتشار الجذور النشطة للمحصول فى يوم معين J خلال موسم النمو .
Zrp	عمق الجذور النشطة فى اليوم الأول لموسم النمو أو عند الزراعة .
$Zrmax$	العمق الأقصى المتوقع للجذور النشطة خلال موسم النمو ويمكن الحصول عليها من جداول خاصة .
Jp	رقم يوم بدء موسم النمو أو يوم الزراعة بالنسبة لأيام السنة .
$Jfull$	رقم يوم إكتمال الغطاء النباتى للمحصول full cover بالنسبة لأيام السنة .

ويمكن الإستعانة ببيانات معامل المحصول الأساسى KCb فى معامل المحصول الثنائى بإستخدام المعادلة التالية :

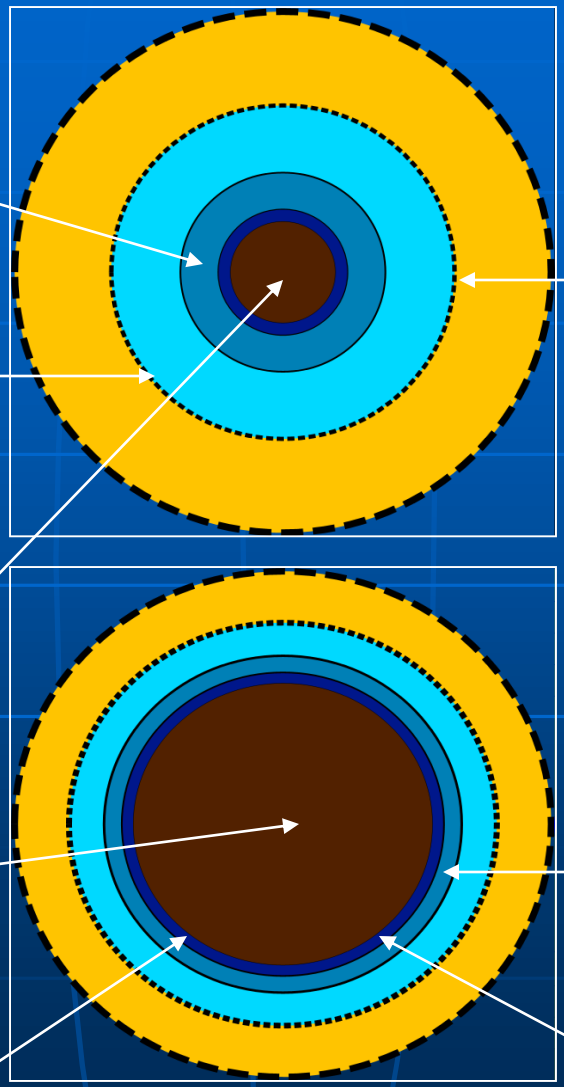
$$Zr = Zrp + (Zrmax - Zrp)*(KCb - KCbini) / (KCmid - KCbini) \qquad \text{If } J < Jfull$$
$$Zr = Zrmax \qquad \text{If } J \geq Jfull$$

صور الماء فى الأرض Soil water



شكل كروكى للأغلفة المائية حول حبيبات الأرض

صور الماء فى الأرض Soil water



الماء الشعرى
Capillary water
FC, WP

السعة الحقليه
Field capacity
FC

الماء الميسر الكلى
Total available water
TAW = FC-PWP

حبيبة الأرض
Soil particle

Clay

Sand

معامل الماء الهيجروسكوبى
Hygroscpic water coefficient
HWC

الماء الفائض
Excess water

الماء الحر
Free water

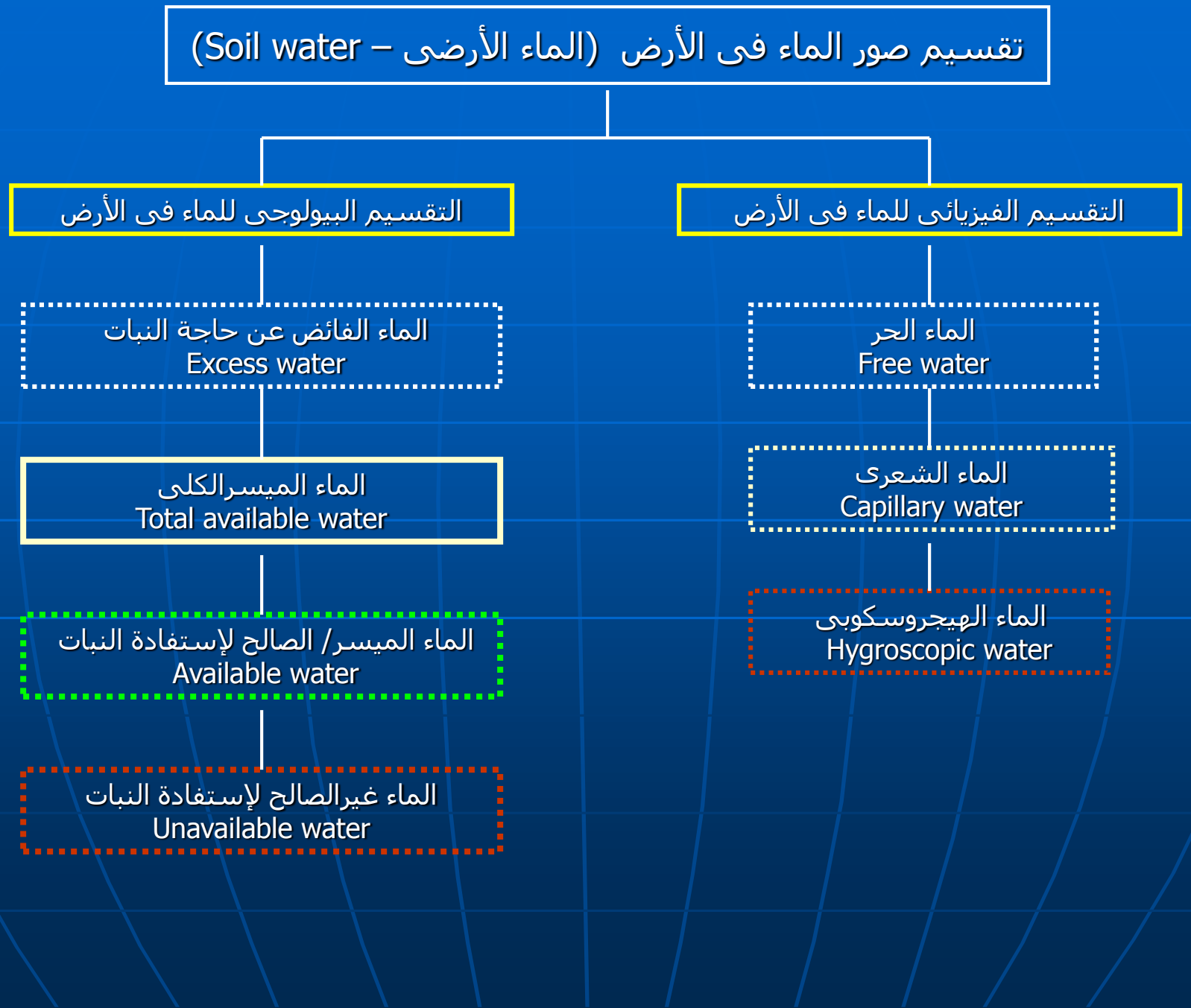
نسبة التشبع
Saturation percent
SP

الماء غيرالميسر
Unavailable water
SP, PWP, HW

نقطة الذبول الدائم
Permanent wilting point
PWP

الماء الهيجروسكوبى
Hygroscpic water
HW

شكل كروكى للأغلفة المائيه حول حبيبات الأرض


تقسيم صور الماء فى الأرض (الماء الأرضى – Soil water)
التقسيم الفيزيائى للماء فى الأرض
التقسيم البيولوجى للماء فى الأرض
الماء الحر
Free water
الماء الشعرى
Capillary water
الماء الهيجروسكوبى
Hygroscopic water
الماء الفائض عن حاجة النبات
Excess water
الماء الميسرالكلى
Total available water
الماء الميسر/ الصالح لإستفادة النبات
Available water
الماء غيرالصالح لإستفادة النبات
Unavailable water

التقسيم الفيزيائى للمحتوى المائى للأرض

الماء الهيجروسكوبى

Hygroscopic Water

يتواجد فى صورة أغشية رقيقه ملتصقة بأسطح حبيبات الأرضMaximum Adhesion

يتحرك فى أى إتجاه فى صورة بخار تبعا للتدرج فى الضغط البخارى

الماء الشعرى

Capillary Water

يتواجد فى المسام الضيقة نسبيا

يتحرك فى أى إتجاه كلما كانت Adhesion > Cohesion

Surface tension = Adhesion

الماء الحر

Free Water

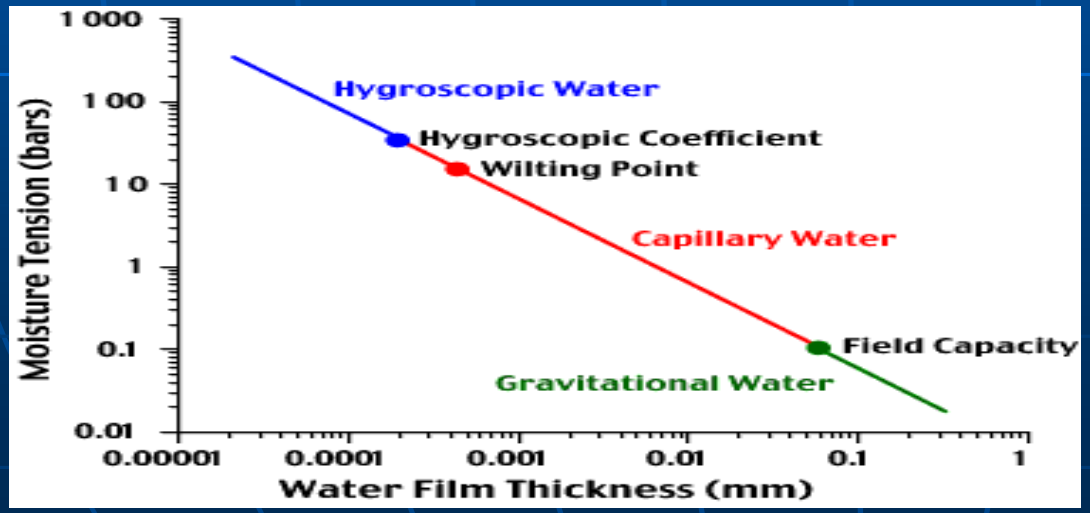
يتواجد فى المسام الواسعة وتكون قوة إلتصاق الماء بحبيبات الأرض = صفر Adhesion = 0

يتحرك لأسفل بالجاذبيه الأرضيه حاملا

<u>الأملاح الذائبه الضارة ويكون ذلك مفيدا العناصر الغذائية ويكون ذلك ضارا</u>

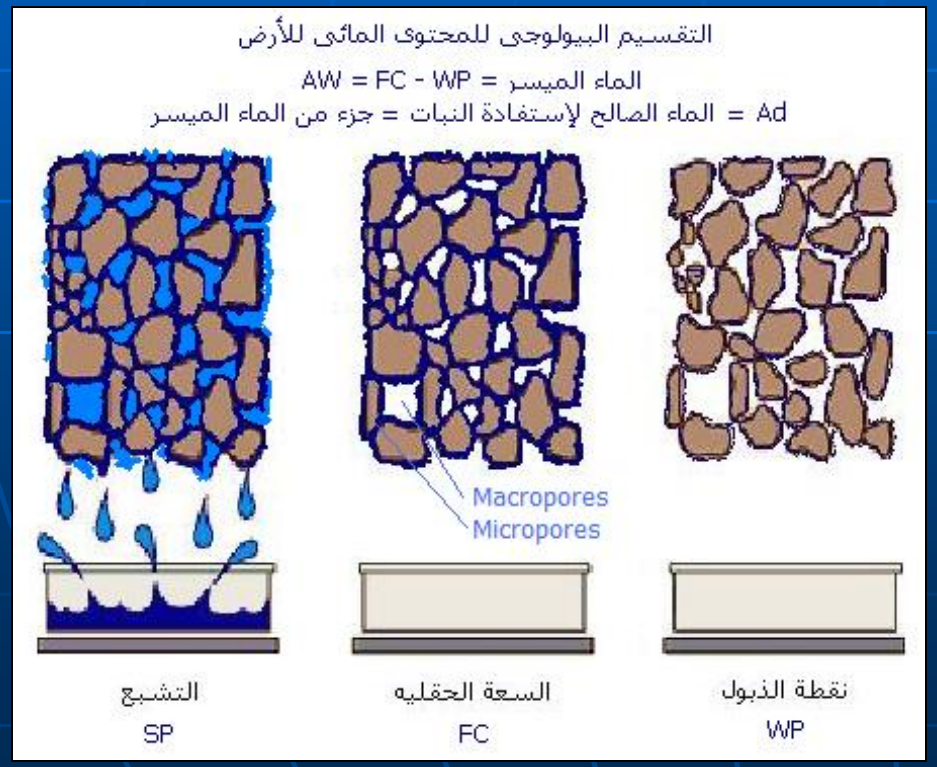
يسبب سوء الصرف مما يؤدى الى

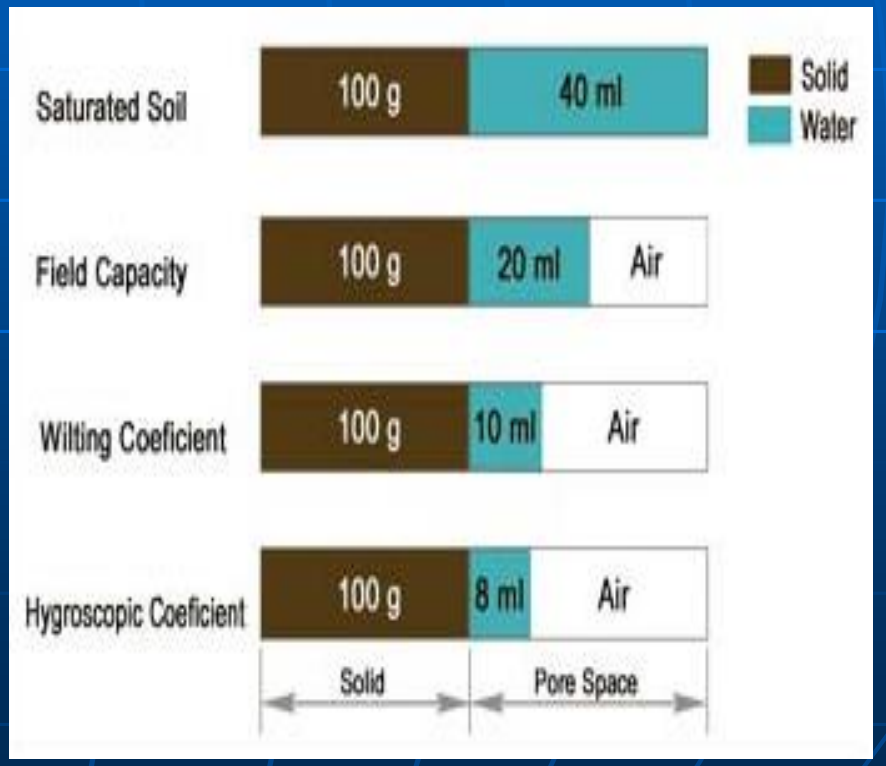
<u>سوء التهويه</u>
<u>إختناق جذور النباتات</u>
<u>إنتشار الكائنات الحية المسببه للأمراض</u>



التقسيم البيولوجى للمحتوى المائى للأرض
تبعا لمدى تيسره للنباتات

الماء غيرالميسر Unavailable water	الماء الميسر الكلى Total available water	الماء الميسر/ الصالح Available water	الماء الفائض Excess water





$\rho b = Ms / Vt$
$\rho p = Ms / Vs$

Soil water content المحتوى المائى للأرض

الفكرة ألأساسيه لتقديرالمحتوى المائى أو الرطوبى للأرض
تعتمد على تبخير الماء من عينة الأرض
بوضع عينه معلومة الوزن من الأرض المبتلة Mt فى فرن للتجفيف على 105 درجة مئوية
حتى إكتمال فقد الماء بالبخر Mw وثبات وزن الأرض بعد تجفيفها تماما Ms وقد يستغرق
ذلك حوالى 24 ساعة

تقدير المحتوى الرطوبى للأرض على أساس وزنى
Soil water content on a mass basis

$$\theta w_{(w/w)} = Mw / Ms$$

θw : gravimetric water content
Mw : mass of water content
Ms : mass of soil

تقدير المحتوى الرطوبى للأرض على أساس حجمى
Soil water content on a volume basis

$$\theta v_{(v/v)} = Mw / Vt$$

θv : volumetric water content
Vt : total volume of soil (Vs+Vp)
Vw : volume of water content
Vs : volume of soil particles
Vp : volume of pores

$$\theta v = \theta w \times \rho b$$

$Mw = Vw$ Where $\rho w = 1$ at 4 °C
$\rho b = Ms / Vt$ $\rho p = Ms / Vs$
$Mw = \theta w \times Ms$

تقسيم صور الماء فى الأرض (الماء الأرضى – Soil water)
التقسيم الفيزيائى للماء فى الأرض
التقسيم البيولوجى للماء فى الأرض
الماء الحر
Free water
الماء الشعرى
Capillary water
الماء الهيجروسكوبى
Hygroscopic water
الماء الفائض عن حاجة النبات
Excess water
الماء الميسرالكلى
Total available water
الماء الميسر/ الصالح لإستفادة النبات
Available water
الماء غيرالصالح لإستفادة النبات
Unavailable water

التقسيم الفيزيائى للمحتوى المائى للأرض

الماء الهيجروسكوبى

Hygroscopic Water

يتواجد فى صورة أغشية رقيقه ملتصقة بأسطح حبيبات الأرضMaximum Adhesion

يتحرك فى أى إتجاه فى صورة بخار تبعا للتدرج فى الضغط البخارى

الماء الشعرى

Capillary Water

يتواجد فى المسام الضيقة نسبيا

يتحرك فى أى إتجاه كلما كانت Adhesion > Cohesion

Surface tension = Adhesion

الماء الحر

Free Water

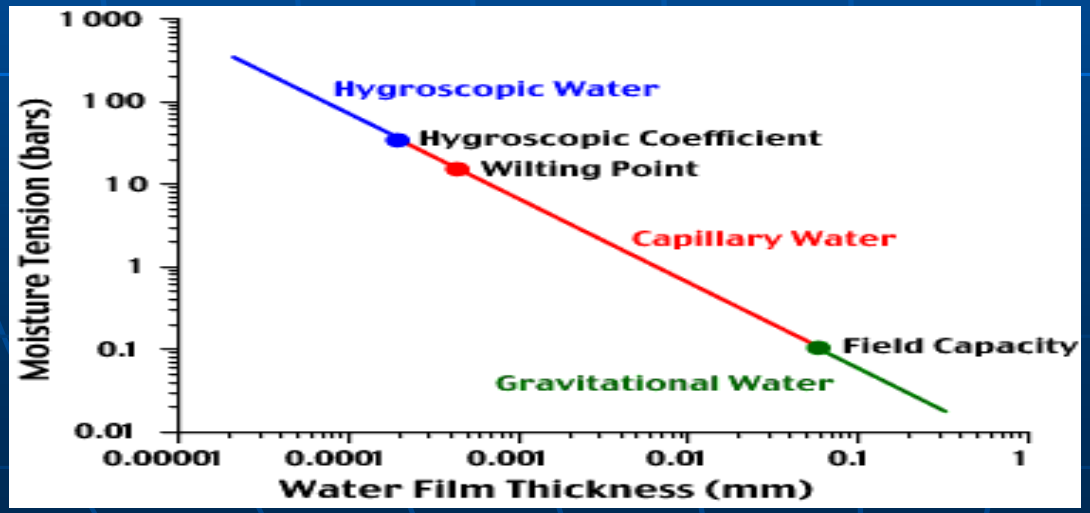
يتواجد فى المسام الواسعة وتكون قوة إلتصاق الماء بحبيبات الأرض = صفر
Adhesion = 0

يتحرك لأسفل بالجاذبيه الأرضيه حاملا

<u>الأملاح الذائبة الضارة ويكون ذلك مفيدا العناصر الغذائية ويكون ذلك ضارا</u>

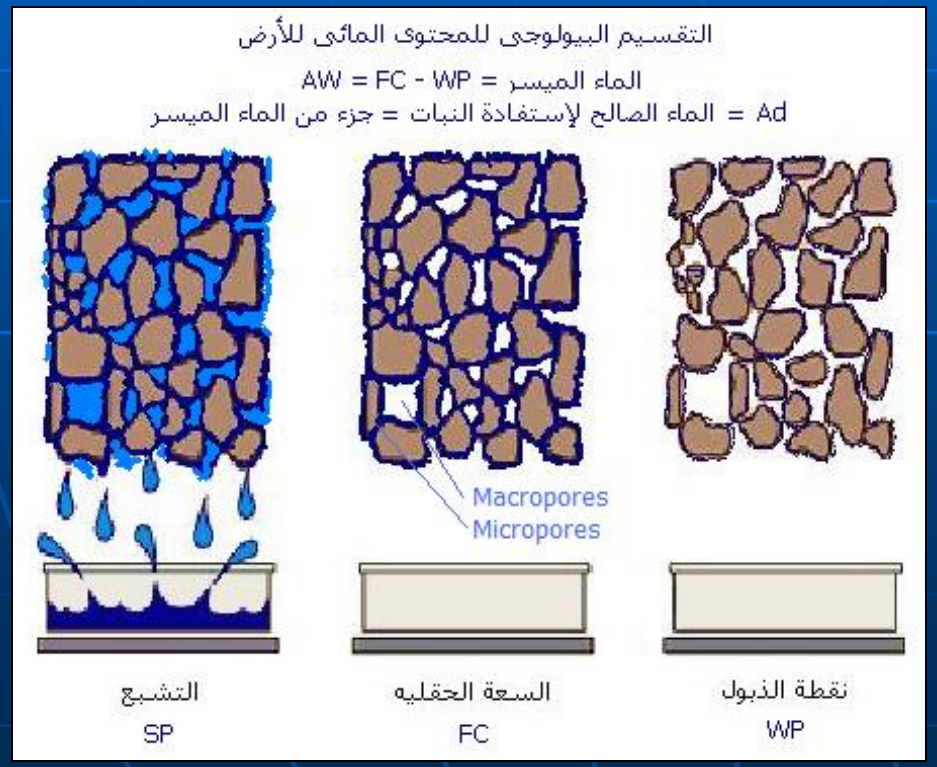
يسبب سوء الصرف مما يؤدى الى

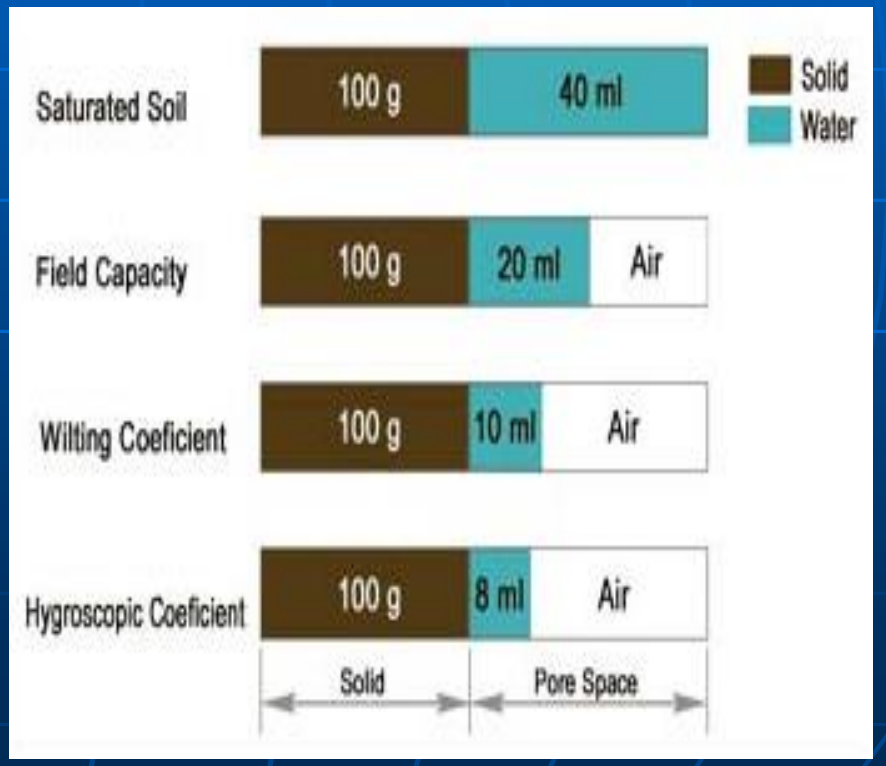
<u>سوء التهوية</u>
<u>إختناق جذور النباتات</u>
<u>إنتشار الكائنات الحية المسببة للأمراض</u>



التقسيم البيولوجى للمحتوى المائى للأرض تبعا لمدى تيسره للنباتات

- الماء غيرالميسر Unavailable water
- الماء الميسر الكلى Total available water
- الماء الميسر/ الصالح Available water
- الماء الفائض Excess water

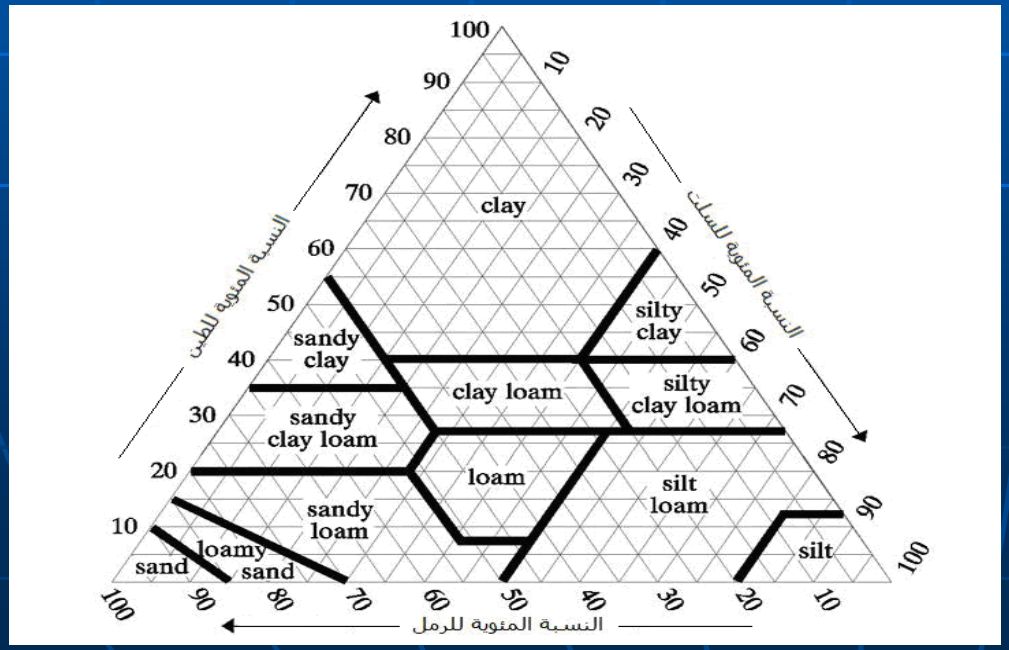




2) تحديد الحجم الكلى للماء الميسر TAW

الماء الميسر الكلى للمحصول Total avalable water

يعتبر الماء الميسر الكلى أحد أهم الخصائص المائية للأرض المرتبطة بالإحتياجات المائية للمحصول والتى تلعب دورا هاما فى تحديد مدى الكفاية أو الحاجة للرى ووضع التصميم المناسب لشبكة الرى ووضع التصميم المناسب لشبكة الصرف والتنبأ ببعض خصائص الأرض الطبيعيه وتحديد الأسلوب المناسب لإستصلاح وخدمة وصيانة الأراضى وتحديد الأسلوب المناسب للرى من حيث كميات ومناوبات الرى بالإضافة الى توقع التأثير الفسيولوجى لخصائص الأرض المائية على نمو النباتات . ويمكن فيما يلى التعرف على بعض أهم الخصائص المائية للأرض والتى تستخدم فى جدولة الرى وهى السعة التشبعية للأرض ، السعة الحقلية ، نقطة الذبول ، الماء الميسر الكلى ، الماء الميسر الفعلى ، معدل النفاذية . وقبل توضيح أهم الخصائص المائية بالأرض يجب العلم أن جميع هذه الخصائص ترتبط إرتباطا وثيقا بقوام الأرض والتى يمكن التعرف عليها من مثلث القوام (شكل 19) بناءا على نتائج التحليل الميكانيكى للأرض لتحديد النسبة المئوية لكل من الطين حيث حبيبات الأرض قطرها < 0.02 مم والسلت حيث حبيبات الأرض قطرها 0.02-0.2 مم والرمل حيث حبيبات الأرض قطرها > 0.2 مم .



شكل (19) قوام الأرض بناءا على النسبة المئوية لكل من الطين والسلت والرمل

أ) السعة التشبعية للأرض Saturated water content - θSP

تعبر عن المحتوى الرطوبي للأرض الذى يشغل معظم الفراغات الموجودة ما بين حبيبات الأرض منسوبا الى الوزن الوزن الجاف تماما للأرض أى المجففة على 105°م (جدول 20) . ونظرا لآن مخزون الهواء فى الأرض يشغل معظم المسام الواسعة فى الأرض فإن وصول المحتوى المائى فى الأرض الى هذا المستوى من السعة التشبعية بالماء خاصة بعد الرى مباشرة أو عند تساقط الأمطار بكثافة ولفترات طويلة سيكون على حساب الهواء الأرضى ومستوى الأكسوجين الميسر available O2 demand - AOD لتنفس الجذور ونشاط الكائنات الحية الدقيقة بالأرض .

ومن الجدير بالذكر أنه إذا إستمر المحتوى الرطوبى فى الأرض عند السعة التشبعية لفترات طويلة قد يؤدى الى توافر ظروف لا هوائية غير مناسبة لنمو وتنفس الجذور والكائنات الحية الدقيقة الهوائية التى يكون الجزء الأكبر منها مفيدا لنمو المحصول مما يساعد على تفعيل نشاط الكائنات الحية الدقيقة اللاهوائية التى يكون الجزء الأكبر منها ضارا لنمو المحصول بسبب ما تسببة من أعفان جذور وتيسر وإنطلاق صور غير مفيدة من المركبات الكيميائية خاصة العضوية منها مثل الميثان ، ..

وعادة ما يوصى تحت ظروف الحقل بعدم السماح بأن يكون مستوى الماء فى منطقة إنتشار الجذور عند السعة التشبعية لفترات زمنية طويلة تصل لأكثر من 96 ساعة فى الأراضى ثقيلة القوام أو أكثر من 48 ساعة فى الأراضى متوسطة القوام أو أكثر من 12 ساعة فى الأراضى خفيفة القوام حتى لا يتعرض المحصول لأضرار معنوية . وفى الحقيقة أنه من الصعب تواجد هذا المستوى المرتفع من الرطوبة الأرضية فى منطقة إنتشار الجذور إلا فى الأراضى الى التى تعانى من مشاكل سوء الصرف خاصة الناتجة عن وجود طبقات صماء صعبة النفاية للماء قريبة من منطقة إنتشار الجذور أو وجود طبقات منخفضة النفاذية تحت طبقات عالية النفاذية حيث يؤدى ذلك مع إستمرار الرى الى إرتفاع المحتوى الرطوبى فى منطقة إنتشار الجذور الى السعة التشبعية .

ب) السعة الحقلية Field capacity - θFC

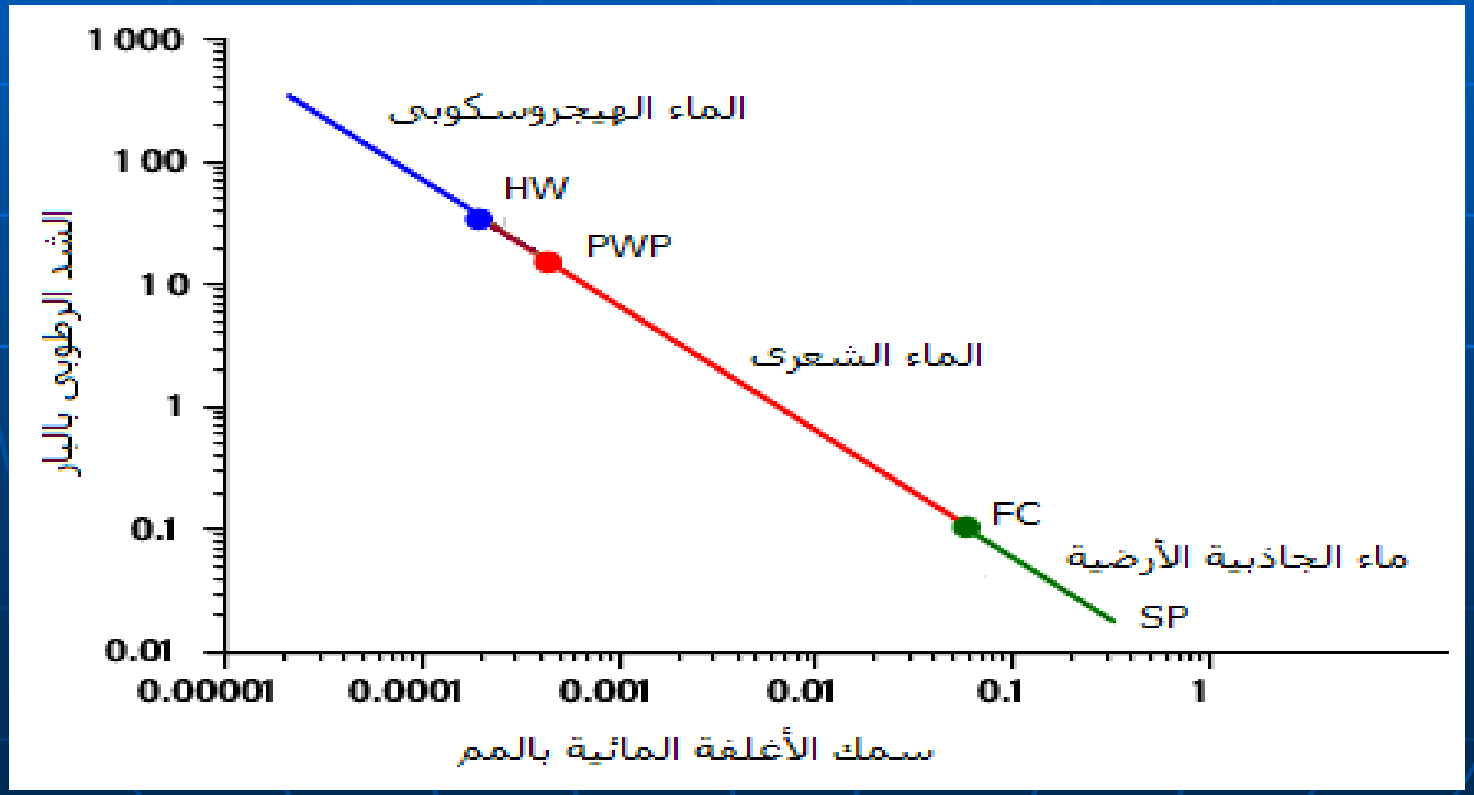
تعبر السعة الحقلية عن المحتوى الرطوبى للأرض الممسوك على حبيبات الأرض بقوة تمنع حركتة الرأسية لأسفل بفعل الجاذبية الأرضية منسوبا الى الوزن الجاف تماما للأرض . وعادة ما يشغل هذا المحتوى من الرطوبة الأرضية جميع الفراغات الضيقة والتى قد تمثل حوالى 10-25% أو 25-50% أو 50-75% من إجمالى المسام فى الأراضى الخفيفة أو المتوسطة أو ثقيلة القوام على الترتيب .

ونظرا لآن مخزون الهواء فى الأرض يشغل معظم المسام الواسعة فى الأرض فإن وصول المحتوى المائى فى الأرض الى هذا المستوى من السعة الحقلية عادة ما يكون بعد 3-6 أيام من الرى أو تساقط الأمطار بكثافة ويكون الهواء الأرضى ومستوى الأكسوجين الميسر available O_2 demand - AOD لتنفس الجذور ونشاط الكائنات الحية الدقيقة بالأرض فى حالة مناسبة تحت هذه الظروف .

ويمثل المحتوى الرطوبى عند السعة الحقلية الحد الأقصى لسمك طبقات الأغلفة المائية المحيطة بحبيبات الأرض والميسرة للإستفادة بواسطة المحصول . وتكون قوة تماسك وإحتفاظ حبيبات الأرض للماء التى تصل الى (Ψm = -0.33 Atm) وهى قوة شد ضعيفة نسبيا ويمكن لجذور المحصول التغلب عليها وإمتصاصها بل والتغلب على قوة شد الماء الى حبيبات الأرض التى تصل الى (Ψm = -15 Atm) .

ج) نقطة الذبول الدائم Permanent wilting point - θ_{PWP}

تعبر عن المحتوى الرطوبى للأرض الممسوك على حبيبات الأرض بقوة كبيرة تصل الى (-15 Atm) ضغط جوى أو (-1500 kPa) منسوبا الى الوزن الوزن الجاف تماما للأرض (مجففة على 105°م) . ويصعب على معظم المحاصيل التغلب على قوة شد الرطوبة عند نقطة الذبول الى حبيبات الأرض . ويؤدى تعرض المحصول لهذا المستوى من الرطوبة الأرضية لفترة طويلة نسبيا الى الذبول الدائم وبالتالى موت المحصول تماما حيث يعتبر الماء عند نقطة الذبول الدائم غير ميسر لإستفاد معظم المحاصيل خلال جميع مراحل النمو . وعند نقطة الذبول تكون معظم الفرغات مابين حبيبات الأرض مملوءة بالهواء .



جدول (20) متوسط قيم بعض ثوابت الأرض المائية معبرا عنها بطريقة وزنية

Soil texture	θ_{TAW}	θ_{PWP}	θ_{FC}	θ_{SP}	قوام الأرض
	cm	cm	cm	cm	
Sand	5-3	4-2	9-5	16-18	رملية
Loamy sand	7-4	9-3	14-7	18-24	رملية طميية
Sandy loam	9-8	10-5	19-13	24-28	طميية رملية
Sandy clay loam	10-8	18-14	28-22	28-36	طينية طميية رملية
Loam	14-12	16-12	30-24	24-28	طميية
Sandy clay	16-12	18-15	34-28	40-33	طينية رملية
Silt loam	20-18	13-9	33-27	40-36	طينية سلتية
Silt	21-20	13-6	34-26	44-40	سلتية
Clay loam	16-13	21-20	37-33	48-44	طينية طميية
Silt clay loam	17-14	23-21	40-35	50-55	طينية طميية سلتية
Silty clay	16-12	28-26	42-38	55-75	طينية سلتية
Clay	12-10	31-29	43-39	75-90	طينية

حساب الحجم الكلى للماء الميسر TAW فى طبقة إنتشار الجذور النشطة للمحصول Zr

يمكن حساب الحجم الكلى للماء الميسر TAW فى طبقة إنتشار الجذور النشطة للمحصول Zr من الفرق بين المحتوى المائى للأرض عند السعة الحقلية θFC والمحتوى المائى للأرض عند نقطة الذبول الدائم θWP كما هو موضح فى المعادلة التالية :

$TAW = 1000 \times (\theta FC - \theta PWP) \times Zr$ mm/m If θFC, θPWP, Zr in m

$TAW = 10 \times (\theta FC - \theta PWP) \times Zr$ mm/m If θFC, θPWP in cm & Zr in m

وتختلف قيمة TAW تبعا لخصائص الطبقات المختلفة للقطاع الأرضى ولذلك يمكن حساب قيمتها للطبقات المختلفة القطاع الأرضى بإستخدام تبعا للمعادلة التالية :

$$TAW = \theta AW,1 \times Zr,1 + \theta AW,2 \times Zr,2 + \ldots + \theta AW,n \times Zr,n$$

حيث :

θFC	المحتوى الرطوبى للأرض عند السعة الحقلية ويعبر عنه بالسم/م .
θPWP	المحتوى الرطوبى للأرض عند نقطة الذبول الدائم ويعبر عنه بالسم/م .
Zr	عمق الجذور النشطة بالمتر .
Zr,1,...,Zr,n	الجزء 1,...,n من عمق الجذور النشطة المقسمة الى الطبقات 1,...,n .
TAW	الماء الميسر الكلى فى منطقة إنتشار الجذور
RAW	الماء الميسر الفعلى الصالح لإستفادة المحصول ويعبر عنه بالسم/م .
Dr,i	المحتوى الرطوبى فى منطقة إنتشار الجذور فى يوم معين .
Dr,i-1	المحتوى الرطوبى فى منطقة إنتشار الجذور فى اليوم السابق .
θAW,1	حجم الماء الميسر فى الطبقة 1 من القطاع الأرضى .
θAW,2	حجم الماء الميسر فى الطبقة 2 من القطاع الأرضى .
θAW,n	حجم الماء الميسر فى الطبقة n من القطاع الأرضى .

معامل إستفادة المحصول من الماء الميسر Allowable water depletion - Ad

يعبر معامل إستفادة المحصول من الماء الميسر *p* أو Ad عن النسبة المحددة للقدر من الماء الميسر الكلى التى يمكن للمحصول الإستفادة منها دون تعرضة لأية إجهاد . وقد جاءت أهمية هذا المعامل لتعكس مدى التفاوت بين المحاصيل المختلفة حتى خلال مراحل نموها وتحت ظروف بيئية مختلفة فى قدرتها على إمتصاص الأغشية المائية المحيطة بحبيبات الأرض والممسوكة بقوى مختلفة تزداد بقدر كبير كلما كانت أقرب لسطح حبيبة الأرض الماء ، ولذلك من المتوقع تفاوت النسبة من الماء الميسر الكلى الصالحة للإمتصاص بواسطة المحصول وخلال مراحل النمو المختلفة بالإضافة الى ذلك فإن هذه النسبة لا تتوقف فقط على قدرة المحصول على تحمل العطش بل أيضا قدرة المحصول على تحمل الملوحة فى بيئة النمو كما هو موضح فى جدول (21) .

3) الماء الميسر الفعلى للمحصول Readily available water - RAW

الماء الميسر الفعلى RAW هو القدر من الحجم الكلى للماء الميسر TAW فى طبقة إنتشار الجذور النشطة والصالح لإستفادة المحصول . وفى الحقيقة أنه ليس صالحا بالكامل لجميع المحاصيل الإقتصادية التى قد لا يستطيع عدد كبير منها إمتصاص الماء الميسر الممسوك بقوة كبيرة تقترب من - 15 ضغط جوى أى الأقرب من نقطة الذبول . وبصفة عامة يطلق على الجزء من الماء الميسر فى منطقة إنتشار الجذور النشطة الصالح للإمتصاص والإستفادة بواسطة المحصول دون تعرضه لأية إجهاد رطوبى بالماء الصالح للإستفادة بواسطة المحصول . ومن الجدير بالذكر أن عدم تعرض المحصول للإجهاد الرطوبى تعنى عدم حاجة المحصول لإستنفاذ قدر من طاقته للتغلب على قوة إحتفاظ أو جذب حبيبات الأرض لجزيئات الماء القريبة نسبيا من سطح حبيبة ألأرض .

ويمكن تقدير الماء الميسر الفعلى للمحصول RAW بإستخدام المعادلة التالية بمعلومية أى من :

- معامل إستفادة المحصول من الماء الميسر فى الأرض p - deplation fraction تحت ظروف إجهاد مختلفة حيث يمكن تعديل قيمة p بناءا على تغير ظروف الإجهاد ومعدل البخرنتح الفعلى للمحصول ETc ومرحلة النمو .
- معامل الماء الصالح لإستفادة المحصول من الماء الميسر فى الأرض lawable water deplation - Ad والذى يعبر عن نسبة الماء الميسر الذى يمكن إمتصاصه بواسطة المحصول والإستفادة منه دون تعرضة لأية إجهاد والذى يختلف من محصول لآخر .

وعادة ما تتراوح قيم p أو Ad ما بين (0.3 -0.7) ويمكن الإستعانة بقيم p المأخوذة من جدول (21) لتقدير الماء الميسر الفعلى للمحصول تحت ظروف يكون فيها معدل البخرنتح الفعلى للمحصول < 5 مم/يوم :

$$RAW = p \times TAW \qquad \text{If ETc} < 5 \text{ mm/day}$$

ويتم تعديل قيم معامل إستنزاف الماء pإذا كانت قيم البخرنتح ETc > 5 مم /يوم بإستخدام المعادلة التالية :

$$padj = p\,(\text{Tabulated}) + 0.04 \times (5 - ETc) \qquad \text{If ETc} > 5 \text{ mm/day}$$

حيث :

Ad النسبة من الماء الميسر الصالح لإستفادة المحصول وتختلف من محصول لأخر .

P النسبة من الماء الميسر الصالح لإستفادة المحصول تحت مستويات مختلفة من الملوحة فى بيئة النمو وتؤخذ من جدول (21) ، ويمكن تعديلها تبعا لتغير مرحلة النمو إذا كانت (ETc > 5 mm/day) .

Padj النسبة المعدلة من الماء الميسر الصالح لإستفادة المحصول عندما تكون قيمة البخرنتح المحصولى ETc > 5 مم/يوم .

ويمكن الحصول على قيم θFC ، θWP من جدول (16) وقيم Zr ، وقيم Ad ، p من جدول (21) .

مثال (26) : إحسب الماء الميسر الفعلى لمحاصيل البصل والطماطم والذرة النامية فى كل من أرض رملية ، أرض طميية رملية Sandy loam ، وأرض طينية سلتية Silty clay مستعينا بالبيانات المتاحة فى الجداول .

الحل :

$TAW = 10 \times (\theta FC - \theta PWP) \times Zr$ mm If θFC , θPWP in cm

$RAW = p \times RAW$ mm

Crops	Zr – m Tables (18) m	*P* Tables (20)		Soil texture		θFC Table (20) cm	θPWP Table (20) cm
Onion	0.45	0.3		Sand	S	5.8	2.3
Tomato	1.1	0.4		Sandy loam	SL	14.7	4.5
Maize	1.35	0.55		Silty clay	SiC	22.6	14.7

Crops	S	S	SL	SL	SiC	SiC
	TAW (mm) =	RAW (mm) =	TAW	RAW	TAW	RAW
	10 x (θFC-θPWP) x Zr	*p* x TAW	mm	mm	mm	mm
Onion	10x(5.8-2.3)x0.45 = 15.8	0.3x15.8 = 4.7	45.9	13.8	36.0	10.8
Tomato	10x(5.8-2.3)x1.1 = 38.5	0.4x38.5 = 15.4	112.2	44.9	88.0	35.2
Maize	10x(5.8-2.3)x1.35 = 47.3	0.55x47.3 = 26.0	137.7	75.7	108.0	59.4

4) تحديد الوقت المناسب للرية من خلال التعرف على حركة الماء فى الأرض ونفاذية الماء

- عادة ما يتحرك الماء فى ألأرض إما من نقطة الى أخرى فى أى إتجاه أو من الأرض الى الهواء الجوى فى صورة بخار ماء أو من الأرض الى الجذر ثم الى الأجزاء الهوائية للمحصول .
- ويلزم لتحرك الماء من نقطة الى أخرى طاقه أو نشاط أو قوة أو فعاليه تسمح وتكفى للشغل المطلوب لينتقل الماء من نقطة الى أخرى . وتعبر الطاقه بصفة عامه عن أى من الجهد (Potential) ، النشاط (Activity) ، الشغل (Work) ، القوه (Force) .
- يعبر المستوى المرجعى لقياس طاقة الماء فى الأرض (صفر القياس) عن مستوى طاقة الماء الحر النقى (المقطر) عند مستوى سطح البحر فى نفس درجة الحرارة والضغط الجوى .

طرق التعبير عن قوة حفظ الماء على حبيبات الأرض (قوة الشد)

إرتفاع عمود الماء H الذى مساحة قاعدته 1 cm^2 ووزنه يساوى الشغل الذى يلزم لنزع غشاء الماء والتغلب على قوة الشد . ويعبر أيضا عن جهد الماء بقيم pf وهى لوغاريتم إرتفاع عمود الماء (pf = Log H) .

H = 10 m/cm^2	= 1000 cm/cm^2	= 1000 g/cm^2	= 10000 mm/cm^2
H = 1000 mbar	= 1 bar	= 1 Atm	= 76.39 cm Mercury
= 4 pf	= 1000 x 980	= 980000 Erg/g	= 76.39 cm Mercury
pf = Log 1000	= 3		

Saturated water content – θSP	H = 0		
Field capacity - θFC	H = 346 cm	= 0.35 bar	= 2.54 pf
Permanent wilting point - θWP	H = 15489 cm	= 15.5 bar	= 4.19 pf

تقدير الماء المستنزف الفعلى من منطقة الجذور النشطة $D_{r,i-1}$

أ) جهد الماء فى الأراضى

يعبر عن الفرق بين طاقة الماء فى نقطة معينه والمستوى المرجعى لجهد الماء الحر عند مستوى سطح البحر فى نفس درجة الحرارة والضغط الجوى بالجهد الكلى للماء فى الأرض Ψt – Total water potential وبناءا على هذا الفرق فى جهد الماء وإتجاه تدرجة يكون معدل وإتجاه حركة الماء فى الأرض حيث يعتبرالقوة الدافعة لحركة الماء من نقطة الى أخرى ، وعادة ما يكون مصدر هذه الجهد هو محصلة واحد أو أكثر مما يلى :

$$\Psi t = \Psi g + \Psi p + \Psi o + \Psi m$$

حيث :

Ψg جهد الجاذبيه Gravitational potential التى تعتمد على الطاقة التى إكتسبها الماء نتيجة لتواجده فى مكان مرتفع بالنسبة للمكان الذى سيتحرك اليه والتى يعبرعنها بجهد الجاذبية الأرضية وتزداد هذه الطاقة مع زيادة فرق الإرتفاع بين النقطتين ، وكلما زاد جهد الجاذبيه زاد الجهد الكلى للماء .

Ψp جهد الحركة أوالضغط Kinetic or Pressure potential تعتمد على قوة إندفاع المياه المتحركة فعلا وتزداد هذه الطاقة مع زيادة قوة إندفاع الماء ، وكلما زاد الجهد الأسموزى زاد الجهد الكلى للماء .

Ψo الجهد الأسموزى أو الكيميائى Chemical or Osmotic potential تعتمد على ما يتواجد فى الماء من شحنات كهربائية حرة فى الأيونات الذائبة به ، وكلما زاد الجهد الأسموزى قل الجهد الكلى للماء .

Ψm جهد الإلتصاق أو التماسك أو التوتر السطحى Adhesion & Matric potential التى تعتمد على طاقة تماسك وإلتصاق الجزيئات غير المتشابهة كما هو الحال للماء مع أسطح حبيبات الأرض وتعتبر القوة الدافعة لحركة الماء بالخاصية الشعريه فى المسام الضيقة نسبيا ، وكلما زاد جهد التماسك قل الجهد الكلى للماء .

<u>القيم المتوقعة لجهد الماء</u>

- يكون الجهد الكلى للماء مساويا للصفر $\Psi t=0$ عند نقطة تشبع الأرض بالماء .
- ويكون الجهد الكلى للماء موجبا $\Psi t>0$ إذا إكتسب الماء طاقة وضع بسبب تواجده فى منطقة أعلى نسبيا من سطح البحر Ψg أو كان مندفعا تحت ضغط مع تيار مائى Ψp .
- يكون جهد الماء سالبا $\Psi t<0$فى حالة زيادة الجهد الأسموزى Ψo أى زيادة تركيز الأملاح فى الماء و/أو زيادة جهد إلتصاق أو تماسك جزيئات الماء على أسطح حبيبات الأرض Ψm حيث يلزم بذل شغل للتغلب على قوة مسك الأملاح وحبيبات الأرض للأغلفة المائية المحيطة بها ليتحرك الماء من نقطه لأخرى .

ب) حركة الماء فى الأرض تحت ظرو ف الحقل Soil water movement

يتحرك ماء الأرض فى أى إتجاه بمعدلات تتوقف على
فرق جهد الماء potential gradient بين النقطتين
والذى يعتبرالقوة الدافعة لحركة الماء من نقطة الى أخرى
وعادة ما يكون مصدر هذه الجهد هو محصلة واحد أو أكثر مما يلى :

القوة الدافعة لحركة الماء فى الأرض

جهد الجاذبيه Gravititional potential **Ψg**	جهد الإلتصاق Adhesion & Matric Energy **Ψm**	جهد الحركة Kinetic Energy **Ψp**	جهد الأسموزيه Osmotic Energy **Ψo**
تعتمد على الطاقة التى إكتسبها الماء نتيجة لتواجده فى مكان مرتفع بالنسبة للمكان الذى سيتحرك اليه والتى يعبر عنها بجهد الجاذبية الأرضية وتزداد هذه الطاقة مع زيادة فرق الإرتفاع بين النقطتين	Adhesion تعتمد على طاقة تماسك الجزيئات غير المتشابهة (الماء مع أسطح حبيبات الأرض) وتعتبر القوة الدافعة لحركة الماء بالخاصية الشعريه فى المسام الضيقة نسبيا Capillary rise	تعتمد على قوة إندفاع المياه المتحركة فعلا وتزداد هذه الطاقة مع زيادة قوة إندفاع الماء	تعتمد على ما يتواجد فى الماء من شحنات كهربائية حرة فى الأيونات الذائبة به ويعبر عنها بالجهد الأسموزى

حركة الماء فى الأرض تحت ظرو ف الحقل

فى أرض مشبعه بالماء
$\Psi g + \Psi p > 0$
يوجد ماء حر

حركة الماء لأسفل تحت ظروف مشبعه
يعتمد أساسا على جهد الجاذبيه و/ أو جهد الضغط

تكون الأرض مشبعه بالماء بسبب تواجد الماء الحر أثناء وبعد الرى أو تساقط الأمطار والفيضانات مباشرة وتكون القوة الدافعة الأساسيه لحركة الماء تحت ظروف هذه الأرض المشبعة بالماء هى :
$\Psi g + \Psi p > 0$
وتستمر حالة التشبع لفتره من الزمن طالما تواجد الماء الحر ويتوقف طول هذه الفترة على طبيعة الأرض والظروف الجويه ونظام ومناوبات الرى .

فى أرض غير مشبعه بالماء
$\Psi g + \Psi p = 0$
لا يوجد ماء حر

حركة الماء فى أى إتجاه تحت ظروف غير مشبعه
يعتمد أساسا على جهد الإلتصاق و/ أو جهد الأسموزيه

بعد توقف الرى أو الأمطار وتحرك كل الماء الحر لأسفل تصبح الأرض فى هذه الحاله غير مشبعة بالماء وتكون القوة الدافعة الأساسيه لحركة الماء تحت ظروف هذه الأرض غير المشبعة بالماء هى :
$\Psi g + \Psi p = 0$
ومع ذلك تستمرحركة الماء فى جميع الإتجاهات طالما كان هناك فرق فى سمك الأغلفة المائية وبالتالى فرق فى جهد الإلتصاق Ψm و/أو الأسموزيه Ψo أو
$\Psi m + \Psi o > 0$

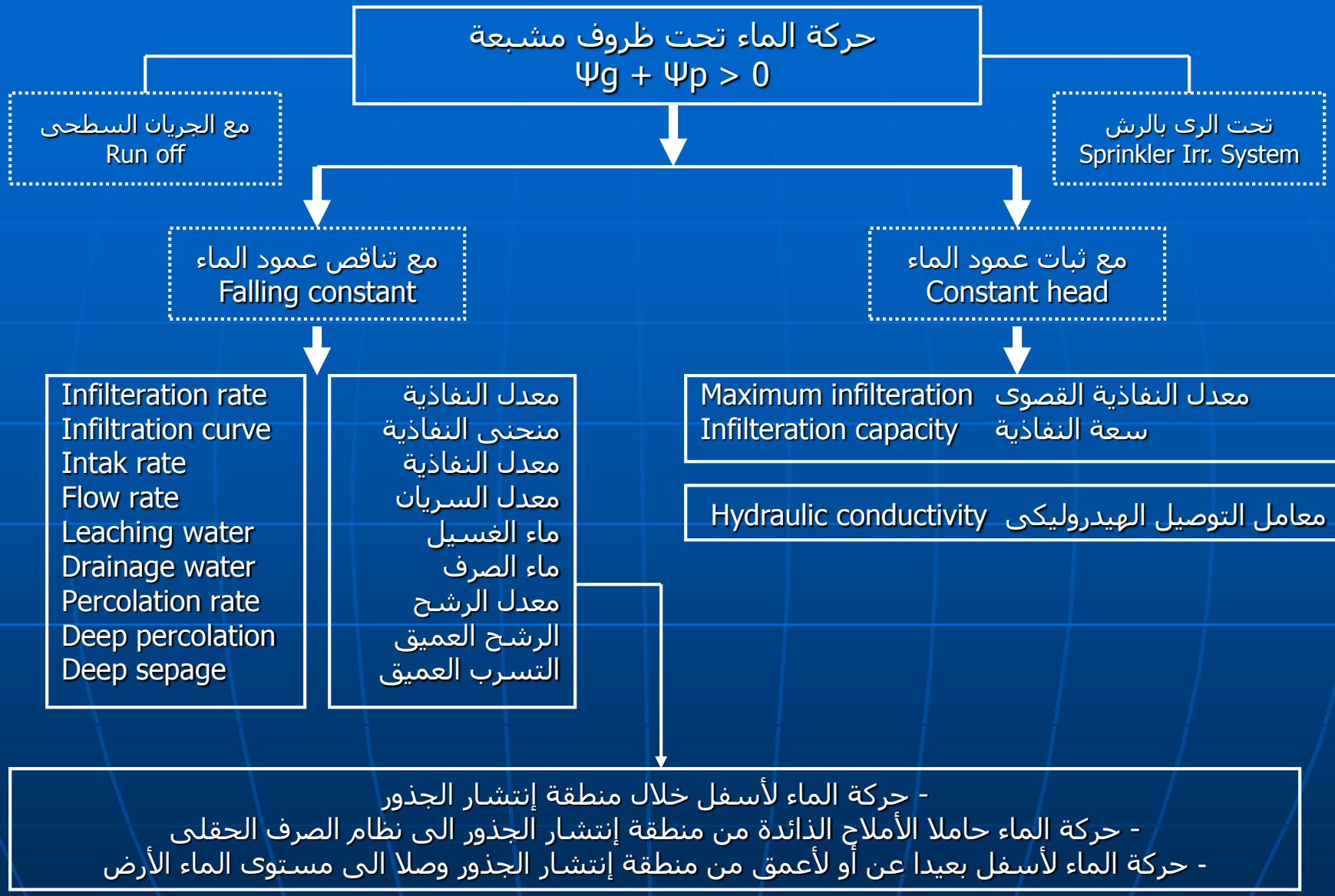
يمكن فيما يلى تلخيص حركة الماء فى أرض مشبعة وغير مشبعه بالماء من خلال المراحل التاليه لحركة الماء فى الأرض أثناء وبعد الرى أو الأمطار أو الفيضانات :

أ) يتحرك الماء الحر الموجود على سطح الأرض أثناء الرى لأسفل بفعل حهد الجاذبيه Ψg بالإضافه الى فعل جهد الضغط Ψp الناشىء عن عمق الماء الحر H فوق سطح الأرض وذلك لملء الفراغات البينيه الواسعة فى الطبقة تحت السطحيه التى يتوقف سمكها فى هذه الحاله على حجم الماء المضاف بالرى أو الأمطار وتستمر هذه الحركه طالما تواجد ماءا حرا فوق سطح الأرض مسببا فرق الجهد اللازم لحركة الماء لأسفل طالما الأرض لازالت مشبعه بالماء حيث أن Ψg > 0 + Ψp.

ب) أثناء حركة الماء لأسفل بفعل Ψg ، Ψp يتحرك الماء جانبيا بفعل جهد الأسموزيه Ψo وجهد الإلتصاق Ψm من خلال المسام الشعريه الضيقة فى الأرض .

ج) بعد توقف الرى أو الأمطار وتحرك كل الماء الحرلأسفل تصبح الأرض فى هذه الحاله تحت ظروف غير مشبعة بالماء حيث تكون (Ψg = 0 + Ψp) وتحت هذه الظروف تستمر حركة الماء فى جميع الإتجاهات طالما كان هناك فرق فى سمك الأغلفة المائية وبالتالى فرق فى جهد أى من الإلتصاق Ψm أو الأسموزيه Ψo أو كلاهما .

د) فى حالة توقف الرى أو الأمطار لفترة طويله نسبيا فى أرض منزرعه يقل جهد الماء بشكل كبير فى منطقة إنتشار الجذور نتيجة لإمتصاص الماء بواسطة جذور النباتات وقد يقل أيضا جهد الماء فى الطبقة السطحية للأرض ليس فقط نتيجة لإمتصاص الجذورالنباتيه بل أيضا بسبب فقد الماء بالبخر من سطح الأرض خاصة مع زيادة الحرارة وإنخفاض الرطوبه النسبيه وزيادة سرعة الرياح يتحرك الماء من أسفل الى أعلى بالخاصية الشعريه (Ψm) ويكون ذلك مفيدا للنباتات إذا كان لفترة قصيرة أما إذا كان لفترة طويله فسيكون ذلك ضارا بشكل كبير .


حركة الماء تحت ظروف مشبعة
Ψg + Ψp > 0
مع الجريان السطحى
Run off
تحت الرى بالرش
Sprinkler Irr. System
مع تناقص عمود الماء
Falling constant
مع ثبات عمود الماء
Constant head
Infilteration rate
Infiltration curve
Intak rate
Flow rate
Leaching water
Drainage water
Percolation rate
Deep percolation
Deep sepage
معدل النفاذية
منحنى النفاذية
معدل النفاذية
معدل السريان
ماء الغسيل
ماء الصرف
معدل الرشح
الرشح العميق
التسرب العميق
Maximum infilteration معدل النفاذية القصوى
Infilteration capacity سعة النفاذية
Hydraulic conductivity معامل التوصيل الهيدروليكى
- حركة الماء لأسفل خلال منطقة إنتشار الجذور
- حركة الماء حاملا الأملاح الذائدة من منطقة إنتشار الجذور الى نظام الصرف الحقلى
- حركة الماء لأسفل بعيدا عن أو لأعمق من منطقة إنتشار الجذور وصلا الى مستوى الماء الأرض

ومن أهم مظاهر حركة الماء فى أرض غير مشبعه بالماء هو :

- حركة الماء فى أى إتجاه تكون فيه الجذور بسبب فرق الجهد الناتج عن زيادة الجهد الأسموزى السالب Ψo فى منطقة الإمتصاص الحر للجذور (المنطقة بين الجدار الخلوى وغشاء البلازمالما) عن الجهد الأسموزى السالب للماء فى الأرض بالإضافة الى زيادة الجهد السالب لتماسك الماء على حبيبات الأرض فى المناطق القريبة من الجذور بالمقارنة بالجهد السالب لتماسك الماء Ψm فى المناطق البعيدة ويكون لفرق الجهد بين ضغط بخار الماء ما بين خلايا أوراق النبات والهواء الجوى دورا أساسيا فى حركة الماء بالخاصية الشعرية من الجذور الى الأوراق فى النتح من أوراق المحصول ، ويكون أيضا لفرق الجهد بين ضغط بخار الماء ما بين حبيبات الأرض والهواء الجوى دورا أساسيا فى حركة الماء بالخاصية الشعرية من أسفل الى أعلى فى عملية التبخير من سطح الأرض .

- حركة الماء فى أرض غير مشبعه بالماء هو حركة الماء لأعلى نتيجة لنقص معدلات الرى أو الأمطار مما يؤدى الى إنتقال الأملاح الضاره خاصة كلوريد الصوديوم NaCl من أسفل الى أعلى فى إتجاه منطقة منطقة إنتشار الجذور وقد تظهر على سطح الأرض فى صورة أملاح بيضاء بللوريه فيما يسمى بتزهر أو تراكم الأملاح Salt accumulation كما هو موضح فى (شكل 23) ، ويؤدى ذلك الى تضرر المحصول بشكل كبير ولذلك كان من الضرورى البحث عن الأسلوب المناسب لتقليل هذه الأضرار والتى تعتمد بصفة أساسية إضافة الإحتياجات الغسيلية المناسبة وتقليل فرصة التبخير من سطح الأرض بإستخدام أى من وسائل تغطية سطح الأرض .

ج) نفاذية الأرض للماء Infiltration rate - intake rate - IR

تعبر النفاذية Permeability بصفة عامة عن مدى قدرة الماء والهواء على الحركة والمرور خلال قطاع الأرض ، وتتأثر بحجم وشكل ومدى تواصل الفراغات بين حبيبات الأرض والتى تتمثل فى الكثافة الظاهرية والبناء الأرض والقوام والمحتوى الرطوبى للأرض بالإضافة الى مدى تجانس الطبقات المتتالية للقطاع الأرضى .

ويقاس معدل النفاذية بحجم الماء الذى يتحرك من أعلى لأسفل من خلال القطاع الأرضى فى زمن معين . ويكون معدل النفاذية فى الأراضى الرملية خشنة القوام أعلى منها فى الأراضى الطينية ثقيلة القوام ، ويكون أعلى أيضا كلما إنخفض المحتوى الارطوبى للأرض حيث من المتوقع أن يكون معدل النفاذية أعلى مع بداية الرى عنه مع نهاية الرى . ويمكن تقسيم مدى تغير معدل النفاذية للماء خلال قطاع أرضى متجانس القوام الى مستويات مختلفة كما هو موضح فى جدول (22) .

جدول (22) معدل نفاذية الأرض للماء IR
خلال قطاع أرضى متجانس

معدل نفاذية الأرض للماء	IR سم/ساعة	IR مم/ساعة
نفاذية منخفضة جدا	0.25 >	2.5 >
نفاذية منخفضة	0.25 – 1.25	12.5 – 2.5
نفاذية متوسطة	1.25-2.5	25 - 12.5
نفاذية مرتفعة	2.5 <	25 <

جدول (23) معدل نفاذية الأرض للماء IR
فى بعض الأراضى مختلفة القوام

قوام الأرض	IR سم/ساعة	IR مم/ساعة
طينية	0.5 >	5 >
طميية طينية	1-0.5	10 – 5
طمييه	2-1	20 - 10
طمييه رملية	3-2	30-20
رملية	3 <	30 <

- نظرا لوجود إرتباط قوى بين نفاذية الأرض للماء والقوام فإنه يمكن أيضا إعتبار أن الأراضى ذات القطاع الأرض متعدد الطبقات والتى يكون فية القوام أكثر خشونة فى الطبقات السطحية عنه فى الطبقات تحت السطحية يعتبر أفضل من حيث حالة الصرف والتهوية عن الأراضى ذات القطاع متعدد الطبقات والتى يكون فية القوام أقل خشونة فى الطبقات السطحية عن الطبقات تحت السطحية .
- بمعلومية معدل النفاذية يمكن تحديد الفترة المناسبة للرية بناءا على معدل تصرف نظام الرى وتوقع حجم وشكل المنطقة المبتله Wetting pattern بعد إضافة حجم معين من المياه خلال فترة معينة للرية تبعا لنوع الأرض والمحصول وطريقة الزراعة والرى .

من الجدير بالذكر أن البخر من سطح الأرض خاصة تحت ظروف الحرارة المرتفعة نسبيا لا يؤدى فقط الى فقد جزء من الموارد المائية بل أيضا يؤدى الى تشجيع حركة الماء بما تحمله من أملاح ذائبة بالخاصة الشعرية من أسفل الى أعلى القطاع الأرضى بمعدل يتناسب مع فرق الجهد الكلى للماء فى طبقات الأرض المتتالية والفرق فى الضغط البخارى للهواء الجوى وسطح الأرض ، ويؤدى ذلك الى الإضرار بالجذور نتيجة لإستمرار تراكم الأملاح فى الطبقة السطحية التى يكون فيها نشاط الجذور أكبر ما يمكن ويكون الضرر واضحا وبسرعة فى حالة عدم أخذ ذلك فى الإعتبار عند حساب الإحتياجات الغسيلية وعند الرى بمياه منخفضة النوعية أو ذات مستويات مرتفعة نسبيا من الأملاح خاصة كلوريد الصوديوم وفى درجات الحرارة المرتفعة وإنخفاض الغطاء النباتى . وتحت هذه الظروف عادة ما يوصى بتغطية سطح الأرض خاصة المناطق المعرضة للإبتلال بطبقة من المواد العضوية أو غير العضوية كطبقة عازلة نسبيا بسمك حوالى 5-10 سم بين الهواء الجوى وسطح الأرض mulching مما يقلل من معدل إمتصاص طاقة الأشعة الشمسية فى الأرض والتى تعتبر المصدر الأساسى لتوفير الحرارة الكامنه لتبخير الماء من الأرض وتعمل هذه الطبقة أيضا على خفض درجة الحرارة تحت هذه الطبقة وبالتالى تقليل الفرق فى الضغط البخارى بين الهواء الجوى وسطح الأرض .

ومن أهم المواد العضوية التى تستخدم لتغطية سطح الأرض : شرائح رقيقة (100-200 ميكرون) من البلاستيك الأسود ، قش الأرز أو قش القمح والشعير ، ناتج فرم مخلفات التقليم ، نشارة الخشب Sawdust ، ناتج قص النجيل (لتغطية المساحات المكشوفة تحت الأشجار فى المسطحات الخضراء) . وبصفة عامة يفضل وضع هذه المواد العضوية فقط فى طبقة رقيقة على سطح الأرض وعدم خلط أى منها عدا شرائح البلاستيك مع الأرض حيث يستهلك قدر كبير من النيتروجين الميسر فى الأرض أثناء عملية تحللها ، وعادة ما يتم تجديد هذه المواد العضوية كل 2-3 سنوات .

ومن أهم المواد غير العضوية التى تستخدم لتغطية سطح الأرض : الزلط الزلط (< 2-10سم) خاصة إذا كان متواجدا بكميات وافرة فى المزرعة ، بقايا كسر الفخار (< 2-5سم) والذى لا يتوافر بكميات كبيرة لذلك يستخدم بصفة خاصة فى أصص نباتات وأشجار الزينة المسطحات الخضراء .

تضاف هذه المواد mulch materials عدا شرائح اليلاستيك بسمك حوالى 5-10 سم فوق سطح الأرض ، ويفضل رش مواد التغطية العضوية بأى من المبيدات الحشرية من وقت لآخر وكذلك يفضل عدم زيادة سمك طبقة الغطية بالمواد العضوية حتى لا تكون مكتنا مناسبا لإختباء الفئران التى قد تؤدى الى الإضرار بالجذور والجذوع والأفرع الخشبية للأشجار .

ومن أهم الفوائد الإضافية لإستخدام أسلوب تغطية سطح الأرض علاوة على تقليل فقد الماء بالبخر من سطح الأرض هو حفظ الرطوبة وتقليل فرصة تراكم الأملاح فى طبقة سطح الأرض مما يسمح بنمو وإنتشار الجذور بها وتقليل فرصة نمو وإنتشار الحشائش وخفض درجة حرارة الطبقة السطحية للأرض فى درجات الحرارة المرتفعة خاصة خلال أشهر الصيف الحارة وزيادة درجة حرارة الطبقة السطحية للأرض فى درجات الحرارة المنخضة نسبيا خاصة خلال أشهر الشتاء الباردة ويؤدى ذلك لتحسين ظروف بيئة نمو الجذور وبالتالى المحصول بالإضافة الى تقليل تكلفة الرى ومقاومة الحشائش .

ج) نفاذية الأرض للماء Infiltration rate - intake rate - IR

تعبر النفاذية Permeability بصفة عامة عن مدى قدرة الماء والهواء للحركة والمرور خلال قطاع الأرض ، وتتأثر بحجم وشكل ومدى تواصل الفراغات بين حبيبات الأرض والتى تتمثل فى الكثافة الظاهرية والبناء الأرض والقوام والمحتوى الرطوبى للأرض بالإضافة الى مدى تجانس الطبقات المتتالية للقطاع الأرضى .

ويقاس معدل النفاذية بحجم الماء الذى يتحرك من أعلى لأسفل من خلال القطاع الأرضى فى زمن معين . ويكون معدل النفاذية فى الأراضى الرملية خشنة القوام أعلى منها فى الأراضى الطينية ثقيلة القوام ، ويكون أعلى أيضا كلما إنخفض المحتوى الارطوبى للأرض حيث من المتوقع أن يكون معدل النفاذية أعلى مع بداية الرى عنه مع نهاية الرى . ويمكن تقسيم مدى تغير معدل النفاذية للماء خلال قطاع أرضى متجانس القوام الى مستويات مختلفة كما هو موضح فى جدول (22) .

جدول (22) معدل نفاذية الأرض للماء خلال قطاع أرضى متجانس

مستوى نفاذية الأرض للماء	سم/ساعة	مم/ساعة
نفاذية منخفضة جدا	0.25 >	2.5 >
نفاذية منخفضة	0.25 – 1.25	12.5 – 2.5
نفاذية متوسطة	1.25-2.5	25 - 12.5
نفاذية مرتفعة	2.5 <	25 <

عادة ما يتضمن القطاع الأرض طبقات متتالية ومختلفة فى معدل نفاذيتها حتى أن نفس الطاع الأرض قد يتضمن طبقات مختلفة القوام والبناء الأرضى وبالتالى تختلف فى معدل نفاذيتها للماء كما هو موضح فى جدول (23) وقد يتراوح مدى هذا الإختلاف مابين منخفضة جدا الى مرتفعة . ولذلك من المتوقع تعرض المحصول لمشاكل الصرف وسوء التهوية إذا كانت قيم معدل النفاذية تقل تدريجيا من الطبقات السطحية الى الطبقات تحت السطحية .

ونظرا لوجود إرتباط قوى بين نفاذية الأرض للماء والقوام فإنه يمكن أيضا إعتبار أن الأراضى ذات القطاع الأرض متعدد الطبقات والتى يكون فية القوام أكثر خشونة فى الطبقات السطحية عنه فى الطبقات تحت السطحية يعتبر أفضل من حيث حالة الصرف والتهوية عن الأراضى ذات القطاع متعدد الطبقات والتى يكون فية القوام أقل خشونة فى الطبقات السطحية عن الطبقات تحت السطحية .

جدول (23) معدل نفاذية بعض الأراضى مختلفة القوام

مستوى نفاذية الأرض للماء	سم/ساعة	مم/ساعة
طينية	0.5 >	5 >
طميية طينية	0.5 – 1	10 – 5
طمية	2 - 1	20 - 10
طمييه رملية	3 - 2	30-20
رملية	3 <	30 <

بمعلومية معدل النفاذية يمكن تحديد الفترة المناسبة للرية بناءا على معدل تصرف نظام الرى وتوقع حجم وشكل المنطقة المبتله Wetting pattern بعد إضافة حجم معين من المياه خلال فترة معينة للرية تبعا لنوع الأرض والمحصول وطريقة الزراعة والرى .

5) مناوبات الرى أو الفترة ما بين الريات Frequency of irrigation - tw

عادة ما يتم تحديد مناوبة الرى أو ميعاد الرية التالية عند إستهلاك الماء الميسر الفعلى للمحصول RAW والذى يتغير من وقت لآخر خلال موسم النمو تبعا لتغير عمق الجذور . وعلى ذلك يمكن إعتبار أن قيم الماء الميسر الفعلى للمحصول خلال مراحل النمو المختلفة هى الحد الأقصى للإستهلاك المائى فى الرية الواحدة وأن المحتوى الرطوبى للأرض عند الرى هو الحد الأدنى للماء الميسر الفعلى للأرض ويمثل (θFC- θRAW) ، وأن المحتوى الرطوبى للأرض عند السعة الحقلية θFC هو الحد الأقصى للماء الميسر الفعلى للمحصول بعد الرى مباشرة .

هناك العديد من الوسائل المساعدة على تحديد متى يستهلك أو يستخدم أو يسحب المحصول أكبر قدر ممكن من الماء الميسر الفعلى خلال فترات النمو المختلفة والذى عنده يتم التوصية بالرى بمعدل إجمالى ماتم سحبة خلال الفترة من بعد الرية السابقة مباشرة وحتى التوصية بالرية التالية مضافا الية كل من الإحتياجات الغسيلية والفقد المتوقع أثناء الرى والإحتياجات الطارئة . وتعتمد جميع الوسائل المساعدة على تتبع التغير المتناقص فى المحتوى الرطوبى للأرض بدءا من الرية السابقة وحتى وصول المحتوى الرطوبى فى الأرض الى الحد الأدنى للماء الميسر الفعلى للمحصول (TAW-RAW) وتحديد وقت الوصول الى هذا المستوى والذى عند يجب التوصية بالرية التالية .
ومن هذه الوسائل المساعده يمكن حصر ما يلى :

- تقدير المحتوى الرطوبى للأرض بإستخدام الطريقة الوزنية Gravimetric method
- تقدير جهد الرطوبة الأرضية فى منطقة إنتشار الجذور بإستخدام التنشيوميتر Tensiometer
- تقدير مقاومة الأرض فى منطقة إنتشار الجذور للتوصيل الكهربى بإستخدام بإستخدام القوالب الجبسية Gypsium blocks
- تقدير المحتوى الرطوبى للأرض بإستخدام طريقة تشتت النيترونات Neutron Scattering Method
- يمكن إستخدام الخبرة الشخصية لتحديد الوقت المناسب للرى من خلال إستخدام الحس اليدوى فى الفحص الدورى للمحتوى الرطوبى لعينات من الأرض الممثلة لمنطقة إنتشار الجذور النشطة . كذلك يمكن من خلال الفحص الدورى للتغير فى الشكل الظاهرى لأجزاء المحصول المختلفة من أوراق وأفرع وثمار من حيث اللون وزاوية ميل الورقة لأسفل بالنسبة للفرع وإلتفاف الأوراق والذبول المؤقت وملمس الأوراق والثمار . وبالرغم من إستخدام هذه الطريقة بشكل واسع بواسطة الخبراء المتخصصين إلا أنها قد تسبب تأخر الرى وتعرض المحصول للإجهاد خاصة خلال مرحلة التزهير الأكثر حساسية للعطش أو لنقص الماء الميسر الفعلى للمحصول مما قد يؤثر سلبيا على المحصول ومن أهم العوامل التى تساعد على زيادة فرصة نجاح هذه الطريقة هو ضرورة الأخذ فى الإعتبار التغير السابق والمتوقع فى الظروف الجوية .

تقدير مناوبة الرى أو الفترة ما بين الريات frequency of irrigation - tw بإستخدام المعادلة التالية :

$$tw = (p \times TAW \times Zr) / ETc \quad \text{day}$$

بالإضافة الى ما سبق هناك العديد من الطرق المتطورة والمكلفة جدا وحاجتها الى مستويات عالية من الخبرة وأعمال الصيانة مما يؤدى الى صعوبة تنفيذ أغلبها على مستوى المزرعة ، ومنها ما يعتمد على إستخدام الخصائص الكهربية للأرض التى تتغير تبعا للمحتو الرطوبى للأرض فى الأرض وإستخدام الصور الجوية ومنها أيضا ما يعتمد على قياس التغير فى قطر الثمار والأفرع وحتى جذوع الأشجار تبعا لتغير الجهد الرطوبى داخل الأنسجة النباتية .

وبالرغم من الوسائل المتعددة السابقة إلا أنه يمكن إعتبار أن من أهم طرق تحديد مناوبة الرى أو ميعاد الرية التالية وأكثرها دقة تلك التى تعتمد بصفة أساسة على حساب عدد الأيام الصحيحة اللازمة لإستهلاك أكبر جزء ممكن من الماء الصالح لإستفاد المحصول فى منطقة إنتشار الجذور RAW بالمقارنة اليومية مع حاصل جمع البخرنتح الفعلى اليومى للمحصول Et_c خلال الأيام المتتالية بعد الرية السابقة مباشرة .

ويمكن تتبع المحتوى الرطوبى فى منطقة إنتشار الجذور بإستخدام المعادلة التالية بغرض تحديد ميعاد الرى :

$D_{r,i} = D_{r,i-1} + 1000\ (\theta_{FC} - \theta_{sub,i-1})\ \Delta Z_{r,i}$ Z_r increase each day up to the Max.

ويتم تحديد الرية التالية عندما يكون مجموع الإستهلاك أو السحب water deplation بواسطة المحصول من الماء الميسر الفعلى فى منطقة إنتشار الجذور النشطة أقرب ما يكون من القيمة القصوى للماء الميسر فى منطقة إنتشار الجذور ($D_{r,n} \approx RAW$) .

$Dr,n = \Sigma Etc,i\text{-}n \approx RAW$

طبقا للعلاقة السابقة يكون ميعاد الرية التالية هو اليوم n بعد الرية السابقة مباشرة وهكذا عند تحديد مواعيد الريات التالية خلال موسم النمو .

تحت ظروف الحقل يصعب مراعاة تنفيذ العلاقة السابقة خاصة فى الأراضى منخفضة القدرة على الإحتفاظ بالماء مثل الأراضى الرملية أو الخشنة القوام ومع نظم الرى ذات مناوبات الرى المتقاربة نسبيا حيث لم تحدد العلاقة السابقة الى أى مدى يمكن أن يكون إجمالى السحب $\Sigma Et_{c,i-n}$ أقل من المعدل الأقصى الصالح للإستهلاك بواسطة المحصول RAW ، فقد يكون الإستهلاك فى اليوم التالى أقل من الفرق بين $D_{r,n}$ ، RAW أى أن : $D_{r,n+1} \leq RAW$

وتحت هذه الظروف قد يكون الرى فى اليوم n+1 أفضل من الرى فى اليوم n. وقد يكون العكس أيضا صحيحا حيث يكون إستهلاك المياه فى اليوم التالى n+1 أكبر من الفرق بين $D_{r,n}$ و RAW أى أن : $D_{r,n+1} \geq RAW$ وتحت هذه الظروف قد يكون الرى فى اليوم n أفضل من الرى فى اليوم n+1 .

وفى الحقيقة فإن العلاقات السابقة لا تكفى لتحديد ميعاد الرية التالية بالدقة المناسبة لظروف الأرض والمحصول ونظام الرى ويصعب تحديد ما إذا كان أى من اليوم n أو n+1 بعد الرية السابقة مناسبا للرية التالية .

وبصفة عامة يفضل تحديد الى أى مدى يجب أن يكون إجمالى السحب المحدد للرية التالية أكبر أو أقل من الحد الأقصى للماء الميسر الفعلى للمحصول RAW فى الرية الواحدة . وليكون إجمالى السحب آمنا للمحصول مع أقل إجهاد ممكن يجب تعديل الحد الأقصى للماء الميسر الفعلى بنسبة محددة للزيادة أو الخفض يطلق عليها معامل السحب الآمن β من الماء الميسر الفعلى والذى يحدد حجم الرية الواحدة للمحصول RAW وتتراوح قيمتها ما بين 0.05–0.2 تبعا لتغير مناوبات الرى (جدول 24) كما هو موضح فى العلاقات التالية :

$$RAW \times (1+\beta) \leq D_{r,n} \geq RAW \times (1-\beta)$$

جدول (24) معامل السحب الآمن من الماء الميسر β بواسطة المحصول

β	مناوبات الرى t_w باليوم
0.20	3 ≥
0.15	7-4
0.10	15-7
0.05	15 ≤

تحديد مناوبات الرى خلال فترات طويلة نسبيا t_w

يمكن أيضا بإستخدام المعادلة التالية تقدير مناوبة الرى أو الفترة ما بين الريات t_w - frequency of irrigation من حاصل قسمة الحد الأقصى للرية RAW على متوسط البخرنتح الفعلى للمحصول خلال مراحل النمو المختلفة أو خلال فترات طويلة نسبيا (شهر أو أكثر) :

$$TAW = (\theta_{FC} - \theta_{WP}) \times Z_r \times 1000 \quad mm$$

$$RAW = p \times TAW \times Z_r \quad mm$$

$$t_w = RAW / Et_c \quad day$$

حيث :

$ET_{c,i}$	البخر نتح الفعلى للمحصول فى اليوم i بالممم/يوم .
t_w	متوسط الفترة ما بين الريات أو الفترة بين ريتين باليوم .
θ_{FC}	المحتوى الرطوبى للأرض عند السعة الحقلية بالمم .
θ_{WP}	المحتوى الرطوبى للأرض عند نقطة الذبول بالمم .
θ_i	المحتوى الرطوبى للأرض فى يوم معين بالمم .
$\theta_{,i-1}$	المحتوى الرطوبى للأرض فى اليوم السابق بالمم .
D_r	
$D_{r,i}$	الإستهلاك اليومى بواسطة المحصول من الماء الميسر الفعلى RAW فى منطقة إنتشار الجذور النشطة بالمم
$D_{r,i-1}$	المحتوى الرطوبى بمنطقة الجذور النشطة فى اليوم السابق بالمم .
$D_{r,1}$	الإستهلاك فى اليوم الأول بعد الرى بواسطة المحصول من الماء الميسر الفعلى RAW بالمم .
$D_{r,2}$	الإستهلاك الكلى حتى اليوم الثانى بعد الرية السابقة بواسطة المحصول من الماء الميسر الفعلى بالمم
$D_{r,n}$	الإستهلاك الكلى إجمالى السحب حتى اليوم n بعد الرية السابقة بواسطة المحصول من الماء الميسر الفعلى فى والذى عنده يجب بدء تنفيذ الرية التالية بالمم حيث يكون $D_{r,n} \approx RAW$.
Z_r	عمق الجذور النشطة بالمتر .
$Z_{r,i}$	عمق الجذور النشطة بالمتر فى اليوم رقم i خلال موسم النمو بالمتر .
Z_{rmax}	العمق الأقصى للجذور النشطة خلال موسم النمو بالمتر .
TAW	الماء الميسر الكلى فى منطقة إنتشار الجذور بالمم .
RAW	الماء الميسر الفعلى الصالح لإستفادة المحصول والذى يختلف حجمه تبعا لتغير عمق الجذور النشطة وخصائص طبقات الأرض المختلفة بالمم .
Ad	النسبة من الماء الميسر الكلى الصالح لإستفادة المحصول دون تعرضه لأية إجهاد وتختلف من محصول لآخر (Ad<1).
p	النسبة من الماء الميسر الكلى الصالح لإستفادة المحصول دون تعرضة لأية إجهاد وتختلف تبعا لنوع المحصول وقيمة البخرنتح المحصولى وتؤخذ من جدول (56) .
β	معامل السحب الآمن من الماء الميسر الفعلى والذى يحدد حجم الرية الواحدة للمحصول RAW وتتراوح قيمتها ما بين 0.05–0.2 تبعا لتغير مناوبات الرى الماء الميسر وتمثل نسبة من المقنن الفعلى لرى المحصول .

6) الإحتياجات الغسيلية Leaching requirements - LR

تعبر الإحتياجات الغسيلية عن كمية المياه التى يجب إضافتها ضمن المقنن المائى الفعلى للمحصول لمنع تراكم الأملاح فى منطقة إنتشار الجذور والمحافظة على مستوى معين من الأملاح فى الأرض بحيث لا يؤدى الى نقص غير متوقع فى المحصول . ويمكن بصفة عامة حساب قيمة الإحتياجات الغسيلية أو معامل الغسيل من المعادلات التالية :

$$LR = ECiw / ECdw$$
$$= ECiw / ECe,_0$$

تستخدم المعادلة التالية لتقدير الإحتياجات الغسيلية LR للمحاصيل متوسطة وعالية المقاومة للملوحة حيث تستخدم قيمة درجة التوصيل الكهربى لمستخلص عجينة الأرض المشبعة ECe_{10} والتى عندها يتوقع نقص فى المحصول يقدر بحوالى 10% من المحصول السابق التنبأ به :

$$LR = ECiw / (5 \times ECe,_{10} - ECiw)$$ Rhoads, 1972

وتستخدم المعادلة التالية لتقدير الإحتياجات الغسيلية للمحاصيل الحساسة وعالية الحساسية للملوحة بناءا على درجة التوصيل الكهربى لمياه الرى ECiw وقيمة درجة التوصيل الكهربى لمستخلص عجينة الأرض المشبعة ECe_{50} والتى عندها يتوقع نقص فى المحصول يقدر بحوالى 50% من المحصول السابق التنبأ به :

$$LR = ECiw / (5 \times ECe,_{50} - ECiw)$$ Bernstein, 1961

حيث :

ECiw تركيز الأملاح فى مياه الرى معبرا عنها بوحدات dS/m .

ECdw تركيز الأملاح فى مياه الصرف والتى يوصى بتوافرها والمحافظة عليها فى مياه الصرف .

ECe تركيز الأملاح فى مستخلص عجينة الأرض المشبعة بالماء معبرا عنها بوحدات dS/m .

$ECe,_0$ تركيز الأملاح فى مستخلص عجينة الأرض المشبعة بالماء مع عدم توقع أى نقص فى المحصول .

$ECe,_{10}$ تركيز الأملاح فى مستخلص عجينة الأرض المشبعة بالماء مع توقع نقص مقداره 10% فى المحصول .

ECe_{50} تركيز الأملاح فى مستخلص عجينة الأرض المشبعة بالماء مع توقع نقص مقداره 50% فى المحصول

$ECe,_{0, 10, 25,..}$ درجة تحمل المحصول للملوحة مع توقع نقص معين فى المحصول يتلائم مع نوعية المياه المتاحة ويتحصل عليها من جدول (21) .

6) معامل الغسيل Leaching fraction - Lf

يعبر معامل الغسيل Lf عن كمية المياه التى يجب إضافتها ضمن المقنن المائى للمحصول لمنع تراكم الأملاح فى منطقة إنتشار الجذور وبالتالى المحافظة على مستوى معين من الأملاح فى الأرض بحيث يسمح فقط بنقص معين ومحدد فى المحصول مثل 5 أو 10 أو 25% .

وعادة ما يستخدم معامل الغسيل فى المناطق التى لا يتوفر بها نوعيات جيدة من المياه وبالتالى قد يكون من الضرورى الإستفادة من المياه المتاحة ذات تركيز الأملاح المرتفع نسبيا فى أغراض الرى مع إمكانية إنتاج محصول أقل ، إلا أنه عادة ما يكون ذو عائد إقتصادى مجزى بناءا على تقدير إجمالى العائد من المحصول بالنسبة لإجمالى المصاريف cost / benefit ratio . ويمكن بصفة عامة حساب قيمة معامل الغسيل بإستخدام المعادلة التالية :

$$Lf = ECiw / ECe_{,0, 10, 25, ..}$$

مثال (27) : إذا كان تركيز الأملاح فى مياة الرى ECiw هو 2000 ميكروموز/سم-25°م ، إحسب الاحتياجات الغسيلية LR اللازمة عند زراعة بنجر السكر Sugar beet علما بأن تركيز الأملاح فى أعلى منطقه انتشار الجذور ECT كانت 10.6 ملليموز/ سم–25°م وفى أسفل هذه المنطقه ECB كانت 8.9 ملليموز/ سم - 25°م ومعامل تجانس توزيع الأملاح فى هذه المنطقه كانت 0.8 .

الحل : سوف نتناول فيما يلى طريقة إستخدام المعادلات السابقه لتقدير الإحتياجات الغسيليه LR :

طريقه (أ) : بأستخدام معادلة Rhoads لتقدير متوسط تركيز الأملاح فى منطقة إنتشار الجذور :

$$ECe = Ksd \times (ECeT + ECeB) / 2$$
$$= 0.8 \times (10.6 + 8.9) / 2$$
$$= 0.8 \times 9.75 = 7.8 \quad \text{mmohs/cm}$$
$$LR = ECiw / (5\ ECe - ECiw)$$
$$= 2 / (5 \times 7.8 - 2)$$
$$= 0.054$$
$$= 5.4 \quad \%$$

طريقه (ب) : بأستخدام معادلة Rhoads وبناءا على تركيز الأملاح فى مستخلص عجينة التربه المشبعة بالماء عند توقع نقص فى المحصول مقدارة 10% (جدول 21 لدرجة تحمل النباتات للملوحه) .
يمكن الحصول على قيمة EC'e من جدول (61) على أساس أنها تساوى قيمة ECe_{10} لبنجر السكر عند توقع نقص فى المحصول مقداره 10% وهى 8.7 مليموز/سم–25 °م .

$$LR = ECiw / (5\ ECe,_{10} - ECiw)$$
$$= 2 / (5 \times 8.7 - 2)$$
$$= 0.048$$
$$= 4.8 \quad \%$$

أى أنه يجب أضافة 5.4% حسب طريقه (أ) أو 4.8 % حسب الطريقه (ب) وتعبر عن الزيادة فى إحتياجات الرى اللازم إضافتها ضمن المقننات المائية للمحافظة على تركيز الأملاح فى منطقة إنتشار الجذور بحيث لا يزيد متوسط تركيزها عن 7.8 مليموز/سم - 25°م فى الطريقه (أ) أو 8.7 ملليموز/سم-25°م فى الطريقه (ب) .

تكملة حل مثال (27) :

طريقه (ج) : بأستخدام معادلة Bernstein وبناءا على تركيز الأملاح فى مستخلص عجينة التربه عند توقع نقص فى المحصول مقداره 50% وفى هذه الحالة لتقدير قيمة LR فان قيمة $EC_{e,50}$ التى عندها يقل المحصول بمقدار 50% لمحصول بنجر السكر هى 15 مليموز/سم - 25°م (جدول 36 لدرجة تحمل النباتات للملوحة) .

$$LR = EC_{iw} / EC_{e,50}$$
$$= 2 / 15$$
$$= 0.13$$
$$\text{or} = 13\ \%$$

أى أنه يجب أضافة 13% زيادة فى أحتياجات الرى لسد الاحتياجات الغسيلية والمحافظة على تركيز الاملاح فى عجينة التربة المشبعة فى مستوى 15 مليموز/سم - 25°م .

إنتاجية المحصول تحت ظروف الإجهاد الملحى Yield-salinity relationship

$$Ya/Ym = 1 - (ECe - ECe,_{threshold}) * (b/100)$$

$$\frac{Y_a}{Y_m} = 1 - (EC_e - EC_{e\,treshold}) \frac{b}{100}$$

إنتاجية المحصول تحت ظروف الإجهاد المائى Yield-moisture stress relationship

<u>فى حالة عدم تعرض النباتات لآية إجهاد مائى (Dr < RAW) :</u>

$$Ks = ETc,_{adj} / ETc$$

$$Ks = 1 - (b/100 * Ky) * (ECe - ECe,_{threshold})$$ IF Dr < RAW , ECe > ECe,threshold

<u>فى حالة عدم تعرض النباتات لإجهاد مائى (Dr > RAW) :</u>

$$Ks = [1 - (b/100\ Ky) (ECe,_{threshold}) * (TAW - Dr) / (TAW - RAW)$$

$$K_s = 1 - \frac{b}{K_y\ 100} (EC_e - EC_{e\,treshold})$$

حيث :

b	النقص فى المحصول لكل وحدة إرتفاع فى درجة التوصيل الكهربى ECe %/dS/m
Ky	معامل إستجابة المحصول للإجهاد Ya/Ym ويتراوح ما بين (0-1) وتعبر أيضا عن ثابت العلاقة بين النقص فى المحصول والنقص فى البخرنتح المحصولى
ECe	متوسط الملوحة فى منطقة إنتشار الجذور معبرا عنه بدرجة التوصيل الكهربى ECe dS/m
ECiw	درجة ملوحة مياه الرى معبرا عنها بدرجة التوصيل الكهربى dS/m
Ya	المحصول الفعلى .
Ym	المحصول الأعظم المتوقع عندما تكون ECe أقل من ECe,threshold (ECe < ECe,threshold)
ETcadj	معدل البخرنتح الفعلى للمحصول بعد التعديل بناءا على قيمة معامل الإجهاد mm/day
RAW	حجم الماء الصالح للإمتصاص بواسطة المحصول من منطقة الجذور النشطة mm
TAW	الحجم الكلى للماء الميسر فى منطقة الإمتصاص النشط للجذور mm
ECe,threshold	درجة تحمل المحصول لملوحة الأرض معبرا عنها بدرجة التوصيل الكهربى ECe dS/m

7) إحتياجات الإستصلاح Reclaimation requirements - RR

عبر إحتياجات الإستصلاح عن كمية مياه الرى التى يجب إضافتها الى الأراضى الملحيه قبل الإستزراع بغرض خفض مستوى الأملاح بها الى المستوى المناسب والذى يتحمله المحصول المزمع زراعته .

يمكن حساب إحتياجات الإستصلاح RR عند إضافة المياه من خلال نظام الرى بالغمر بإستخدام المعادله التاليه :

$$DRR = 0.3 \times ECeB \times Ds / ECeA$$

ويمكن حساب إحتياجات الإستصلاح RR عند إضافة المياه من خلال نظام الرى بالرش بإستخدام المعادله التاليه :

$$DRR = 0.1 \times ECeB \times Ds / ECeA$$

حيث أن :

DRR	كمية المياه اللازمه للإستصلاح (معبرا عنها بالمم أو بالسم أو بالم)
Ds	عمق قطاع التربه المراد خفض ملوحته بغرض إستصلاحه (معبرا عنه بنفس وحدات DRR أو بالمم أو ..)
ECeB	درجة ملوحة التربه قبل الإستصلاح (معبرا عنها بوحدات dS/m أو mmohs/cm-25°C أو meq/l أو ppm
ECeA	درجة ملوحة التربه بعد الإستصلاح معبرا عنها بنفس الوحدات المستخدمه فى التعبير عن ECeB

8) كفاءة نظام الرى Irrigation efficiency - Ei

تعبر كفاءة إضافة المياه من خلال نظام الرى Ei عن مدى قدرة هذا النظام على توصيل وإضافة وتوزيع المياه بطريقة متجانسة فى منطقة إنتشار الجذور النشطة للمحصول . وتختلف قدرة التنفيذ من نظام رى الى آخر ويتوقف ذلك على :

- دقة تصميم نظام الرى ومدى ملائمته لخصائص الأرض الطبيعية خاصة الشكل الظاهرى لسطح الأرض ومعامل النفاذية للماء وقدرة الأرض على الإحتفاظ بالماء .
- دقة تصميم نظام الرى ومدى ملائمتة لخصائص المحصول خاصة ما يتعلق بكل من الكثافة النباتية والإحتياجات المائية القصوى للمحصول فى الرية الواحدة ومدى إمكانية تعرض المجموع الخضرى أو جذوع الأشجار للمياه بشكل مباشر .
- سهولة ودقة تشغيل نظام الرى .
- سهولة إجراء عمليات الصيانة لتقليل فرصة السريان والتسرب غير المرغوب .
- إختيار الوقت المناسب للرى حيث تقل كفاءة بعض نظم الرى فى درجات الحرارة المرتفعة (وقت الظهيرة) نتيجة لزيادة البخر كما هو الحال فى نظم الرى بالغمر أو تحت ظروف الرياح الشديدة كما هو الحال فى نظم الرى بالرش
- مدى ملائمة معدلات الرى المضافة لإحتياجات المحصول خلال مراحل النمو المختلفة .
- طول فترة الرى والتى تتحدد بناءا على معدل تصرف نظام الرى والمقنن المائى للمحصول .

عادة ما يتم تقدير كفاءة إضافة مياه الرى Eiعمليا تحت ظروف الحقل من خلال تقدير حجم المياه التى تدخل نظام الرى θ_{Winput} وتقدير حجم المياه التى تخرج منه $\theta_{Woutput}$ لتضاف وتوزع فى منطقة إنتشار الجذور – وتحسب كفاءة إضافة مياه الرى بإستخدام المعادلة التالية :

$$E_i = \theta_{Woutput} / \theta_{Winput}$$

حيث :

θ_{Winput} حجم المياه التى تدخل نظام الرى

$\theta_{Woutput}$ حجم المياه التى تخرج من نظام الرى

وبالرغم من صعوبة وجود قيم ثابته لكفاءة إضافة وتوزيع المياه من خلال نظام الرى – إلا انه يمكن الإستفاد من القيم الموضحة فى جدول (26) والشائع إستخدامها عند تقدير المقننات المائية للمحصول وذلك وفى حالة عدم توافر القيم الفعلية لكفاءة إضافة المياه المقدرة تحت ظروف المزرعة :

وبصفة عامة يفضل تكرار تقدير قيمة E_i كل فترة حيث أن هناك العديد من العوامل التى تؤثر على قيمتها قد تتغير من فترة لأخرى على مستوى المرزعة .

يؤدى إنخفاض كفاءة نظام الرى بصفة عامة الى العديد من المشاكل أهمها :

- إهدار قدر كبير من المياه التى كانت تفقد سواء بالبخر أو الرشح العميق أو الجريان السطحى أو ...
- إنخفاض كفاءة إستخدام الأسمدة المتاحة وفقد جزء كبير منها ذائبا فى المياه المفقودة .
- عدم إنتظام نمو النباتات نتيجة للأضرار الناشئة عن زيادة المياه فى مساحات وإنخفاضها فى مساحات أخرى
- إنخفاض عائد إستخدام المياه سواء كان بيولوجيا من خلال نقص المحصول أو إقتصاديا من خلال خفض العائد
- تعرض المحصول لمشاكل سوء التهوية نتيجة لزيادة معدلات الرى بما لا يتناسب مع معدل نفاذيتها للماء .
- تعرض المحصول لمشاكل مرضية خاصة أعفان الجذور فى المساحات التى تتعرض لزيادة معدلات الرى وتبقعات الأوراق وأعفان الثمار فى المساحات التى تتعرض لزيادة الرطوبة حول الأجزاء العلوية للمحصول .
- تعرض المحصول لمشاكل الملوحة فى المساحات التى تتعرض لنقص معدلات الرى نتيجة لعدم إنتظام توزيع مياه الرى بما تتضمنة من إحتياجات غسيلية .
- إنتشار الحشائش غير الإقتصادية خاصة فى المساحات غير المنزرعة التى تتعرض للإبتلال أو تسرب المياه .
- تعرض المحصول لمشاكل إرتفاع مستوى الماء الأرضى .
- زيادة فرصة تعرض الماء الجوفى للتلوث بالأسمدة والمبيدات .
- إسراف قدر كبير من الطاقة والعمالة مع المياه والأسمدة والمبيدات المهدرة .

جدول (26) كفاءة إضافة مياه الرى من خلال نظم الرى المختلفة

نظام الرى	Ei %
الرى السطحى	0.7-0.4
الرى فى أحواض (متسعة طولا وعرضا)	0.9-0.8
الرى فى شرائح (طويلة وضيقة نسبيا)	0.85-0.7
الرى فى خطوط طويلة	0.75-0.6
الرى بالرش	0.8-0.7
الرى بالرش المتنقل يدويا	0.75-0.65
الرى بمسدس الرش ذو الضغط العالى	0.7-0.6
الرى بالرش المحورى	0.9-0.75
الرى بالرش الثابت	0.8-0.7
الرى بالتنقيط	0.9
بالنقاطات المتباعدة نسبيا ≤ 30سم	0.95-0.85
بالنقاطات المتقاربة نسبيا < 30سم	0.85-0.75

9) الإحتياجات المائية الطارئة للمحصول Miscellaneous water requirements - Em

قد يلزم تعديل المقنن المائى للمحصول WRc عدة مرات خلال موسم النمو سواء بالزيادة أو بالنقص لمواجهة الظروف الطارئة أو غير المتوقعة التى قد تتعرض لها النباتات خلال موسم النمو وهو ما يعرف بالإحتياجات المائية الطارئة للمحصول Miscellaneous water requirements - Em ويجب أن تؤخذ فى الإعتبار عند تقدير المقنن المائى الفعلى للمحصول .

فقد يلزم التوصية بخفض المقنن المائى للمحصول عند تعرضه للأصابة بإعفان الجذور أو قد يلزم التوصية بزيادة المقنن المائى بغرض حماية المحصول من الصقيع Frost protection خاصة فى حالة المحاصيل الحساسة لإنخفاض درجة الحرارة الى أقل من صفر درجة مئوية (الصقيع) حيث يؤدى ذلك الى تجمد الماء داخل الأنسجة النباتية وبالتالى زيادة حجمه مما يؤدى الى تهتك الجدر والأغشية الخلوية وبالتالى موت الأجزاء النباتية التى تعرضت لهذا الصقيع) ومن أكثر النباتات حساسية لأضرار الصقيع تلك التى يزداد فيها درجة نعومة ملمس أسطح أوراقها مثل الموز والبطاطس الطماطم والعكس فى حالة النباتات التى تتميز بخشونة ملمس أسطح أوراقها .

وقد يلزم أيضا التوصية بزيادة المقنن المائى بغرض حماية المحصول من الرياح الحارة خاصة المحملة بالأتربة – بغرض تبريد النباتات وتثبيت الأتربة وتقليل أضرارها الميكانيكية وبالتالى وقايتها من أضرار الإرتفاع غير الملائم فى درجة حرارة الجو المحيط بها والذى يؤدى فى أغلب الأحيان الى إحتراق أطراف الأوراق خاصة تلك المعرضة لفترات طويلة لدرجات الحرارة المرتفعة أو لأشعة الشمس المباشرة وعادة ما تتم عملية التبريد عن طريق زيادة نسبة الرطوبة المحيطة بالنباتات عن طريق نظام رى عالى الضغط لتجزىء الماء (Mist) .

كذلك قد تحتاج النباتات الى كميات إضافية طارئة من مياه الرى لتغطية الإحتياجات الغسيلية العارضة التى قد تلزم خلال موسم النمو لغسيل الأرض أو النموات الخضرية فى حالة الزيادة الخاطئة فى التسميد أو إضافة المبيدات أو إستخدام أى منهما فى أوقات غير ملائمة أو أضيفت بطريقة غير ملائمة .

10) مقنن الرى الفعلى Actual irrigation requirement - Iw

بعد تحديد مناوبة الرى أو الفترة ما بين ريتين متتاليتين tw وبمعلومية البخرنتح الفعلى اليومى للمحصول ETc بمعلومية كفاءة نظام الرى على توصيل الإحتياجات المائية للنباتات (Ei) بالإضافة الى نوعية مياه الرى متمثلة فى درجة ملوحة مياه الرى ECiw والتى تستخدم مع درجة تحمل النباتات للملوحة ECe فى تقدير الإحتياجات الغسيلية (LR) أو معامل الغسيل Lf يمكن حساب معدل المياه التى يجب إضافتها فى الرية التالية Iw . هذا على فرض أن المحصول ينمو طبيعيا ولم يتعرض لأية مشاكل بيولوجية (إصابات مرضية أو حشرية أو أكاروسية أو نيماتودية أو ...) ، ولم يتعرض كذلك لأية ظروف نمو غير طبيعية مثل الصقيع أو الرياح المحملة بالأتربة أو معاملات كيميائية مثل رش كاسرات السكون أو الهورمونات النباتية أو مضادات النتح أو ... قد يلزم التوصية بالتعامل معها من خلال زيادة أو خفض معدل الرية المحسوب سابقا بنسبة معينة يطلق عليها الإحتياجات الطارئة Em وفى هذه الحالة يتم حساب معدل الرية الواحدة Iw بإستخدام المعادلة التالية :

$$I = WRi = Dr,n \times (1+LR) \times (1+Ei) \times (1+Em) \quad \text{mm/Irrigation}$$

حيث :

Dr,n	إجمالى الإستهلاك حتى اليوم n بعد الرية السابقة بواسطة المحصول من الماء الميسر الفعلى RAW والذى عنده يجب بدء تنفيذ الرية التالية ويمثل أيضا معدل الرية التالية حيث يكون Dr,n ≈ RAW .
I	معدل الرية الواحدة بالمم/رية متضمنا زيادة مقننه فى كل من LR ، Ei ، Em .
LR	الإحتياجات الغسيلية وتؤخذ كنسبة من الإستهلاك المائى للمحصول فى الفترة ما بين ريتين Dr,n .
Ei	كفاءة نظام الرى وتؤخذ كنسبة من الإستهلاك المائى للمحصول فى الفترة ما بين ريتين Dr,n .
Em	الإحتياجات الطارئة وتؤخذ كنسبة من الإستهلاك المائى للمحصول فى الفترة ما بين ريتين Dr,n .

جدول (21) القيم القصوى لعمق الجذور Ze ومعامل نسبة الماء الصالح للإستفادة بواسطة المحصول *p*

Crop	Maximum Root Depth[1] (Zr) in m	Depletion Fraction[2] (p) ETc ≅ 5 mm/day
a. Small Vegetables		
Broccoli	0.4-0.6	0.45
Brussel Sprouts	0.4-0.6	0.45
Cabbage	0.5-0.8	0.45
Carrots	0.5-1.0	0.35
Cauliflower	0.4-0.7	0.45
Celery	0.3-0.5	0.2
Garlic	0.3-0.5	0.3
Lettuce	0.3-0.5	0.3
Onions - dry	0.3-0.6	0.30
Onions - green	0.3-0.6	0.30
Onions - seed	0.3-0.6	0.35
Spinach	0.3-0.5	0.20
Radishes	0.3-0.5	0.30
b. Vegetables - Solarium Family *(Solanaceae)*		
Egg Plant	0.7-1.2	0.45
Sweet Peppers (bell)	0.5-1.0	0.30
Tomato	0.7-1.5	0.40

P adj = p (Tableulated) + 0.04 (5 – ETc) If ETc > 5 mm/day

Crop	Maximum Root Depth[1] (Zr) in m	Depletion Fraction[2] (p) ETc ≅ 5 mm/day
c. Vegetables - Cucumber Family (*Cucurbitaceae*)		
Cantaloupe	0.9-1.5	0.45
Cucumber - Fresh Market	0.7-1.2	0.50
Cucumber - Machine harvest	0.7-1.2	0.50
Pumpkin, Winter Squash	1.0-1.5	0.35
Squash, Zucchini	0.6-1.0	0.50
Sweet Melons	0.8-1.5	0.40
Watermelon	0.8-1.5	0.40
d. Roots and Tubers		
Beets, table	0.6-1.0	0.50
Cassava - year 1	0.5-0.8	0.35
Cassava - year 2	0.7-1.0	0.40
Parsnip	0.5-1.0	0.40
Potato	0.4-0.6	0.35
Sweet Potato	1.0-1.5	0.65
Turnip (and Rutabaga)	0.5-1.0	0.50
Sugar Beet	0.7-1.2	0.55[3]

Crop	Maximum Root Depth[1] (Zr) in m	Depletion Fraction[2] (p) ETc ≅ 5 mm/day
e. Legumes *(Leguminosae*		
Beans, green	0.5-0.7	0.45
Beans, dry and Pulses	0.6-0.9	0.45
Beans, lima, large vines	0.8-1.2	0.45
Chick pea	0.6-1.0	0.50
Fababean (broad bean) - Fresh	0.5-0.7	0.45
Fababean (broad bean) - Dry/Seed	0.5-0.7	0.45
Grabanzo	0.6-1.0	0.45
Green Gram and Cowpeas	0.6-1.0	0.45
Groundnut (Peanut)	0.5-1.0	0.50
Lentil	0.6-0.8	0.50
Peas - Fresh	0.6-1.0	0.35
Peas - Dry/Seed	0.6-1.0	0.40
Soybeans	0.6-1.3	0.50
f. Perennial Vegetables (with winter dormancy and initially bare or mulched soil)		
Artichokes	0.6-0.9	0.45
Asparagus	1.2-1.8	0.45
Mint	0.4-0.8	0.40
Strawberries	0.2-0.3	0.20

Crop	Maximum Root Depth[1] (Zr) in m	Depletion Fraction[2] (p) ETc ≅ 5 mm/day
g. Fibre Crops		
Cotton	1.0-1.7	0.65
Flax	1.0-1.5	0.50
Sisal	0.5-1.0	0.80
h. Oil Crops		
Castorbean *(Ricinus)*	1.0-2.0	0.50
Rapeseed, Canola	1.0-1.5	0.60
Safflower	1.0-2.0	0.60
Sesame	1.0-1.5	0.60
Sunflower	0.8-1.5	0.45
i. Cereals		
Barley	1.0-1.5	0.55
Oats	1.0-1.5	0.55
Spring Wheat	1.0-1.5	0.55
Winter Wheat	1.5-1.8	0.55
Maize, Field (grain) *(field corn)*	1.0-1.7	0.55
Maize, Sweet *(sweet corn)*	0.8-1.2	0.50
Millet	1.0-2.0	0.55
Sorghum - grain	1.0-2.0	0.55
Sorghum - sweet	1.0-2.0	0.50
Rice	0.5-1.0	0.20[4]

Crop	Maximum Root Depth[1] (Zr) in m	Depletion Fraction[2] (p) ETc ≅ 5 mm/day
j. Forages		
Alfalfa - for hay	1.0-2.0	0.55
Alfalfa - for seed	1.0-3.0	0.60
Bermuda - for hay	1.0-1.5	0.55
Bermuda - Spring crop for seed	1.0-1.5	0.60
Clover hay, Berseem	0.6-0.9	0.50
Rye Grass hay	0.6-1.0	0.60
Sudan Grass hay (annual)	1.0-1.5	0.55
Turf grass - cool season [5]	0.5-1.0	0.40
Turf grass - warm season [5]	0.5-1.0	0.50
k. Sugar Cane	1.2-2.0	0.65
l. Tropical Fruits and Trees		
Banana - 1st year	0.5-0.9	0.35
Banana - 2nd year	0.5-0.9	0.35
Cacao	0.7-1.0	0.3
Coffee	0.9-1.5	0.4
Date Palms	1.5-2.5	0.5
Palm Trees	0.7-1.1	0.65
Pineapple	0.3-0.6	0.5
Tea - non-shaded	0.9-1.5	0.40
Tea - shaded	0.9-1.5	0.45

Crop	Maximum Root Depth[1] (Zr) in m	Depletion Fraction[2] (p) ETc ≅ 5 mm/day
m. Grapes and Berries		
Berries (bushes)	0.6-1.2	0.50
Grapes - Table or Raisin	1.0-2.0	0.35
Grapes - Wine	1.0-2.0	0.45
Hops	1.0-1.2	0.50
n. Fruit Trees		
Almonds	1.0-2.0	0.40
Apples, Cherries, Pears	1.0-2.0	0.50
Apricots, Peaches, Stone Fruit	1.0-2.0	0.50
Avocado	0.5-1.0	0.70
Citrus - 70% canopy	1.2-1.5	0.50
Citrus - 50% canopy	1.1-1.5	0.50
Citrus - 20% canopy	0.8-1.1	0.50
Conifer Trees	1.0-1.5	0.70
Kiwi	0.7-1.3	0.35
Olives (40 to 60% ground coverage by canopy)	1.2-1.7	0.65
Pistachios	1.0-1.5	0.40
Walnut Orchard	1.7-2.4	0.50

حيث :

ETc,i	البخر نتح الفعلى للمحصول فى اليوم i بالممم/يوم .
tw	الفترة ما بين ريتين متتاليتين باليوم وعادة ما تكون متغيرة خلال موسم النمو .
θFC	المحتوى الرطوبى للأرض عند السعة الحقلية بالمم .
θPWP	المحتوى الرطوبى للأرض عند معامل الذبول الدائم بالمم .
θi	المحتوى الرطوبى للأرض فى يوم معين i بالمم .
$\theta,i-1$	المحتوى الرطوبى للأرض فى اليوم السابق بالمم .
Dr,i	الإستهلاك من الماء الميسر الفعلى فى اليوم i بالمم
$Dr,i-1$	الإستهلاك من الماء الميسر الفعلى فى اليوم السابق i-1 بالمم .
$Dr,1$	الإستهلاك من الماء الميسر الفعلى فى اليوم الأول بعد الرية السابقة بالمم .
$Dr,2$	الإستهلاك من الماء الميسر الفعلى فى اليوم الثانى بعد الرية السابقة بالمم .
Dr,n	إجمالى الإستهلاك التراكمى من الماء الميسر الفعلى خلال عدد من الأيام السابقة n بالمم والذى عنده يجب بدء تنفيذ الرية التالية حيث يكون $Dr,n \approx RAW$.
Zr	عمق الجذور النشطة بالمتر وهى قيمة متزايدة خلال موسم النمو لتصل الى Zrmax .
Zr,i	عمق الجذور النشطة فى يوم التقدير i بالمتر .
Zrmax	العمق الأقصى للجذور النشطة خلال موسم النمو بالمتر .
TAW	الماء الميسر الكلى فى منطقة إنتشار الجذور بالمم .
RAW	الماء الميسر الفعلى الصالح لإستفادة المحصول والذى يختلف حجمه تبعا لتغير عمق الجذور النشطة وخصائص طبقات الأرض المختلفة بالمم .
Ad	النسبة من الماء الميسر الصالح لإستفادة المحصول وتختلف من محصول لأخر .
p	النسبة من الماء الميسر الصالح لإستفادة المحصول تحت مستويات مختلفة من الملوحة فى بيئة النمو ويمكن تعديلها تبعا لتغير مرحلة النمو وعادة ما تكون $p<1$.
β	معامل الإستهلاك الآمن من الماء الميسر الفعلى والذى يحدد حجم الرية الواحدة للمحصول RAW وتتراوح قيمتها ما بين 0.05–0.2 تبعا لتغير مناوبات الرى الماء الميسر وتمثل نسبة من المقنن الفعلى لرى المحصول .
$ECiw$	تركيز الأملاع فى مياه الرى معبرا عنها بوحدات dS/m .
$ECdw$	تركيز الأملاع فى مياه الصرف والتى يوصى بتوافرها والمحافظة عليها فى مياه الصرف بوحدات dS/m .
ECe	تركيز الأملاع فى مستخلص عجينة الأرض المشبعة بالماء بوحدات dS/m .
$ECe0$	تركيز الأملاع فى مستخلص عجينة الأرض المشبعة بالماء مع عدم توقع أى نقص فى المحصول بوحدات dS/m .
$ECe10$	تركيز الأملاع فى مستخلص عجينة الأرض المشبعة بالماء مع توقع نقص مقداره 10% فى المحصول بوحدات dS/m .
$ECe50$	تركيز الأملاع فى مستخلص عجينة الأرض المشبعة بالماء مع توقع نقص مقداره 50% فى المحصول بوحدات dS/m .
$ECe,0,10,25,..$	درجة تحمل المحصول للملوحة بوحدات dS/m مع توقع نقص معين فى المحصول يتلائم مع نوعية المياه المتاحة ويتحصل عليها من جدول (21) .

حيث :

Ks	معامل الإجهاد المائى الذى يتعرض له المحصول نتيجة لنقص المحتوى الرطوبى للأرض
Dr	المحتوى المائى الفعلى للأرض mm
b	النقص فى المحصول لكل وحدة إرتفاع فى درجة التوصيل الكهربى لمستخلص عجينة الأرض المشبعة
Ky	معامل إستجابة المحصول للإجهاد ويتراوح ما بين (1-0) وتعبر أيضا عن ثابت العلاقة ما بين النقص فى المحصول والنقص فى البخرنتح الحقيقى
ECe	درجة التوصيل الكهربى الفعلية لمستخلص عجينة الأرض المشبعة dS/m
ECiw	درجة ملوحة مياه الرى معبرا عنها بدرجة التوصيل الكهربى dS/m
Ya	المحصول الفعلى أو الحقيقى
Ym	المحصول الأعظم والذى يمكن التوصل اليه بشرط ECe < ECe threshold
ETcadj	معدل البخرنتح الفعلى للمحصول بعد التعديل بناءا على قيمة معامل الإجهاد mm/day
RAW	حجم الماء الصالح للإمتصاص بواسطة المحصول من منطقة الجذور النشطة mm
TAW	الحجم الكلى للماء الميسر فى منطقة الإمتصاص النشط للجذور mm
ECethreshold	درجة تحمل المحصول لملوحة محلول الأرض معبرا عنها بدرجة التوصيل الكهربى لمستخلص عجينة الأرض المشبعة معبر عنها dS/m ويتوقع نقص المحصول إذا كانت ECe < ECethreshold
Ad	النسبة من الماء الميسر الكلى الصالح لإستفادة المحصول دون تعرضه لأية إجهاد وتختلف من محصول لآخر (Ad<1).
p	النسبة من الماء الميسر الكلى الصالح لإستفادة المحصول دون تعرضة لأية إجهاد وتختلف تبعا لنوع المحصول وقيمة البخرنتح المحصولى وتؤخذ من جدول (56) وتتراوح قيمتها ما بين 0.3-0.7
*p*adj	النسبة من الماء الميسر الكلى الصالح لإستفادة المحصول المعدلة عندما تكون قيمة البخرنتح المحصولى ETc أكبر من 5 مم/يوم .

حيث :

I	معدل الرية الواحدة بالممر/رية متضمنا زيادة مقننه فى كل من LR ، Ei ، Em .
LR	الإحتياجات الغسيلية وتؤخذ كنسبة من الإستهلاك المائى للمحصول فى الفترة ما بين ريتين Dr,n .
Ei	كفاءة نظام الرى وتؤخذ كنسبة من الإستهلاك المائى للمحصول فى الفترة ما بين ريتين Dr,n .
Em	الإحتياجات الطارئة وتؤخذ كنسبة من الإستهلاك المائى للمحصول فى الفترة ما بين ريتين Dr,n .

Es	the actual evaporation rate [mm d-1]
De	the depletion from the surface layer [mm]
REW	the readily evaporable water in the surface layer [mm]
TEW	the maximum total depth of water that can be evaporated from the surface soil layer
t1	the length of time required to complete stage 1 drying (t1 = REW/Eso)
Eso	the potential rate of evaporation [mm d-1]
ETo	the the mean ETo during the initial period [mm d-1]
	represents increased evaporation potential due to low albedo of wet soil and the possibility of heat stored in the surface layer during previous dry periods.
Iw	the infiltration depth from irrigation for the part of the surface that is wetted [mm]
fw	the fraction of surfaced wetted by irrigation or rain [0 - 1], (fw are given in Table 20 of Chapter 7)
KCini(fw=1)	the value for KCini for fw = 1
❑FC	soil water content at field capacity [m3 m-3],
❑WP	soil water content at wilting point [m3 m-3], Typical values for ❑FC and ❑WP are given in Table 19 of Chapter 7.
Ze	the depth of the soil surface soil layer that is subject to drying by way of evaporation [0.10 to 0.15 m]. If unknown, a value of Ze = 0.15 m is recommended. Typical values for θFC and θWP are given in Table 19 of Chapter 7.
Lini	the length of the initial period [days]
nw	the number of wetting events during the initial growth period.
Pmean	the average wetting depth or the depth of infiltrated water per wetting event [mm],
Pn	the depth of infiltrated precipitation occurring during the initial period, Pn ≤ TEW and Iw ≤ TEW
Wini	the equivalent depth of water [mm] in the evaporation layer (of thickness Ze) at the time of planting (beginning of the initial period). Wini has a maximum value of TEW when the initial soil water content of the evaporation layer is at field capacity.
TEWcor	is the corrected TEW according to Pmean.
REWcor	is the corrected REW according to Pmean.
min()	a function to select the minimum value of those in braces that are separated by the comma
KCmid(Tab)	value for KC mid taken from table 12,
U2	mean value for daily wind speed at 2 m height over grass during the mid-season growth stage [m/s], for 1 m/s £ U2 £ 6 m/s
RHmin	mean value for daily minimum relative humidity during the late season stage [%], for 20% £ RHmin £ 80%,
h	mean plant height during the late season stage [m], for 0.1 m £ h £ 10 m.

1 - fc	average exposed soil fraction not covered (or shaded) by vegetation [0.01 - 1],
fw	average fraction of soil surface wetted by irrigation or precipitation [0.01 - 1].
min( )	function selects the lowest value of the '1 - fc' and 'fw' values. Figure 39 illustrates the relation of few to (1 - fc) and fw.
Kr	dimensionless evaporation reduction coefficient dependent on the soil water depletion (cumulative depth of evaporation) from the topsoil layer (Kr = 1 when De, i-1 £ REW),
De, i-1	cumulative depth of evaporation (depletion) from the soil surface layer at the end of day i-1 (the previous day) [mm],
TEW	maximum cumulative depth of evaporation (depletion) from the soil surface layer when Kr=0 (TEW = total evaporable water) [mm],
REW	cumulative depth of evaporation (depletion) at the end of stage 1 (REW = readily evaporable water) [mm].
fc	he effective fraction of soil surface covered by vegetation [0 - 0.99],
Kcb	the value for the basal crop coefficient for the particular day or period,
KC min	the minimum KC for dry bare soil with no ground cover [» 0.15 - 0.20],
Kc max	the maximum KV immediately following wetting (Equation 72),
h	mean plant height [m].
fc	the effective fraction of soil surface covered by vegetation [0 - 0.99],
KCb	the value for the basal crop coefficient for the particular day or period,
KCmin	the minimum KC for dry bare soil with no ground cover [» 0.15 - 0.20],
KCmax	the maximum KC immediately following wetting (Equation 72),
h	mean plant height [m].
De,i-1	cumulative depth of evaporation following complete wetting from the exposed and wetted fraction of the topsoil at the end of day i-1 [mm],
De,i	cumulative depth of evaporation (depletion) following complete wetting at the end of day i [mm],
Pi	precipitation on day i [mm],
ROi	precipitation run off from the soil surface on day i [mm],
Ii	irrigation depth on day i that infiltrates the soil [mm],
Ei	evaporation on day i (i.e., Ei = Ke ETo) [mm],
Tew, i	depth of transpiration from the exposed and wetted fraction of the soil surface layer on day i [mm],
DPe,i	deep percolation loss from the topsoil layer on day i if soil water content exceeds field capacity [mm], fw fraction of soil surface wetted by irrigation [0.01-1],
few	exposed and wetted soil fraction [0.01-1]
Ks	describes the effect of water stress on crop transpiration, Ks < 1. Where there is no soil water stress
Ks	is a dimensionless transpiration reduction factor dependent on available soil water [0 - 1],

Dr or Rd	root zone depletion [mm],
TAW	total available soil water in the root zone [mm],
RAW	the readily available soil water in the root zone [mm],
p	average fraction of Total Available Soil Water (TAW) that can be depleted from the root zone before moisture stress (reduction in ET) occurs [0-1]
TAW	the total available soil water in the root zone [mm],
Zr	the rooting depth [m].
Dr,i	root zone depletion at the end of day i [mm],
Dr,i-1	water content in the root zone at the end of the previous day, i-1 [mm],
Pi	precipitation on day i [mm],
ROi	runoff from the soil surface on day i [mm],
Ii	net irrigation depth on day i that infiltrates the soil [mm],
CRi	capillary rise from the groundwater table on day i [mm],
ETc,i	crop evapotranspiration on day i [mm],
DPi	water loss out of the root zone by deep percolation on day i [mm]
θ,i-1	is the average soil water content for the effective root zone Following heavy rain or irrigation, the user can assume that the root zone is near field capacity, i.e., Dr,i-1 $\cong$ 0.

Jensen, M.E, R.D. Burman, and R.G. Allen (1989). Evapotranspiration and irrigation water requirements. Am. Soc. Civil Engineers. (ASCE Manual and reports on Engineering practice, No. 70. FAO, 56

Most commercially available tensiometer gauges read in centibars (cb) or kiloPascals (kPa) which are equivalent (ie. 1 cb = 1 kPa). A reading of 0 cb indicates saturated conditions.
While some tensiometers can gauge soil suction up to 100 cb, soil suction in excess of 80 cb usually causes the film of water covering the ceramic tip to break, allowing air to enter the tube.
The gauge reading then drops sharply even though the soil is very dry. When this occurs, the soil must be moistened and the tensiometer refilled before it can function properly.

Generalized Interpretations of Tensiometer Gauge Readings

Readings	Interpretation
0 to 5 cb	Nearly saturated soil : Often occurs for one or two days following a rain or irrigation. Plant roots may suffer from lack of oxygen if readings in this range persist .
5 to 20 cb	Field capacity : Discontinue irrigation in this range to prevent waste of water due to drainage and to prevent leaching of nutrients below the root zone .
20 to 60 cb	Range at which to start irrigation: Most field plants having root systems 18 inches (45 cm) deep or more will not suffer until readings reach the 40 to 50 cb range. Starting irrigations In this range insure maintaining readily available soil water at all times. It also provides a safety factor to allow for practical problems such as delayed irrigation, or inability to obtain uniform distribution of water .
> 70 cb	Stress range : Deeper rooted crops in medium textured soils may not show signs of stress before readings reach 70 cb. At a reading of 70 cb readily available water is below that required for maximum growth. As well, the seal between the ceramic cup and the soil may become broken, especially in coarse soils .

Cb centibars
kPa kiloPascals 1 cb = 1 kPa

بعض الخصائص المائية للأراضى

نوع الأرض		خصائص الأرض المائية			معالم البخر (mm)	
قوام الأرض تبعا		السعة لحقلية	معامل الذبول	الماء الميسر	كمية المياه التى يمكن أن تفقد بالبخر	
للتقسيم الأمريكى		q FC	q WP	q AW	stage 1	stages 1+2
		m^3/m^3	m^3/m^3	m^3/m^3	REW	TEW (Z^e = 0.10 m)
Sand	S	0.12	0.045	0.08	4.5	9
Loamy sand	LS	0.15	0.065	0.09	6	11.5
Sandy loam	SL	0.23	0.11	0.13	8	17.5
Loam	L	0.25	0.12	0.155	9	19
Silt loam	SL	0.29	0.15	0.16	9.5	21.5
Silt	S	0.32	0.17	0.18	9.5	24
Silt clay loam	SCL	0.335	0.205	0.155	9.5	24.5
Silty clay	SC	0.36	0.23	0.16	10	23
Clay	C	0.32	0.22	0.16	10	25.5

$\theta = V/V = W/V = W/W \times Bd$

$TAW = 1000\ (\theta_{FC} - \theta_{WP})\ Zr$

$p = p\ (\text{Tableulated}) + 0.04\ (5 - ET_c)$

$LR = EC_{iw} / (\ 5\ EC_e - EC_{iw}\ )$

$W/W = \theta / Bd = V/V / Bd = W/V / Bd$

$RAW = p\ TAW$

If $ET_c > 5$ mm/day