الريّ والصرف

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

منشورات جامعة دمشق
كلية الزراعة الثانية – السويداء

الري والصرف

الجزء النظري

الدكتور
عدنان علي أبو سمرة
أستاذ في قسم الهندسة الريفية

جامعة دمشق
1443−1442
2021−2020

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفهرس

الموضوع	رقم الصفحة
المقدمة	**9**
الفصل الأول: المفاهيم العامة للري وأنظمته	**13**
1-1- متطلبات الأراضي للري	**13**
1-2- أنواع الري وأساليبه	**15**
1-3- تأثير الري في الوسط المحيط والإنتاج الزراعي	**18**
1-4- جودة (نوعية) مياه الري	**20**
1-5- الري المُنتظم	**22**
الفصل الثاني: نظام ري المحاصيل الزراعية	**27**
2-1- الشروط المثالية لنمو المحاصيل الزراعية	**27**
2-2- الاستهلاك المائي أو الاحتياج المائي للمحاصيل الزراعية وطرائق تحديده	**28**
2-3- معدل الري	**34**
2-4- معدلات السقاية وفترات السقاية	**42**
2-5- فترات وعدد مرات السقاية	**47**
2-6- المُخطط البياني للهيدرومودول	**49**
الفصل الثالث: الري السطحي بالانسياب	**53**
3-1- ترطيب التربة	**53**
3-2- امتصاص المياه في التربة	**54**
3-3- السقاية في الأخاديد أو في الخطوط	**60**
3-4- السقاية في الأثلام	**67**
3-5- الري السطحي في شروط الهضاب والمنحدارات الجبلية	**78**
3-6- السقاية بالغمر	**80**
3-7- تخطيط وتسوية سطح الأراضي المروية عند الري بالانسياب	**81**
الفصل الرابع: الري بالرش وبالرذاذ (التمطير الاصطناعي)	**85**

4-1- عناصر أو أجزاء شبكة السقاية وتكنولوجيا تشكيل سحابة الرذاذ	**85**
4-2- الوسائل التقنية وتكنولوجيا السقاية	**89**
4-3- نوعية المطر الاصطناعي (الرذاذ)	**105**
4-4- امتصاص المياه في التربة عند غزارة رذاذ مُختلفة	**109**
4-5- الإجراءات والتدابير المُتبعة لزيادة قدرة التربة على امتصاص المياه عند الري بالرذاذ	**112**
4-6- حسنات وسيئات (إيجابيات وسلبيات) الري بالرذاذ	**113**
الفصل الخامس: الري تحت سطح التربة	**115**
5-1- تصميم الري تحت سطح التربة	**115**
5-2- مكونات شبكة الري تحت سطح التربة	**118**
5-3- نظام الري تحت سطح التربة	**121**
5-4- الحساب الهيدروليكي لأنابيب الري تحت سطح التربة	**154**
الفصل السادس: الري بالتنقيط	**127**
6-1- نظام الري بالتنقيط	**127**
6-2- أتمتة (التحكم الآلي) نظام الري بالتنقيط	**132**
6-3- الحساب الهيدروليكي لأنابيب الري بالتنقيط	**134**
6-4- تكنولوجيا الري بالتنقيط	**136**
6-5- الوسائل التقنية لتنقية مياه السقاية ولإضافة الأسمدة	**138**
الفصل السابع: الصرف في الأراضي المروية	**141**
7-1- الإجراءات الاستثمارية لمكافحة تملح الأرض	**142**
7-2- غسل الأملاح من الأرض	**144**
7-3- المُوازنة المائية الجوفية	**147**
7-4- الصرف الأفقي	**148**
7-4- الصرف الشاقولي	**161**
7-4- الصرف المركب	**169**
الفصل الثامن: رطوبة التربة وطرائق قياسها	**171**

8–1– الخواص الفيزيائية للتربة. ورطوبة التربة	**171**
8–2– أساليب قياس رطوبة التربة باستخدام الأجهزة والمعدات	**175**
المصطلحات العلمية	**191**
المراجع العلمية	**195**

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المقدمة:

تقانات الري والصرف الزراعي (الاستصلاح الهيدروتقني للتربة وللمحاصيل الزراعية)

يُعرف استصلاح الأراضي الزراعية: بأنه مجموعة الإجراءات والتدابير التنظيمية الزراعية والاقتصادية المُتجهه لتحسين جذري للشروط الطبيعية غير المُلائمة للزراعة ولزيادة خصوبة التربة بهدف زيادة إنتاج المحاصيل الزراعية بصورة دائمة.

استصلاح الأراضي الزراعية هو أحد هذه التنظيمات والإجراءات التقنية المُؤثرة بصورة فعالة في نمو المحاصيل الزراعية وفي تطورها ويُساعد أيضاً على تحسين حياة الإنسان وعمله.

يُؤثر استصلاح الأراضي في الوقت ذاته على أنظمة التربة البيولوجية والغذائية والحرارية والهوائية عند تغير النظام المائي للتربة وفق الاتجاهات الضرورية لزيادة ولتطوير الإنتاج الزراعي. وتزداد خصوبة التربة وتتشكل شروط مُناسبة لإنتاج محاصيل زراعية عالية الجودة نتيجةً لتأثير هذه الأنظمة.

تُؤثر الرطوبة الزائدة في التربة ورطوبة الهواء المُرتفعة بصورة سيئة في نمو المحاصيل الزراعية. تتمتع الأمطار الطبيعية هنا فضلاً عن التبخر، بنمو كائنات لا هوائية في التربة غير مُلائمة لعملية التحلل (غير قابلة للتفكك)، والمُشترطة بتجمع المواد العضوية والرطوبة وترطيب التربة. تتوزع الأمطار المُتساقطة على الأرض، ويُلاحظ في بعض الأراضي رطوبة طبيعية للتربة أو رطوبة غير كافية، ويُلاحظ في بعضها الأخر رطوبة زائدة وغمر وتشكل للمُستنقعات.

تُؤدي حرارة الهواء المُرتفعة والتبخر عند كمية أمطار قليلة إلى نمو العمليات للكائنات الهوائية التي تتحلل وتتملح باعتبارها مواد عضوية. يُلاحظ هنا مرحلة الجفاف للتربة.

يُساعد الانخفاض في المواد العضوية وعدم استقرارها وثباتها في بنية التربة على التعرية الريحية والمائية. تقع في هذه المناطق إضافة للمناطق مُنخفضة الرطوبة السهول القاحلة والبادية والمناطق الصحراوية ومناطق السبخات المالحة وبشدة تتملح المياه الجوفية المعدنية.

تقع بين المناطق المكسوة بالأعشاب والمُفعمة بجذورها والمناطق المكسوة بالأشجار وبين المناطق القاحلة مناطق الأحراش والغابات المتميزة إما بالرطوبة المُرتفعة أو المُنخفضة للأرض والمُتعلقة بالشروط الطبيعية السائدة في المنطقة.

يتعلق تشكل الرطوبة المُرتفعة أو المُنخفضة للتربة بالعوامل الطبوغرافية الموضعية والهيدروجيولوجية والهيدرولوجيا للتربة ذاتها وبالشروط المناخية للمناطق والأماكن المُختلفة.

يستطيع الإنسان أن يقوم بتغيير الاتجاهات الضرورية لزيادة الإنتاج الزراعي عن طريق تغيير العوامل المحلية والموضعية المُؤثرة بصورة غير مناسبة على إنتاج المحاصيل الزراعية باستخدام مجموعة آلات استصلاح الأراضي والآلات الزراعية وباتخاذ الإجراءات والتدابير التقنية المُناسبة. وتتغير العوامل المحلية والموضعية عند تعميم هذه الإجراءات والتدابير التقنية على مساحات واسعة وكبيرة من الأرض.

يختلف استصلاح الأراضي من منطقة لأخرى وفق اختلاف المناطق. تتجه إجراءات استصلاح الأراضي الرئيسية وتدابيرها في مناطق الرطوبة المُرتفعة إلى: صرف المياه الفائضة وتقوية تهويتها، ورفع حرارة التربة، وتطوير عملية التحلل للكائنات الحية وللمواد العضوية المعدنية.

وتتجه الإجراءات والتدابير التقنية لاستصلاح الأراضي في مناطق الرطوبة المُنخفضة إلى: تعويض الرطوبة المُنخفضة في التربة، وإنقاص التبخر ودرجة حرارة التربة، وتغيير المناخ المحلي والموضعي لطبقة الهواء الملامسة لسطح التربة.

تتكون الإجراءات التقنية الزراعية من الاختيار المُطابق لمخطط الدورة الزراعية الذي يُؤمن خصوبة مرتفعة للمحاصيل الزراعية وللتربة. الذي يُطابق الشروط الطبيعية لنوع معين من المحاصيل الزراعية والذي يُطابق أيضاً أنظمة مُعاملة التربة كالحراثة والفلاحة والعزق ... الخ وتسميد التربة.

تتضمن الإجراءات التقنية الزراعية عزل النباتات والشجيرات الصغيرة واقتلاع الجذور والأعشاب الضارة بالمحاصيل الزراعية وعزل الحجارة من التربة وتخطيط سطحها. وتُنجز إجراءات الاستصلاح والتقنية الزراعية، وتُنظم التدابير التقنية من أجل تلافي وجود الأملاح ولمكافحة الملوحة في التربة.

تدخل أيضاً في مشاكل استصلاح الأراضي الزراعية التحذيرات من التعرية الترابية ومُكافحة هذه التعرية وانهيار جوانب القنوات المُتشكلة نتيجة للاستصلاح تبعاً للشروط الطبيعية للأحواض المائية.

يُمكن زيادة انتاج المحاصيل الزراعية بصورة دائمة فقط على حساب زيادة المحاصيل الزراعية في الأراضي الحية، وبإدخال مساحات زراعية جديدة نتيجة استصلاحها وتطويرها.

يرتبط تطور استصلاح الأراضي وسيلةً لزيادة انتاج المحاصيل الزراعية باستمرار تطور أعمال الحراثة والفلاحة وبنمو قوى الانتاج وبتغيير علاقات الانتاج بما تتلائم مع شروط البيئة.

يعتمد إكثار المحاصيل الزراعية في الوقت الحاضر على أسس إدخال المكننة الزراعية والمحطات الكهربائية والاستصلاح الكيميائي للأراضي.

وُجهت تعليمات وإرشادات خاصة في المؤتمرات العالمية إلى زيادة فعالية استخدام الأراضي المروية والجافة وإلى تأمين مجموعة إجراءات وأعمال لاستصلاح الأراضي البور (البكر). وأُعير انتباه خاص ولدرجة كبيرة جداً من أجل حماية الطبيعة والبيئة، وحماية المحاصيل الزراعية، ومُكافحة التعرية الترابية ومُكافحة الأملاح في التربة، وغمر التربة في المياه، وتدفئة التربة وتجفيفها، والمحافظة على الموارد المائية من التلوث والأوساخ، واستصلاح الأراضي بتكرار ترطيبها.

يشغل التقدم العلمي التقني مكانة مُهمة جداً في استصلاح الأراضي. يَؤمن إنشاء أنظمة استصلاح الأراضي: إنتاج مُرتفع بصورة دائمة للمحاصيل الزراعية، زيادة ثابت استخدام الأرض لدرجة كبيرة، انخفاض ضياعات مياه الري، زيادة ثابت العمل المفيد لأنظمة الري، تحسين الشروط من أجل استخدام الآلات الزراعية، إنشاء الأنظمة المائية الملحية الضرورية، واهتمام نوعي بأتمتة أنظمة استصلاح الأراضي.

تُلبس القنوات والمجاري الأرضية بالبيتون المسلح، أوتُستبدل بالأنابيب الناقلة للمياه عوضاً عن البيتون المسلح والمجاري، وتُستخدم تقانات التمطير الاصطناعي (الري بالرش وبالرذاذ) ذات الجودة العالية وتَستخدم أيضاً أساليب الري تحت سطح التربة من أجل الاستخدام الفعال للمياه ولزيادة ثابت التأثير المفيد لأنظمة الري (مردود أنظمة الري) ولزيادة ثابت استخدام الأراضي المروية.

تم التوجه في الوقت الحاضر باهتمام كبير للمُحافظة على الموارد المائية من التلوث والأوساخ ويُبحث في كيفية إزالة الأملاح من المياه الملحية واستخدام المياه المعدنية الضعيفة من أجل الري. وبُدئ باستخدام أفضل للإجراءات التقنية للتحكم بجريانات الأنهار وتنظيم فروعها (بالطاقة الهيدروليكية، والإمداد بالمياه، ونقل المياه، وتربية الأسماك، ... وغيرها). وتم تحديد وتوزيع دقيق ومفصل لاحتياطي المياه الجوفية في مناطق مُختلفة واستخدامها بصورة منطقية من أجل حاجة الإنسان ومن أجل ري الأراضي الزراعية.

المؤلف

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الأول
المفاهيم العامة لأنظمة الري والسقاية

1-1- حاجة الأرض للري:

يُعد الري أحد مكونات الخصوبة للأرض – بإمداد النباتات والمحاصيل الزراعية بالمياه وله تأثير عميق في جوانب أخرى: مثل الأنظمة الكيميائية والحرارية والتهوية للتربة، كما يُؤثر أيضاً في نشاط الجراثيم والآفات في التربة. يُستخدم الري في الحالات التي يكون فيها الهطول المطري غير كافٍ لتأمين الرطوبة الطلوبة لنمو المحاصيل الزراعية بشكل طبيعي وتأمين شروط مُلائمة لنمو المحاصيل الزراعية لتلقي محاصيل زراعية مُرتفعة الإنتاجية ودائمة.

تتمتع مساحات كبيرة من الأرض برطوبة مُنخفضة أو برطوبة غير مستقرة وتتأثر مناطق عديدة إما بالقحط الدائم أي بالجفاف، أو بالقحط الدوري أي المتكرر، لذلك يكون إنتاج المحاصيل الزراعية في مثل هذه المناطق مُنخفضاً أو يتذبذب باختلاف مُتباين وفق تتالي الأعوام. تتطور الزراعة في مثل هذه الشروط بصعوبة بالغة لذلك لا بُدّ من دراسة الشروط الطبيعية لكل مساحة على حدة، ودراسة المُتطلبات الزراعية للترطيب الاصطناعي للتربة وتحديد الطرائق وأساليب الري المُناسبة لتلك المناطق.

يكون الري أكثر تطوراً وتقدماً في المناطق الجافة وشبه الجافة التي تُشكل مساحات واسعة من أراضي القطر العربي السوري.

1-1-1- المناطق الجافة وشبه الجافة:

تتمتع هذه المناطق بشكل عام وفق الشروط الطبيعية بحدود ضيقة إذ لا يُمكن الفصل بينها. وهي تتميز من المناطق الأخرى بجفاف أكبر ووفرة بالحرارة والضوء. يتراوح معدل الهطول المطري السنوي الوسطي فيها: $[mm]250-100$ وينعدم الهطول المطري فيها في أشهر الصيف. يتراوح التبخر الوسطي السنوي: $[mm]1700-1400$ وأكثر. الرطوبة الطبيعية في هذه المناطق مُنخفضة نسبياً وبالتالي غير كافية.

يتذبذب النظام الحراري لدرجة كبيرة خلال العام. تصل الحرارة المتوسطة في حزيران: $30-38C^o$ وتنخفض في الشتاء إلى: $2C^o-$ أو أكثر من ذلك. تسمح وفرة الحرارة والضوء بزراعة المحاصيل الزراعية التي تتطلب الحرارة كالقطن والرز والكرمة وغيرها، إلا أنه أحياناً يُمكن زراعة هذه المحاصيل فقط باستخدام الري بالرذاذ. تُشكل الرطوبة الطبيعية في هذه

المناطق: 20% − 7 من استهلاك المحاصيل الزراعية للمياه لذلك يُعدّ الري في المناطق الجافة وشبه الجافة العامل الأساس لتأمين المياه للمحاصيل.

يتميز الري في هذه المناطق بعدة خواص: لا تتشكل رطوبة احتياطية كافية في التربة من الهطولات المطرية في فصلي الخريف والشتاء، لذلك لا بُد من الري قبل بذر المحاصيل الزراعية. يتوفر أحياناً في الربيع مطر بارد ومستمر لكنه غير مستقر للمحاصيل الزراعية وهذا يعني عدم انتظام الري في الربيع. تُسبب درجات الحرارة الصيفية المُرتفعة والرطوبة المُنخفضة للهواء زيادة كبيرة في استهلاك المحاصيل للمياه من الأرض. لذلك لا بد من تكرار الري بمعدلات كبيرة.

غالباً ما تتطلب أراضي الري صرف الأملاح منها. يُمكن ري الأراضي البور الواقعة فوق مستوى مصادر الري باستخدام آلات ضخ المياه آلياً ويتم الضخ أحياناً إلى ارتفاعات عالية. تملك هذه الأراضي عادةً انحدارا وميلاً كبيراً وكمية حجارة قليلة في التربة واستهلاكاً كبيرً للمياه. يُؤدي ري الأراضي الجديدة المُتوضعة بالمُرتفعات أحياناً إلى تدفئة الأراضي المروية سابقاً والمتوضعة في أسفلها. تُستصلاح الأراضي الجديدة البكر بصورة مُوحدة مع الأخذ بعين الاعتبار جميع العوامل المشتركة مع البيئة. مثال ذلك مناطق البادية والقاحلة (السهول البرية).

1-1-٢- مناطق البادية والقاحلة:

تتميز هذه المناطق من المناخ الصحراوي بصيف حار وشتاء بارد. يصل التبخر إلى: 700 − 800[mm] وتزداد نسبة الرطوبة لدرجة كبيرة. تُعدّ الرطوبة الطبيعية غير مُستقرة في مناطق البادية وفي فترة نمو المحاصيل وفق تتالي الأعوام. يُشكل الهطول المطري نسبة: 40 − 80% من مجموع استهلاك المحاصيل الزراعية للمياه. تسود في مناطق البادية السهول الزراعة البعلية. تتأثر هذه المناطق بالجفاف الذي يشكل نسبة سنوية قد تصل إلى: 30% (قد تمتد من الربيع وحتى الخريف). الفترة الأكثر جفافاً هي المُستمرة في الربيع إلى ما قبل الصيف التي تُؤثر بصورة خاصة ومُضرة في بذار المحصول الربيعي. لذلك تُستخدم من أجل زيادة إنتاج المحاصيل الزراعية طريقة الترطيب بالتنقيط في التربة على حساب تساقط الأمطار في الخريف والشتاء والربيع وبالنتيجة تُؤدي لتحقيق الإجراءات والتدابير التقنية لاستصلاح الأراضي. يُعوض الري في مناطق البادية والسهول عن النقص المائي الناتج عن الهطول المطري الطبيعية ويُساعد أيضاً بصورة فعالة أكثر على استخدام هذه المناطق.

1-1-3- المناطق الرطبة:

يبلغ متوسط الهطول المطري في هذه المناطق: $[mm]650-450$ ويتراوح التبخر من السطح المائي: $[mm]600-300$ وبالتالي يتساوى متوسط الهطول المطري مع التبخر في هذه المناطق وقد يتجاوزه. تُعد الزراعة في المناطق الحراجية مُتطورة. يجب على التطور المنظور للزراعة أن يرتبط بالإشراف العملي والمنطقي للغابات والحراج. تتطلب المناطق التي فيها الرطوبة الطبيعية فائضة ولا تُوجد فيها جريانات مياه سطحية أو جريانات للمياه الجوفية استصلاح الأراضي بالصرف (بالتجفيف)، لكن تتكرر في العديد من المناطق صيفاً فترات عدم الهطول المطري لمدة طويلة لذلك مثل هذه المناطق تفتقر إلى الترطيب الاصطناعي للتربة خاصة عند زراعتها بمحاصيل زراعية تتطلب رطوبة مُرتفعة كالخضار.

تتشكل عادةً رطوبة كافية حتى الربيع في مناطق الحراج، لكنه ينخفض احتياطي الرطوبة في بعض الأعوام. تتكرر فترات الجفاف صيفاً في أوقات مُختلفة وتستمر لفترات مُختلفة. يُظهر الواقع أنه حتى في مناطق الرطوبة الفائضة فإن محاصيل الخضار تنقصها الرطوبة في الربيع وفي بداية الصيف وسطياً مرة واحدة كل عامين. يرفع الري إنتاجية المحاصيل الزراعية لدرجة كبيرة في فترات الجفاف.

يتميز الري في المناطق الرطبة بأنه في فترات الجفاف المُنفصلة تروى المحاصيل الزراعية التي تتطلب رطوبة مُرتفعة وعادةً على مساحات غير كبيرة نسبياً. أصبح الري في الأعوام الأخيرة يتطور في مزارع الخضار ولتربية المواشي بالقرب من المدن الكبرى والمدن الصناعية. لذلك تُستخدم من أجل الري المياه الصناعية الناتجة عن المشاريع العامة والصناعية ومجموعة مزارع تربية المواشي. تمتاز بعض المناطق الرطبة بهطولات مطرية مُنخفضة فيها في فترة الصيف حيث استهلاك المياه يتجاوز الكمية المُتساقطة من الأمطار وتمتاز برطوبة احتياطية في التربة. من الواضح هنا أن تطور الري يرتبط بازدياد ونمو عدد السكان الذين لا بُدّ من تأمينهم بالخضار والفواكه وبالمواد الزراعية الأخرى على حساب الإنتاج في الشروط المحلية والموضعية. الأسلوب الرئيسي للري في المناطق الرطبة هو الري بالرش أوبالرذاذ.

1-2- أنواع الري وأساليبه:

يُقسم استصلاح الأراضي بالري إلى الأنواع التالية: الريّ الترطيبي، ريّ الأرض، الريّ التسميدي، وريّ الدفيئة.

النوع الأكثر شيوعاً هو استصلاح الأراضي **بالترطيب**. ووظيفته هي تعويض النقص في رطوبة التربة أو رطوبة الهواء بطريقة التغذية الاصطناعية بالمياه. يُستخدم استصلاح الأراضي بالترطيب في جميع المناطق التي تُعاني من انخفاض دائم أو مؤقت في رطوبة التربة. وتُستخدم **سقاية الأرض** في المناطق الجافة التي تكون فيها مصادر المياه الطبيعية أو جريانات المياه السطحية غير كافية. الهدف من سقاية الأرض هو تأمين مساحات من أجل إمداد السكان وإمداد الأراضي الزراعية والمواشي ومن أجل الحاجات التقنية الضرورية الأخرى. يُدرس مسبقاً سقاية جزء معين من الأرض أو قطاعات مُعينة منها بهدف إنتاج محاصيل زراعية مضمونة في تلك الأجزاء أو القطاعات المروية. وتروى المروج أيضاً عندما يكون احتياطي المياه كافياً ووافراً في مصادر المياه بهدف تشكيل علف احتياطي لفترة الشتاء وتروى قطاعات المراعي المناسبة وفق طبيعة تكوين الأرض. ويتم ري المساحات باستخدام البُرك والبُحيرات المُتشكلة من ذوبان المياه في الربيع ومن أبار المياه الجوفية التي فيها نسبة الأملاح مُنخفضة عن طريق قنوات أو باستخدام مواسير نقل المياه من مصادر المياه كالأنهار والسدود ... الخ إلى تلك المساحات. ويُستخدم **الري التسميدي** عن طريق مياه الأنهار والمياه الناتجة عن مزارع تربية المواشي بذات الوقت مع ترطيب التربة. ويُستخدم **الري الدفيئي** من أجل تسخين التربة والمحاصيل باستخدام المياه الساخنة وباستعمال المياه الجوفية وغيرها من المصادر. ويُنسب إلى السقاية الدفيئية أيضاً السقاية الخاصة المُستخدمة لمكافحة الصقيع.

يُقسم الري وفق الزمن وفاعلية التأثير على المحاصيل إلى ري منتظم وري موسمي (يُستخدم لمرة واحدة). تجري المياه عند **الري المنتظم** وفق العلاقة بحاجات المحاصيل الزراعية لها وحسب الشروط الترابية والجوية السائدة. يُحّسن الري المنتظم النظام المائي والحراري والغذائي ونظام التهوية للتربة وهو يسمح أيضاً بتنظيم النظام الملحي للتربة.

يتحقق **الري الموسمي** (الري لمرة واحدة) أو الري ذو التأثير المُنفرد بطريقة تأخير ذوبان المياه الربيعية في جزء من الأرض أو التغذية بالمياه في زمن الفيضانات الصيفية. تُرطّب التربة على عمق: $2-1.5[m]$ في أثناء الري ذي التأثير الوحيد من أجل تشكيل احتياطي في المياه واستخدامها في حالات جفاف التربة. لا يُحقق الري ذو التأثير الوحيد دائماً مُتطلبات المحاصيل الزراعية ومُتطلبات الشروط الجوية السائدة والترابية. وهو يُستخدم عادةً لري المروج والمراعي ولري المحاصيل الزراعية المتميزة بفترات قصيرة لنموها. الري ذو التأثير الوحيد هو عبارة عن أسلوب شائع الاستخدام في الموارد الأرضية والمائية.

تُستخدم في الوقت الحاضر من أجل تنظيم الرطوبة أساليب الري التالية: الري السطحي بالجريان الذاتي (بالانسياب)، والري بالتمطير الاصطناعي (بالرش وبالرذاذ)، والري تحت سطح التربة، والري بالتنقيط، والري بالضباب (الترطيب بالضباب). يُفهم من أساليب الري اتخاذ جميع الإجراءات والتدابير التقنية على الأرض من أجل تغذية وتوزيع المياه وترطيب التربة.

الري السطحي بالجريان الذاتي (بالانسياب): تجري المياه من القنوات الرئيسية أو من المواسير الرئيسية إلى شبكة القنوات المكشوفة المؤقتة، أو تجري عبر الأنابيب الناقلة للمياه إلى الشبكة النظامية كالأخاديد والأثلام والمساكب والمُستنقعات.

الري بالتمطير الاصطناعي (بالرش أو بالرذاذ): تتساقط المياه على الأرض وتجري عادةً في الأنابيب أو في القنوات ومن ثم تُرش على شكل مطر فوق المساحة المروية بواسطة آلات ومحطات التمطير الاصطناعي مرطبةً التربة والنباتات الموجودة على سطح الأرض.

الري تحت سطح التربة: تتساقط المياه على الأرض وتجري عبر القنوات أو الأنابيب التي منها تجري إلى مواسير أو مجاري مُنشأة على أعماق قليلة تحت سطح التربة مرطبةً طبقة نمو الجذور عن طريق ارتفاع المياه بالخاصة الشعرية.

الري بالتنقيط: تجري المياه إلى المحاصيل عبر أنابيب ناقلة كثيفة ومُتشعبة وعبر أجهزة تنقيط خاصة تُسمى بالنقاطات بتدفقات صغيرة مباشرةً إلى منطقة جذور المحاصيل الزراعية مُحافظةً على رطوبة التربة بالمستوى الأمثل لها. تترطب عند ذلك التربة فقط في منطقة توزع النظام الجذري للمحاصيل الزراعية.

يعتمد الري بالجريان الحر والري بالرذاذ على مبدأ التغذية الدورية للمياه وتجميعها في التربة، فهي أكثر عمقاً ونادرة عند الري السطحي بالجريان الحر وهي أكثر انتشاراً وأقل عمقاً عند الري بالرذاذ. ويُؤمن الري بالتنقيط تغذية المحاصيل بالمياه باستمرار دون انقطاع.

الري بالضباب (الريّ الضبابي): وُضع في الأعوام الأخيرة أُسلوب جديد للري هو ليس ترطيب التربة وإنما ترطيب الهواء المحيط بالمحاصيل على شكل ضباب. تُرش المياه إلى قطرات صغيرة جداً عند الري بالضباب فتُرطب سطح المحاصيل وتُؤدي لتغير المناخ الموضعي للوسط المحيط بها. ويُمكن استخدام ترطيب الهواء المحيط بالمحاصيل الزراعية مع السقاية العادية أو استخدامه بصورة مُستقلة عنها.

يُؤثر أُسلوب الري في نظام الري وفي إنتاجية العمل على السقاية، وفي حالة استصلاح أراضي الري وفي تخطيط العمل وفي توزيع شبكة الري وتركيبها وكلفتها، وفي الغزارة في القنوات

وفي ضياعات الاستثمار وفي كلفة المحاصيل الناتجة ... الخ. يُحدد الاختيار الصحيح لأُسلوب الري بفعاليته وبإنتاجيته للمحاصيل الزراعية.

عند اختيار أسلوب الري لا بُد من الأخذ بالاعتبار الشروط التالية:

الشروط الطبيعية: وتشمل تضاريس الأرض في القطاعات التي تُستخدم للري، قدرة التربة وخصوبتها وسعة الرطوبة فيها ونفاذيتها ومُقاومتها للمياه، وكمية وجودة الأملاح فيها، الرطوبة الطبيعية، اتجاه الرياح وسرعته، استمرارية وجود المياه والنقص بالمياه في التربة وفي الهواء، والتبخر، ومساحة الصرف، وعمق توضع المياه الجوفية المعدنية، وشكل الموارد المائية ونظام عملها، ووفرة المياه في الأرض وغزارتها.

الشروط الاقتصادية: توفر وجود مصادر العمل، وخبرات الإنسان وتجاربه في ري الأرض، ودرجة مكننة أعمال السقاية، ووجود مواد البناء والإنشاء وتوفرها، ووجود الطاقة الكهربائية، ووجود الآلات من أجل الري ومُعاملة التربة.

نظام الزراعة: مكونات المحاصيل الزراعية، والدورة الزراعية، والتقنية الزراعية، والأسمدة، ... الخ.

نظام ري المحاصيل الزراعية: معدل الري، وفترات السقاية وعددها مرات خلال فترة نمو المحاصيل وبعد فترة النمو، وضرورة الغسل للتربة، واحتياطي المياه وأنواع أخرى من السقاية. تأمين إنتاجية عمل مرتفعة وتأمين مكننة وأتمتة لأعمال السقاية.

السقاية الفعالة الاقتصادية: ضياعات رأس المال وضياعات الاستثمار، وإنتاجية المحصول قبل الري وبعده، والفوائد والربح من الري، وإعادة استثمار رأس المال، وفترة التعويض، ... الخ. عدم السماح بالتعرية المائية للتربة وتأثير السقاية على خواصها الفيزيامائية والكيماوية والميكروبيولوجية.

1-3- تأثير الري على الوسط المحيط (على الوسط البيئي) وعلى المحصول:

تجري المياه بتأثير قوى الثقالة (الجاذبية) عند السقاية بالجريان الحر وعند الغمر المُستمر لسطح الأرض (السقاية بالغمر وبالمساكب) أو بتأثير القوى الشعرية عند السقاية بالأخاديد.

السقاية بالأخاديد (بالأثلام): هي أفضل أساليب الري السطحي لأنه في هذه الحالة يكون تماسك التربة وانهيارها إلى كتل ترابية بتأثير المياه أقل، وبصورة أفضل يصل الهواء إلى جذور المحاصيل، وبصورة أكبر تنشط الجراثيم المكروية في التربة. وتنهار التربة إلى كتل ترابية

باطراد أكبر عند السقاية بالمساكب (بالخطوط) وبالغمر فهي تتماسك بدرجة أكبر وتُشكل طبقة سيئة تمنع وصول الهواء إلى داخل التربة وتُغسل الجزيئات الترابية الصغيرة الواقعة على أعماق أكبر في السطح الأفقي العلوي للتربة.

السقاية بالرذاذ: تعني السقاية بمُعدلات قليلة وبقطرات صغيرة وهي الأكثر مُلاءمة للتربة وللمحاصيل الزراعية.

مياه الري هي عبارة عن محاليل شديدة الملوحة تُظهر تأثيراً في العمليات الكيماوية الحادثة في التربة وتُخفض تركيزها ومحتوى الأملاح الضارة في طبقة التربة الأفقية العلوية. يُمكن أن يحدث غسل للتربة من المواد الغذائية عند زيادة التغذية بالمياه للتربة. تزداد السعة الحرارية والناقلية الحرارية للتربة بتأثير مياه الري وهذا يُظهر تأثيراً مُلائماً على نظام نمو جذور المحاصيل وتطورها وفي نشاط الجراثيم الميكروبيولوجية وفعاليتها في التربة، وهذا أيضاً يرفع من خصوبتها ويُؤمن إنتاجية مُرتفعة للمحاصيل الزراعية.

يُخفض الري المُنتظم عادةً حرارة التربة والهواء في ساعات النهار ويُنقص مجال تذبذبها خلال اليوم. وتُظهر خطوط أشجار الحماية تأثيراً في مناخ أراضي الري. فهي تُخفض قوة الرياح وتُنقص التبخر من سطح التربة ومن أوراق المحاصيل. ويتم خلال الري امتصاص للطاقة الشمسية بصورة فعالة أكثر. ويُستفاد من التمثيل الضوئي فقط بنسبة: 3%−1 من الطاقة الشمسية الساقطة على الأرض في ظروف الزراعة البعلية. ويُمكن الاستفادة في أراضي الري من: 14%−12 من الطاقة الشمسية عند مُقارنة جميع العوامل المثالية لحياة المحاصيل. لا يُحدد عامل الطاقة في حياة المحاصيل (ضوء الشمس) إنتاجية مُرتفعة للمحاصيل الزراعية $[\%/hr]$: محاصيل الحبوب: 120.....100، البذور حتى: 500 وأكثر من ذلك.

وبالتالي تنظيم الري بالإضافة لمجموعة الإجراءات التقنية الزراعية يرفع من خصوبة التربة ويُحّسن من خواصها الفيزياكيميائية والحررية والبيولوجية والمناخية ويسمح بصورة فعالة أكثر باستغلال المحاصيل للطاقة الشمسية. تُؤثر جميع هذه العوامل إيجابياً على نمو المحاصيل الزراعية وعلى إنتاجيتها المُرتفعة.

إنتاجية المحاصيل الزراعية في الأراضي المروية أكبر بمرتين إلى مرتين ونصف مما هي عليه في الأراضي البعلية. يُروى في الكرة الأرضية تقريباً من: 16%−15 من الأراضي المُستصلحة ويُجمع منها أكثر من: 50% مُنتجات نباتية. يظهر التأثير المناسب للري بشكل تام في المحاصيل الزراعية عندما تُغذى مياه الري في فترات وبكميات تُحقق مُتطلبات المحاصيل مع

الأخذ بالاعتبار الظروف البيئية لحياة المحاصيل والظروف الجوية السائدة والشروط المناخية والهيدروجيولوجية والترابية وأسلوب السقاية وتقنيتها.

تُؤدي تغذية المياه بدون تخطيط أو بدون تنظيم على سطح الأرض إلى ما يلي: غسل المواد الغذائية والجزيئات الدقيقة جداً من التربة، وتُشكل طبقة أفقية عديمة النفاذية، وتُؤدي إلى صرف المياه من سطح الأرض وضياعها، وتُؤدي إلى ارتفاع مسنوب المياه الجوفية وتبعاً لذلك تُؤدي إلى تملح التربة أو غمر وتُشكل المستنقعات، وتدفئة الأراضي المجاورة، وتُؤدي لضرورة إنشاء شبكة مجاري – الصرف (دريناج)، وإلى ضياعات كبيرة بالطاقة عند استخدام آلات الضخ لرفع المياه، وإلى زيادة كلفة استثمار نظام الري. يُخفض عادةً الري غير المنتظم والمياه الفائضة الجارية على سطح الأرض إنتاجية المحاصيل الزراعية. ويُؤدي أيضاً انخفاض كمية التغذية بالمياه على الأرض لإنقاص إنتاج المحاصيل الزراعية وإلى انخفاض فعالية استخدام أراضي الري ومياه الري.

تتغير بفعل الري الشروط الطبيعية ليس فقط في أراضي الري وإنما في الأراضي المُحيطة بها أيضاً. يزداد التوازن المائي الأرضي جوهرياً على حساب ضياعات المياه من القنوات وضياعات المياه من السقاية على سطح الأرض. ويتغير تبعاً لذلك نظام المياه الجوفية فهي تستطيع تدريجياً الارتفاع في أراضي الري وفي الأراضي المُحيطة بها. عند تصميم نظام الري لا بُد من الأخذ بالاعتبار ارتفاع مسنوب المياه الجوفية المتوقع خلال الري. ولا بُد من الدراسة المُسبقة للإجراءات والتدابير المُناسبة لحماية ووقاية أراضي الري والأراضي المُحيطة بها من العواقب الضارة السيئة إذا ارتفعت المياه الجوفية تقريباً إلى: $2-3[m]$ من سطح الأرض عند الري.

1-4- جودة (نوعية) مياه الري:

تظهر الحاجة لمياه الري وفق العلاقة بمحتواها من الرواسب والمحاليل الملحية ودرجات الحرارة. تتساقط الرواسب الضخمة التي تتجاوز: $0.1-0.15[mm]$ من المياه وتملأ شبكة الري، أما الجزيئات التي قُطرها الوسطي: $0.005-0.1[mm]$ لها خواص غذائية مُنخفضة لكنه بجريانها مع مياه الري على الأرض تُحّسن من الخواص الفيزيائية للتربة الثقيلة مؤديةً لزيادة نفاذيتها للمياه. تُعتبر الرواسب الطينية ذات الجزيئات التي قُطرها الوسطي أصغر من: $0.005[mm]$ ذات قيمة غذائية كبيرة لكن كميات كبيرة منها على الأرض يُمكن أن تسيء للخواص الفيزيائية للتربة وتُخفض نفاذيتها للمياه وتهويتها أيضاً. الرواسب الطينية مُفيدة للتربة

الخفيفة والمتوسطة. تقترب الرواسب العالقة وفق تكوينها الكيميائي من الرواسب الطينية حيث يسود غالباً السيليكيا (رمل الصوان) والألومينيا (هيدروكسيد الألومنيوم) وتحتوي على أملاح الكالسيوم والمغنزيوم والصوديوم والبوتاسيوم. تُخصب الرواسب التربة في العديد من الحالات بأملاح الكالسيوم وبالمواد العضوية وهذا يُساعد على تكوين بنية كتلية واحدة للتربة.

يُسمح في مياه الري باحتواء مياه ملحية حتى: 0.10%، وهذا يعني: $1[g/l]$ عند ذلك يجري في التربة حوالي: $1000[g]$ محلول ملحي لكل: $1000[m^3]$ من المياه. يتعلق محتوى الأملاح المسموح به في مياه الري أيضاً بالتكوين الكيميائي لها وبالخواص الفيزيا مائية للتربة: فهو في التربة الخفيفة أكثر مما هو عليه في التربة الثقيلة. عندما تحوي المياه المعدنية: $2-5[g/l]$ أملاحاً عندها يجب الأخذ بالاعتبار تكوينها الفيزيائي وخواص التربة والمحاصيل المروية.

يُمكن أن تُؤدي زيادة أملاح الصوديوم في مياه الري إلى تملح التربة الثقيلة، إذا كان محتواها من أملاح الكالسيوم غير مستقر أو غير كاف في مجموعتها الماصة. يُسمح بزيادة محتوى الأملاح في مياه الري في الحالات التالية:

عند تساقط الأمطار لدرجة كبيرة وغسلها من الأملاح، وعند الري والسقاية بمعدلات غير كبيرة، وعند استخدام تقنية زراعية عالية المستوى واستخدام الأسمدة العضوية.

تُظهر حرارة مياه السقاية تأثيراً ملموساً في نمو المحاصيل الزراعية وعلى إنتاجيتها. يجب تسخين المياه الباردة جداً (المُعرضة للصقيع والمياه الجوفية) صيفاً في أحواض مكشوفة عند استخدمها لري المحاصيل الزراعية التي تتطلب الحرارة.

عند السقاية بمياه حارة أو ساخنة أكثر من: $20C^o$ تزداد قدرة النظام الجذري للمحاصيل وبسرعة أكبر تنمو وتتحسن جودة إنتاجيتها وتنخفض ضياعات المياه في واحدة الإنتاجية من: $6-20\%$، وتزداد الإنتاجية الكلية أو ما يُسمى بالمردود الكلي حتى: $14-20\%$.

تتميز الأنهار وأحواض جمع المياه برواسب قليلة. تحتوي مياه الأنهار الجبلية على رواسب ومواد عالقة كثيرة، وتحتوي مياه الأنهار على محاليل ملحية: $0.2-0.7[g/l]$. تتعلق كمية الأملاح بنوع انجراف التربة وبتدفق التيار المائي وبالشروط المناخية.

تحتوي مياه الأنهار المُستخدمة للري عادةً على الكثير من الرواسب الدقيقة التي تُسهم في تخصيب التربة. تُتقى مياه الأنهار من الرواسب والمواد العالقة بها في أحواض تخزين المياه،

وهذا يُخفض من خواصها التسميدية. يتناقص محتوى الأكسجين في بعض الأحواض بسبب وجود الأعشاب المائية والكائنات الحية الدقيقة فيها.

لا تحتوي المياه الجوفية على رواسب لكن تكون نسبة المياه المعدنية فيها أحياناً مُرتفعة وهذا غير مسموح به، لذلك قبل استخدام المياه الجوفية للري يُجرى لها تحليل كيميائي. ويجب تحسين المياه الجوفية الباردة جدا أو المحتوية على أكاسيد أُحادية بواسطة أحواض صغيرة مكشوفة.

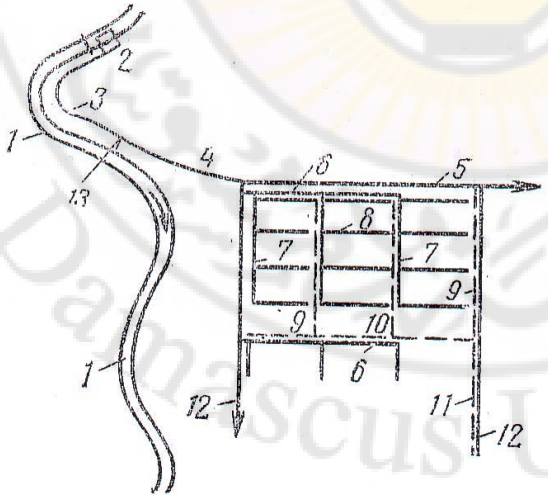
1-5- الري المُنتظم:

يتعلق تصميم نظام الري وتوزيعه بعدة عوامل أهمها:

آ- المتطلبات الزراعية (ري المحاصيل الزراعية، والدورات الزراعية، ... الخ). ب- الشروط المناخية والهيدروجيولوجية والمورفولوجية والجوية السائدة في مساحة الري. ج- مصادر مياه الري، د- نوع الري وأسلوبه. هـ- تقنية السقاية وغيرها من العوامل. الأكثر شيوعاً هو نظام الري المنتظم.

معايرة الري المنتظم وأجزاؤه الرئيسة:

تجري المياه في أنظمة الري المُنتظم حسب الحاجة وبالكميات المطلوبة في أي زمن. يُبين الشكل (1-1) العناصر الرئيسة للري المُنتظم. يجب ألاّ يشمل نظام الري أعمال مُختلفة أخرى عليه: مثل تخطيط الأرض أو غسل التربة من الأملاح، ... الخ.



الشكل (1-1): مُخطط العناصر الرئيسية للري المنتظم.

١- مصدر مياه الري، ٢- مأخذ سحب المياه الرئيسي لنظام الري، ٣و٤و٥- الأجزاء الأساسية العاملة وغير العاملة للقناة الرئيسية، ٦- قناة التوزيع الزراعية، ٧و٨- قطاع الدورة الزراعية الداخلية وأجزاء قنوات التوزيع الزراعية، ٩و١٠و١١- شبكة قنوات الصرف بين وداخل الدورة الزراعية، ١٢- قناة توزيع بينية لأرض الدورة الزراعية، ١٣- قناة صرف احتياطية.

تُعدّ الأراضي وجميع خواصها كالتضاريس، ونوع التربة، والشروط الهيدروجيولوجية هي العناصر الأساسية لنظام الري. ويتعلق بها لدرجة كبيرة تكوين عناصر أخرى وعددها وتصميمها. وبالتالي **الري المنتظم** هو عبارة عن المجموع المكون من أرض الري ومصادر مياه الري ومُنشآت مُختلفة عليها من أجل تحسين جذري للشروط الطبيعية غير الملائمة للزراعة، ولزيادة خصوبة التربة بهدف زيادة إنتاجية المحاصيل باستخدام فعال أكثر للموارد الأرضية والمائية دون تأثير سلبي في الوسط المحيط.

يُمكن دراسة نظام الري أيضاً من وجهة نظر التقنية الزراعية باعتباره جزءاً من مجموع الإنتاج الزراعي من أجل الترطيب الاصطناعي بهدف زيادة إنتاجية المحاصيل الزراعية.

يُمكن أن يدخل في تكوين نظام الري أرض زراعية واحدة أو عدة أراضي زراعية وحتى عدة مناطق استثمارية. تصل مساحة أرض الري في المزارع حتى: $5000[hr]$ أو أكثر وذلك وفق العلاقة بمدى جاهزية التقنية والمعدات لها، وبمدى الجهود المبذولة لزراعة المحاصيل الزراعية. والتوجه في المساحات المزروعة بالقطن أو الشوندر السكري أو الخضار أقل من التوجه لزراعة المحاصيل الزراعية الحقلية كالحبوب أو المحاصيل العلفية.

تُقسم أراضي المزارع الضخمة إلى قطاعات إنتاجية، وتُجزأ هذه القطاعات إلى قطاعات الدورة الزراعية وقطاعات خارج الدورة الزراعية. وتُقسم قطاعات الدورة الزراعية وفق العلاقة مع المحصول الأساسي إلى عدة قطاعات: لزراعة القطن، والحبوب، والمحاصيل العلفية، والخضار ... الخ. يتعلق قطاع الدورة الزراعية بالجهد المبذول لزراعة المحاصيل الزراعية فيه.

تُقسم قطاعات الدورات الزراعية إلى عدة حقول يُحدد عددها ومساحتها في الدورة الزراعية المهندس الزراعي بالاعتماد على نوع المحاصيل مع الأخذ بالاعتبار الشروط المناخية والترابية والهيدروجيولوجية، والمُتطلبات التقنية والزراعية للمزارع. يتراوح عدد هذه القطاعات عادةً بين خمسة إلى عشرة قطاعات. ويجب أن تُحقق أراضي قطاعات الدورة الزراعية (الحقول) المتطلبات التالية:

آ- يجب أن تكون أراضي الدورة الزراعية مستوية بانتظام ويُسمح بانحراف لا يتجاوز: $5-10\%$. ب- يجب أن تمتلك الأرض شكلاً مريحاً ومقاسات من أجل مكننة الأعمال الحقلية. ج- يجب أن تكون الأرض مُتجانسة حسب تضاريس سطح التربة وحسب الشروط الترابية والهيدروجيولوجية وشروط استصلاح الأراضي.

تُقسم القنوات الزراعية الداخلية الدائمة والطرق وقنوات الصرف في أراضي الري إلى قطاعات السقاية، التي يتعلق توزعها ومقاساتها بتضاريس مساحات الري وشكلها. ويُمكن أن تكون بحقول مُتساوية بحيث تُشكل جزء من الحقل أو تُشكل عدة قطاعات من الحقول.

تُخصص أراضي الري في مجموعة قطاعات، ويجب أن يُحقق توزع القطاع ومقاساته ما يلي: تنظيم صحيح للعمل ولوسائل الإنتاج، واستخدام فعال للأرض وللمياه وللتقنية الزراعية، وجودة للسقاية والتقنية الزراعية المطلوبة. تشغل الأراضي خارج الدورة الزراعية بالبساتين وبأشجار الكرمة والفواكه وبأشجار الحراج وغيرها.

تُعدّ الأنهار والبحيرات والسدود السطحية والأحواض المائية المصادر الرئيسية للري.

يُخصص القطاع الأساسي لنظام الري من أجل سحب المياه من المصدر المائي إلى القناة الرئيسية بكميات مطلوبة في فترة معينة. يدخل في تكوين القطاع الأساسي لنظام الري المُنشآت التالية: مُنشأة سحب المياه الرئيسية، ومُنشأة تنظيم الجريان في مجرى الأنهار، ومُنشأة أحواض الترسيب، إنشاء القطاع الأساسي للقناة الرئيسية، إنشاء السدود الترابية للحماية وإنشاءات مساعدة في منطقة القطاع الأساسي. إذا تدفقت المياه من الأحواض المائية إلى نظام الري فإنه يدخل في تكوين القطاع الأساسي مُنشآت السدود المائية ومُنشآت سحب المياه وصرفها وغيرها من المُنشآت. ويدخل في تكوين القطاع الأساسي عند استخدام آلات رفع المياه مُنشأة سحب المياه ومحطة الضخ وأنابيب الضخ.

تتكون شبكة قنوات الري الناقلة من القناة الرئيسية وقنوات التوزيع الزراعية وقنوات داخلية وقنوات بينية بين المزارع. تمتلك القناة الرئيسية **جزءاً غير عامل** (شوط فارغ) يبدأ من مُنشأة سحب المياه وينتهي عند أول قناة توزيع، **وجزءاً عاملاً** يبدأ من القناة الرئيسية وينتهي إلى قنوات التوزيع. يُمكن في أنظمة الري الضخمة أن تمتلك القنوات الرئيسية عدة فروع أو عدة قنوات رئيسية.

تجري المياه من القناة الرئيسية إلى قنوات التوزيع البينية ومنها تجري إلى قنوات التوزيع الزراعية. وأحياناً تجري المياه من القناة الرئيسية مباشرةً إلى قنوات التوزيع الزراعية. وتجري المياه من قنوات التوزيع الزراعية إلى قنوات التوزيع الداخلية المُختلفة الترتيب.

تجري المياه إلى الحقل من قناة التوزيع البينية الأخيرة المتوضعة عند حدود الحقل والمُسماة بالقناة القطاعية بواسطة قنوات الري المؤقتة وبواسطة أخاديد الصرف الخارجة منها وأيضاً بواسطة الأنابيب الدائمة والمتنقلة. تتدفق المياه من شبكة قنوات الري إلى الحقل عبر

عناصر المُعايرة لنظام الري – إلى الأخاديد وإلى المساكب وإلى المُستنقعات. تنقل شبكة المُعايرة المياه من حالة الجريان إلى حالة ترطيب التربة. وهي تُحقق نظام الري المطلوب للمحاصيل وتعمل عادةً بصورة مُتقطعة ما عدا حقول الرز.

يدخل في تكوين مُنشآت الحماية لأنظمة الري من الانهيار: القنوات الجبلية المُرتفعة من أجل حجز جريانات المياه السطحية وجمعها، ومن مجاري صرف المياه أسفل القنوات الضخمة أو أعلى منها ومن طرق كبيرة، ومن السدود السطحية من أجل حجز المياه الذائبة من الثلوج أو المُتسربة تحت سطح الأرض، ومُنشآت على المسيل (الوديان) من أجل وقف الجريان ومنع ازدياد تدفق المياه فيها. ... الخ. تمتلك مُنشآت الحماية أهمية كبرى في المناطق الجبلية والهضاب.

تُنشأ شبكة قنوات صرف المياه على نوعين: **شبكة صرف المياه** من أجل نقل المياه السطحية الفائضة من مساحات الري المُتشكلة من الجريانات السطحية ونتيجةً لتفريغ القنوات أو عند تعطلها ... الخ. وتُنشأ **شبكة الصرف – الدريناج** من أجل عزل الأملاح من المياه الجوفية ومن مياه غسل التربة عند اقتراب أو ارتفاع منسوبها من الطبقة السطحية للأرض.

تُنشأ الطرق الزراعية للانتقال إلى كل حقل، وتُخصص الطرق الزراعية الداخلية للانتقال بين الأراضي الزراعية وتُخصص الطرق الزراعية البينية أو الجانبية لربط كل مزرعة مع الشوارع الرئيسية ومع المرافئ على الأنهار والشواطئ أو مع المراكز الإدارية، وتُخصص الطرق الاستثمارية من أجل خدمة شبكة قنوات الري والصرف والمُنشآت المائية عليها وخدمة مُنشأة سحب المياه.

تُنشأ خطوط الأشجار السريعة النمو لارتفاع غير كبير في الأراضي المروية من أجل إنقاص سرعة الرياح فوق سطح الأرض، وتُوزع خطوط الأشجار على طول قنوات الري والصرف وعلى طول الطرق من الجهتين.

تُشيد المُنشآت المائية على شبكة قنوات الري من أجل التنظيم والتحكم بتدفق المياه إلى نظام قنوات الري (الغزارة، السرعة، ارتفاع مستوى المياه) ومن أجل صرف المياه من شبكة الصرف. وتُشيد المُنشآت المائية على شبكة الطرق عند تقاطعها مع القنوات ومع أحواض تجميع المياه ومجاريها ومع غيرها من الطرق والحواجز الطبيعية المُختلفة. وتُشيد المُنشآت المائية في المساحات المروية من أجل مُراقبة مستوى المياه الجوفية ومُتابعتها (رصد الأبار وغيرها). إضافة

لهذه المُنشآت تُشيد على أنظمة قنوات الري مُنشآت ثانوية مُساعدة كالمُنشآت الإنتاجية والخدمية وورشات عمل من أجل ربط الوسائل وغيرها.

يتعلق نوع نظام قنوات الري بالمحاصيل الزراعية المروية السائدة في الدورة الزراعية وبالشروط الطبيعية والزراعية وبتطور تقنية الري. يُسمى **نظام قنوات الري** المتوضع على الأرض لعدة مزارع **بنظام الري البيني** أي بين المزارع. أما **نظام قنوات الري** لمزرعة واحدة فيُسمى نظام الري الزراعي الداخلي.

الفصل الثاني
نظام ري المحاصيل الزراعية

2-1- الشروط المثالية لنمو المحاصيل الزراعية:

يهدف استصلاح الأراضي بالري إلى تشكيل النظام المائي في الحقول الزراعية ومُعايرته، الذي يُحقق إنتاجية عالية للمحاصيل الزراعية. يتعلق النظام المائي مُباشرةً بالظروف المناخية والترابية والهيدروجيولوجية والزراعية، وبالقدرة البيولوجية للمحاصيل الزراعية وبإنتاجيتها، وبالتقنية الزراعية، وبأساليب السقاية التقنية.

من المُهم جداً المعالجة الصحيحة لنظام ترطيب التربة لأن النظام المائي للتربة يُنظم جميع الأنظمة الباقية لها كالنظام الغذائي والملحي والحراري ونظام التهوية التي لها أهمية كبرى في حياة المحاصيل وفي تشكيل حساب الإنتاجية. وهكذا فإن تسميد التربة بصورة خاصة في مناطق الرطوبة المُنخفضة فعال فقط عند الري. تزداد الإنتاجية على سبيل المثال لمحاصيل الحبوب المروية مرتين وأكثر بالمُقارنة مع المحاصيل البعلية عند ذات الظروف.

تتغذى جذور المحاصيل الزراعية عند إضافة الأسمدة مع مياه الري. إضافةً لذلك فإن مياه الري تحمل إلى التربة مواد مُغذية (عادة جزيئات الطمي). يُحدد تغير النظام الحراري للتربة عند الري بشدة التبخر من سطح الحقل بعد السقاية وأيضاً بدرجة حرارة مياه الري ذاتها. تُخفض السقاية درجة حرارة الهواء المُرتفعة أكثر في فترات مُعينة، وترفعها في فترات انخفاضها (ساعات الليل، قبل صقيع الخريف وبعد صقيع الربيع) على حساب السعة الحرارية الكبيرة للمياه وعلى حساب ارتفاع درجة حرارتها أكثر بالمُقارنة مع حرارة الهواء.

يُؤثر الري في تركيز محلول التربة ويُغّير محتوى الأملاح فيها، ويطرد الهواء من مساماتها. تُحدد مياه الري نظام التهوية للتربة. ويُظهر ارتفاع رطوبة الهواء تأثيراً مُناسباً في نمو المحاصيل الزراعية. يُشكل النظام المائي المطلوب للمحاصيل للتربة نظام الري المُطابق. ويُحدد نظام الري مُعدلات السقاية وفتراتتا وعدد مراتها للمحاصيل الزراعية. وأيضاً كما في النظام المائي للتربة يتعلق نظام الري بالقدرة البيولوجية للمحاصيل الزراعية وبالشروط الطبيعية والزراعية.

نظام الري يعني تغذية المياه على سطح الحقل وتحويلها لترطيب التربة، ويتم ذلك باستخدام أساليب مُختلفة وباستخدام تقنية السقاية.

يتعلق النظام الحسابي للري بإيجاد النظام المائي التصميمي للتربة الذي نجده بعلاقة مباشرة وواضحة مع الإنتاجية الحسابية للمحاصيل الزراعية. نجد الإنتاجية الحسابية نتيجةً للحسابات الاقتصادية، وهي عبارة عن قيمة معينة عند تصميم نظام الري. كي يتحقق نظام الري المُطابق للإنتاجية الحسابية يجب تشكيل شروط مثالية للرطوبة من أجل المحاصيل الزراعية.

تحتاج المحاصيل من أجل نموها الطبيعي إلى كمية كافية من الماء والهواء والحرارة والمواد الغذائية. ولا يُمكن لها أن تنمو نمواً طبيعياً عند عدم كفاية أي منها، وذلك بالتطابق مع القانون البيولوجي الثابت لتأثير عوامل الوسط المُحيط.

2-2- الاستهلاك المائي للمحاصيل الزراعية وطرائق تحديده:

يُعرف الاستهلاك المائي بأنه حجم المياه المُستهلك في الحقول الزراعية على التبخر من المحاصيل والتبخر من التربة، ويُقاس: $[m^3/ha]$ أو $[mm]$ طبقة مياه.

الشدة (الغزارة) الكمية لمجموع الاستهلاك المائي – هي تابع لرطوبة التربة وللخواص الفيزيولوجية للمحاصيل وللشروط الميترولوجية ولمستوى التقنية الزراعية. يتعلق الاستهلاك المائي بحالة الغطاء النباتي وبالنظام الحراري للوسط المُحيط عند الاحتياطي الأمثل للرطوبة في التربة، هذا يعني يمتلك مواصفات بيومناخية.

تُستخدم طرائق حسابية غير مُباشرة (تقريبية) مُعتمدة على استخدام المُعادلات المُتميزة بديناميكا الحرارة – التبادل الرطوبي في نظام التربة – المحاصيل – الوسط الجوي من أجل تحديد مجموع الاستهلاك المائي.

يُستخدم التبخر في مُعظم الحالات عند تحديد مجموع الاستهلاك المائي، وثوابت التصحيح التي تأخذ بالاعتبار دور المحاصيل الزراعية والمناخ في التبخر من الأراضي المروية.

يُحدِّد مجموع الاستهلاك المائي: $[mm]$ مع الأخذ بالاعتبار هذه الثوابت من المُعادلة الآتية:

$$ET = k_b k_o ET_o \qquad (2\text{-}1)$$

حيث: k_b – ثابت بيولوجي يتصف بدور المحاصيل الزراعية.

k_o – ثابت المناخ.

$ET_o; [mm]$ – التبخر (التبخر الكامن من أوراق المحاصيل الزراعية أي تبخر – نتح كموني).

لاقت المعادلات الحسابية لبنمان وتورك وبلاني وكريدل استخداماً واسعاً لتحديد التبخر.

تُكتب المعادلة الحسابية لبنمان في شكلها العام الآتي:

$$ET_o = k_w R_{ef} + (1-k_w)E_x \qquad (2\text{-}2)$$

حيث: ET_o – التبخر – نتح كموني من أوراق المحاصيل؛ $[mm/day]$.

k_w – ثابت وزني يأخذ بالاعتبار تأثير الارتفاع فوق سطح البحر ويأخذ بالاعتبار درجة حرارة الهواء على التبخر، الجدول (2-1).

R_{ef} – مجموع الأشعة الشمسية الفعالة المُنعكسة (المُتبقية) في الطبقة المُكافئة للتبخر؛ $[mm/day]$.

E_x – ثابت درجة حرارة التبخر؛ $[mm/day]$.

الجدول (2-1): قيم الثابت الوزني – k_W في المعادلة (2-2).

h;[m]	درجة حرارة الهواء: C^o												
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
0	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.78
500	0.51	0.54	0.57	0.60	0.62	0.65	0.67	0.70	0.72	0.74	0.76	0.78	0.79
1000	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79	0.80
2000	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79	0.81	0.82
ملاحظة: h;[m]– الارتفاع فوق مستوي سطح البحر													

يُحدد مجموع الأشعة الشمسية الفعالة المُنعكسة في الطبقة المُكافئة للتبخر من المعادلة التالية:

$$R_{ef} = (1-\alpha)R_s - R_e \qquad (2\text{-}3)$$

حيث: α – ثابت قدرة سطح التبخر، من أجل السطح المائي: $\alpha = 0.95$.

R_s – الموجة الاشعاعية القصيرة الساقطة وتُحسب من المعادلة التالية؛ $[mm/day]$:

$$R_s = \left(0.18 + \frac{0.55N_{obs}}{N_{\max}}\right)R_a \qquad (2\text{-}4)$$

حيث: R_a – الأشعة المُنعكسة على حدود الغلاف الجوي الجدول (2-2)؛ $[mm/day]$.

N_{obs} – عدد ساعات السطوع الشمسي الحقيقي؛ $[h/day]$.

$N_{\max}$ – عدد ساعات السطوع الشمسي الأعظمي ويتعلق بخط العرض؛ $[h/day]$.

الجدول (2-2).

$[mm/day]$;R_e – طول الموجة الاشعاعية المُنعكسة، يُعدّ تابعاً لدرجة حرارة الهواء: $f(t)$ وتابعاً لمرونة البخار المائي: $f(l_d)$ وتابعاً لاستمرارية السطوع الشمسي: $f(\frac{N_{obs}}{N_{\max}})$ الجدول (2-3)، هذا يعني:

$$R_e = f(t)\, f(l_d)\, f(\frac{N_{obs}}{N_{\max}}) \qquad (2\text{-}5)$$

الجدول (2-2): الأشعة على حدود الغلاف الجوي: $[mm/day]$;R_a **والاستمرارية العظمى للسطوع الشمسي:** $[h/day]$;$N_{\max}$.

خطوط العرض الشمالية	أذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين أول
$[mm/day]$;R_a الأشعة المُتبقية على حدود الغلاف الجوي								
36	12.1	14.7	16.4	17.2	16.7	15.4	13.1	10.6
38	11.8	14.5	16.4	17.2	16.7	15.3	12.8	10.0
40	11.4	14.3	16.4	17.3	16.7	15.2	12.5	9.6
42	11.0	14.0	16.2	17.3	16.7	15.0	12.2	9.1
44	10.6	13.7	16.1	17.2	16.6	14.7	11.9	8.7
46	10.2	13.3	16.0	17.2	16.6	14.5	11.5	8.3
49	9.8	13.0	15.9	17.1	16.5	14.3	11.2	7.8
50	9.4	12.7	15.8	17.1	16.4	14.1	10.9	7.4
52	9.0	12.4	15.7	17.0	16.3	13.9	10.6	7.0
54	8.6	12.1	15.6	17.0	16.2	13.7	10.3	6.6
56	8.2	11.7	15.5	16.9	16.1	13.5	10.0	6.2
58	7.8	11.3	15.4	16.8	16.0	13.4	9.7	5.9
60	7.5	11.0	15.3	16.7	15.8	13.3	9.5	5.4
$[h/day]$;$N_{\max}$ الاستمرارية العُظمى المُمكنة للسطوع الشمسي								
36	11.9	13.1	14.0	14.6	14.4	13.5	12.4	11.3
38	11.9	13.2	14.2	14.8	14.5	13.6	12.5	11.2
40	11.9	13.3	14.4	15.0	14.7	13.7	12.5	11.2
42	11.9	13.4	14.6	15.2	14.9	13.9	12.6	11.1
44	11.9	13.4	14.7	15.4	15.2	14.0	12.6	11.0
46	11.9	13.5	14.9	15.7	15.4	14.2	12.6	10.9
49	11.8	13.6	15.2	16.0	15.6	14.3	12.6	10.9
50	11.8	13.8	15.4	16.3	15.9	14.5	12.7	10.8
52	11.8	14.0	15.6	16.6	16.2	14.7	12.7	10.8
54	11.8	14.2	15.8	16.9	16.4	14.9	12.7	10.7
56	11.7	14.5	16.0	17.2	16.6	15.1	12.8	10.7
58	11.7	14.7	16.2	17.4	16.8	15.3	12.8	10.6
60	11.7	14.9	16.4	17.6	16.9	15.5	12.8	10.6

تُحسب قيم التوابع: $f(t)$ و: $f(l_d)$ و: $f(\frac{N_{obs}}{N_{\max}})$ من المعادلات الآتية:

$$f(t) = \sigma \cdot t_K^4 = \frac{118(273+t)^4 \cdot 10^{-9}}{L} \qquad (2\text{-}6)$$

حيث: σ – ثابت ستيفان بولتسيمان.

$t_K = 273 + t; [C^o]$ – درجة الحرارة بالكلفن. K^o .

$t; [C^o]$ – درجة حرارة الهواء.

$L = 59.7 - 0.055t; [lal / mm]$ – الحرارة الكامنة للتبخر.

$$f(l_d) = 0.56 - 0.092\sqrt{l_d} \qquad (2\text{-}7)$$

حيث: $l_d; [mm]$ – المرونة الفعلية المُشبعة.

$$f(\frac{N_{obs}}{N_{\max}}) = 0.1 + 0.9\frac{N_{obs}}{N_{\max}} \qquad (2\text{-}8)$$

يُحدد ثابت درجة حرارة التبخر في المعادلة (2-2) من المعادلة الآتية:

$$E_x = (l_a - l_d) f(v) = 0.35d(1 + 0.54v) \qquad (2\text{-}9)$$

حيث: $l_a; [mm]$ – مرونة البخار المُشبعة.

$l_d; [mm]$ – المرونة الفعلية المُشبعة.

تُعدّ الحسابات في معادلة بنيمان بسيطة عند وجود المُعطيات الأولية. تُستخدم معادلة بلاني – كريدل لحساب التبخر – النتح الكموني (التبخر من أوراق المحاصيل) في الأعوام الأخيرة في شكلها المُعدل التالي:

$$ET_o = n(0.46t + 8.13)k_\sigma \qquad (2\text{-}10)$$

حيث: $ET_o; [mm / day]$ – التبخر الكامن من أوراق المحاصيل.

$n; [\%]$ – النسبة المئوية بين متوسط ساعات النهار في يوم لهذا الشهر ومجموع ساعات النهار في السنة.

$t; [C^o]$ – حرارة الهواء.

k_σ – ثابت تصحيح يأخذ بالاعتبار رطوبة الهواء واستمرارية السطوع الشمسي وسرعة الرياح.

$$k_\sigma = f(\varphi) f(N_{obs} / N_{\max}) f(v) \qquad (2\text{-}11)$$

$f(\varphi) = 2(1-0.009\varphi);\ldots f(N_{obs}/N_{\max}) = 0.34 + 0.5N_{obs}/N_{\max});\ldots f(v) = 1 + 0.06v_2$

حيث: $\varphi;[\%]$ – الرطوبة النسبية للهواء.

$v_2;[m/s]$ – سرعة الرياح على ارتفاع: $2[m/s]$ من سطح الأرض.

تُعدّ معادلة بلاني – كريدل بسيطة جداً وتعتمد على استخدام معلومات أولية كافية وتُبين الجدول (2-3-2,4-2,5-2,6-2,7-2) هذه المعلومات بالتفصيل.

الجدول (2-3): النسبة المئوية بين عدد ساعات النهار في اليوم ومجموع ساعات النهار في السنة: $n;[\%]$.

خطوط العرض الشمالية	أذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين أول
36	0.27	0.29	0.31	0.32	0.32	0.30	0.28	0.25
38	0.27	0.30	0.32	0.33	0.32	0.30	0.28	0.25
40	0.27	0.30	0.32	0.34	0.33	0.31	0.28	0.25
42	0.27	0.30	0.33	0.34	0.33	0.31	0.28	0.25
44	0.27	0.30	0.33	0.35	0.34	0.31	0.28	0.25
46	0.27	0.30	0.34	0.35	0.34	0.32	0.28	0.24
49	0.27	0.31	0.34	0.36	0.35	0.32	0.28	0.24
50	0.27	0.31	0.34	0.36	0.35	0.32	0.28	0.24
52	0.27	0.31	0.35	0.37	0.36	0.33	0.28	0.24
54	0.26	0.31	0.36	0.38	0.37	0.33	0.28	0.23
56	0.26	0.32	0.36	0.39	0.38	0.33	0.28	0.23
58	0.26	0.32	0.37	0.40	0.39	0.34	0.28	0.23
60	0.26	0.32	0.38	0.41	0.40	0.34	0.28	0.22

معادلة تورك: أعطى تورك معادلة لحساب التبخر – النتح الكموني من أوراق المحاصيل الشكل الآتي: $[mm/mec]$:

$$ET_o = 23.4(R_{act} + 0.85)\left(\frac{t}{t+15}\right) \qquad (2\text{-}12)$$

وتُحدد الأشعة الشمسية الساقطة على السطح الأفقي: $R_{act};[mm/day]$ من المعادلة التالية:

$$R_{act} = R_a\left(0.18 + 0.062\frac{N_{obs}}{N_{\max}}\right) \qquad (2\text{-}13)$$

حيث: $R_a;[mm/day]$ – الأشعة الشمسية الساقطة على حدود الغلاف الجوي.

$t;[C^o]$ – درجة حرارة الهواء اليومية الوسطية.

$N_{obs};[h/day]$ – عدد ساعات السطوع الشمسي الحقيقي.

$N_{\max}$ – عدد ساعات السطوع الشمسي الأعظمي ويتعلق بخط العرض. $[h/day]$;

الجدول (2-4): قيم التوابع: $f(t)$ **و:** $f(l_d)$ **و:** $f(\frac{N_{obs}}{N_{\max}})$ **:**

حرارة الهواء: $t;[C^o]$	6	8	10	12	14	16	18
التابع: $f(t)$	12.0	12.4	12.7	13.1	13.5	13.8	14.2
المرونة الفعلية للبخار المائي: $l_d;[mm]$	6	8	10	12	14	16	18
التابع: $f(l_d)$	0.34	0.30	0.27	0.24	0.22	0.19	0.17
النسبة: $\frac{N_{obs}}{N_{\max}}$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
التابع: $f(\frac{N_{obs}}{N_{\max}})$	0.10	0.19	0.28	0.37	0.46	0.55	0.64

تابع الجدول (2-4): قيم التوابع: $f(t)$ **و:** $f(l_d)$ **و:** $f(\frac{N_{obs}}{N_{\max}})$ **:**

حرارة الهواء: $t;[C^o]$	20	22	24	26	28	30	32
التابع: $f(t)$	14.6	15.0	15.4	15.9	16.3	16.7	17.2
المرونة الفعلية للبخار المائي: $l_d;[mm]$	20	22	24	26	28	30	32
التابع: $f(l_d)$	0.15	0.13	0.11	0.09	0.07	0.06	0.04
النسبة: $\frac{N_{obs}}{N_{\max}}$	0.7	0.8	0.9	1.0			
التابع: $f(\frac{N_{obs}}{N_{\max}})$	0.73	0.82	0.91	1.0			

الجدول (2-5): قيم تابع رطوبة الهواء: $f(\varphi)$ **:**

الرطوبة النسبية للهواء – $\varphi;[\%]$	10	20	30	40	50	60	70	80	90
التابع: $f(\varphi)$	1.82	1.64	1.46	1.28	1.10	0.92	0.74	0.56	0.38

الجدول (2-6): قيم تابع السطوع الشمسي: $f(\frac{N_{obs}}{N_{\max}})$:

النسبة: $\frac{N_{obs}}{N_{\max}}$	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
التابع: $f(\frac{N_{obs}}{N_{\max}})$	0.44	0.49	0.54	0.59	0.64	0.69	0.74	0.79	0.84

الجدول (2-7): قيم تابع سرعة الرياح: $f(v)$:

سرعة الرياح – $v_2;[m/s]$ على ارتفاع: $2[m/s]$ من سطح الأرض.	0	1	2	3	4	5	6	7	8
التابع: $f(v)$	1.0	1.06	1.11	1.18	1.24	1.30	1.36	1.42	1.48

2-3- معدل الري:

معدل الري: هو حجم المياه المنقول إلى واحد هيكتار لمساحة الري خلال فترة نمو المحاصيل الزراعية. وهو يُحدد باعتباره فرقاً بين مجموع الاستهلاك المائي للمحصول وبين ما يحتاجه من الرطوبة الطبيعية للمحاصيل وتُقاس: $[m^3/hr]$ أو: $[mm]$ طبقة (عمود) مياه. وهو عادةً يُطابق النقص بالاستهلاك المائي للمحاصيل خلال فترة النمو.

$$M_{nt} = \sum_{i=1}^{n} d_{wh} \qquad (2\text{-}14)$$

حيث: M_{nt} – معدل الري الصافي.

$\sum_{i=1}^{n} d_{wh}$ – مجموع النقص بالاستهلاك المائي للمحاصيل خلال الفترة الحسابية.

يُمكن حساب النقص بالاستهلاك المائي لأي فترة نمو وفق معادلة التوازن المائي التي تأخذ الشكل المُبسط التالي:

$$d_{wh} = ET_{crop} - W_a - P_{ef} - V_{gr} \qquad (2\text{-}15)$$

حيث: ET_{crop} – مجموع الاستهلاك المائي للمحاصيل خلال فترة النمو.

W_a – الاحتياطي الفعال للرطوبة الذي تستطيع المحاصيل الاستفادة منه.

P_{ef} – الهطولات المطرية المُؤثرة خلال فترة النمو.

V_{gr} – استخدام المياه الجوفية.

يُحدد الاحتياطي الفعال للرطوبة في هذه المعادلة كفرق بين احتياطي الرطوبة الفعلي: $W_o;[mm]$في الطبقة الترابية الحسابية: h_w واحتياطي الرطوبة المسموح به (قبل السقاية): $W_{cr};[mm]$في ذات الطبقة، هذا يعني:

$$W_a = W_o - W_{cr} \qquad (2\text{-}16)$$

هنا:

$$W_o = \gamma h_w w_o \qquad (2\text{-}17)$$

$$W_{cr} = \gamma h_w w_{cr} \qquad (2\text{-}18)$$

حيث: $\gamma;[ton/m^3]$ – الوزن الحجمي للتربة.

$h_w;[m]$ – سماكة الطبقة الترابية الحسابية.

$w_o;[\%]$ – الرطوبة الفعلية في الطبقة الحسابية، تُؤخذ % من كتلة التربة الجافة المُطلقة.

$w_{cr};[\%]$ – الرطوبة الحرجة أو المسموح بها في ذات الطبقة الترابية الحسابية، %.

يُمكن تحديد رطوبة التربة الحرجة (قبل السقاية) وفق المعادلة التالية:

$$w_{cr} = 0.5(w_{FC} + w_{PWP}) \qquad (2\text{-}19)$$

حيث: $w_{FC};[\%]$ – سعة الرطوبة الحقلية (سعة الاحتفاظ بالمياه) للتربة.

$w_{PWP};[\%]$ – رطوبة الذبول، %.

يُمكن حساب الرطوبة الحرجة للتربة بالنسبة المئوية من: w_{FC} عند انعدام المُعطيات عن رطوبة الذبول. الجدول (2-8).

الجدول (2-8): قيم الرطوبة الحرجة بالنسبة المئوية من: w_{FC} .

$w_{cr} = (0.50.....0.65)w_{FC}$	**من أجل التربة الرملية والخفيفة**
$w_{cr} = (0.65.....0.75)w_{FC}$	**من أجل التربة المتوسطة**
$w_{cr} = (0.75.....0.80)w_{FC}$	**من أجل التربة الثقيلة والطينية**

تُطابق القيم المُنخفضة للرطوبة الاحتياطية قبل السقاية مع المحاصيل المُقاومة للجفاف، وتُطابق القيم المُرتفعة للرطوبة الاحتياطية قبل السقاية مع المحاصيل المُحبة (العاشقة) للرطوبة.

يُبين الجدول (2-9) المُعطيات التقريبية عن السعة الرطوبية وعن احتياطي الرطوبة الحرجة: W_{cr} واحتياطي الرطوبة الفعالة: W_a .

الجدول (9-2): القيم التقريبية للسعة الرطوبية الأصغرية، واحتياطي الرطوبة الحرجة واحتياطي الرطوبة الفعالة في الطبقة المترية للتربة: $[mm]$.

نوع التربة	w_{FC}	W_{cr}	W_{act}
من أجل التربة الرملية والخفيفة	120….200	60….120	60….80
من أجل التربة المتوسطة	210….280	150….190	60….90
من أجل التربة الثقيلة والطينية	290….360	220….260	70….100

تتعلق الهطولات المطرية بتكرار وبغزارة تساقطها. يُقيم ثابت استخدام الأمطار: α في مرحلة الحسابات التصميمية كالتالي: إذا:

$$P \le ET_{crop} + (W_{FC} - W_O) \qquad (2\text{-}20)$$

فإن: $\alpha = 1$ ، أما إذا:

$$P \rangle ET_{crop} + (W_{FC} - W_O) \qquad (2\text{-}21)$$

فإن:

$$\alpha = \frac{ET_{crop} + (W_{FC} - W_O)}{P} \qquad (2\text{-}22)$$

حيث: $ET_{crop}; [mm]$ – مجموع الاستهلاك المائي (التبخر والنتح) للمحاصيل خلال الفترة الحسابية.

$W_{FC}; [mm]$ – السعة الرطوبية الأصغرية (قدرة الاحتفاظ بالمياه) للحساب الأعظمي لطبقة التربة من أجل محصول مُعين.

$W_O; [mm]$ – احتياطي الرطوبة البدائي (قبل هطول الأمطار) في ذات الطبقة الترابية.

$P; [mm]$ – كمية الأمطار الهاطلة.

إن مصادر الطاقة الجوية في مناطق الرطوبة المُرتفعة لا تكفي لتبخر الأمطار الهاطلة، لأن قسماً منها يضيع على الجريانات السطحية وعلى التسرب إلى خارج حدود منطقة التغذية للجذور. ولا تُستخدم حتى: 50%.....40 من الأمطار الهاطلة في فترات مُنفصلة لنمو المحاصيل الزراعية. لهذا السبب بالربط مع أن السعة الحرة المُدخرة لطبقة التربة الحسابية دائماً محدودة (لا تتجاوز: $[mm]$100.....50)، تظهر ضرورة الري للمحاصيل الزراعية في هذه المنطقة عند هطولات مطرية موسمية كبيرة. لذلك الفاصل الزمني يجب ألاّ يتجاوز عشرة أيام من

أجل حسابات التوازن لمُعدلات الري في مناطق الرطوبة المُرتفعة. تُجرى الحسابات وفق شهر مُعين وهذا يُؤدي إلى انخفاض مُعدلات الري بنسبة: 50%.....20 .

يتعلق دور المياه الجوفية في إمداد المحاصيل بالرطوبة بعمق توضع منسوبها، وبقدرة النظام الجذري للمحاصيل وبالبنية الجيولوجية الصخرية لمنطقة التهوية، وأيضاً بتكرار ترطيب سطح التربة بالأمطار الجوية وبالسقايات. يُمكن استخدام المُعادلة الآتية لحساب الاستخدام الشعري للمياه الجوفية عند انعدام المُعطيات التجريبية:

$$V_{gr} = ET_{crop} K_{gr} \qquad (2\text{-}23)$$

حيث: V_{gr} – المياه الجوفية المُستخدمة.

ET_{crop} – مجموع الاستهلاك المائي (التبخر والنتح) للمحاصيل خلال الفترة الحسابية.

K_{gr} – ثابت استخدام المياه الجوفية، يُؤخذ بالنسبة المئوية من الاستهلاك المائي.

يُمكن تحديد ثابت استخدام المياه الجوفية من أجل الحسابات التقريبية من الجدول (2-10) أو من الرسم البياني المُبين في الشكل (2-1).

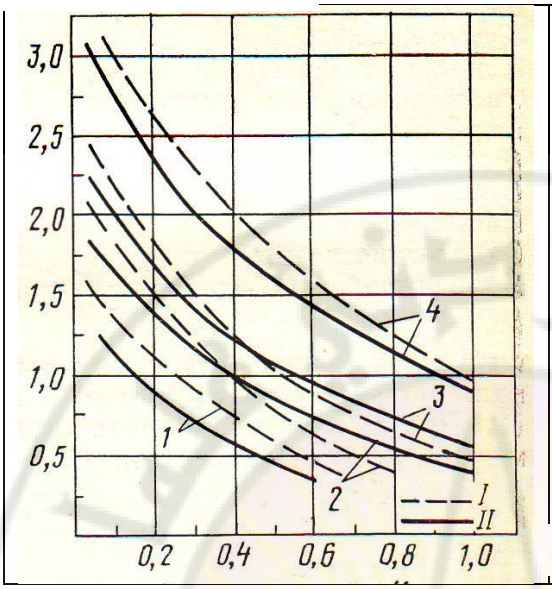
الجدول (2-10): علاقة ثابت استخدام المياه الجوفية: k_{gr} تبعاً للعلاقة مع عمق المياه، ونوع التربة وعمق منطقة الجذور.

عمق المياه الجوفية: $h_{gr};[m]$	تربة خفيفة وفق تركيبها الميكانيكي				تربة ثقيلة وفق تركيبها الميكانيكي			
	سطح دون غطاء نباتي	محاصيل ذات نظام جذري: $[m]$			سطح دون غطاء نباتي	محاصيل ذات نظام جذري: $[m]$		
		0.6$[m]$	1$[m]$	⟩1$[m]$		0.6$[m]$	1$[m]$	⟩1$[m]$
0.5	**0.45**	**0.85**	**1.00**	**1.00**	**0.55**	**0.75**	**0.95**	**1.0**
1.0	**0.15**	**0.4**	**0.55**	**0.9**	**0.25**	**0.35**	**0.5**	**0.95**
1.5	-	**0.15**	**0.25**	**0.55**	**0.05**	**0.2**	**0.3**	**0.65**
2.0	-	-	**0.1**	**0.3**	-	**0.05**	**0.15**	**0.4**
2.5	-	-	-	**0.15**	-	-	**0.05**	**0.25**
3.0	-	-	-	**0.05**	-	-	**0**	**0.10**

ملاحظة: يُخفض الثابت: K_{gr} المُبين في الجدول أعلاه بمقدار: 2-1.5 مرة إذا كانت المياه الجوفية المعدنية مالحة.

يجب تحديد كمية مياه الري بالتنبؤ بالنظام الملحي في منطقة التهوية في الأراضي المُنحدرة المالحة (على سبيل المثال عند التوضع القريب للمياه المعدنية الجوفية) من أجل تحقيق نظام الغسل بالري.

عمق منسوب المياه الجوفية: [m]



الشكل (2-1): تغير الثابت: k_{gr} الذي يصف استخدام المياه الجوفية بالنسبة من مجموع التبخر (الاستهلاك المائي): ١- السطح دون غطاء نباتي، ٢- الغطاء النباتي بعمق جذور حتى: $0.6[m]$، ٣- أيضاً بعمق: $1[m]$، ٤- أيضاً بعمق أكبر من: $1[m]\rangle$، I- تربة ثقيلة وفق تركيبها الميكانيكي، II- تربة خفيفة وفق تكوينها الميكانيكي.

يُمكن تحديد طبقة التربة الفعالة (الطبقة المُغذية للجذور) من أجل محاصيل زراعية مُختلفة باستخدام الجداول (2-11;2-12) عند تحديد النقص بالاستهلاك المائي.

الجدول (2-11): ديناميكا ازدياد طبقة التربة الفعالة (المُغذية للجذور) الموسمية الداخلية $[m]$ في أراضي المناطق الرطبة.

المحاصيل	الرقم النظامي لكل عشرة أيام من بداية النمو						
	1	2	3	4	5	6	7
قمح شتوي	0.50	0.50	0.60	0.70	0.75	0.80	0.80
قمح ربيعي	0.35	0.35	0.40	0.55	0.70	0.75	0.80
بطاطا متأخرة	0.30	0.30	0.35	0.45	0.55	0.60	0.65
ذرة للعلف	0.35	0.40	0.50	0.60	0.70	0.75	0.80
ملفوف متأخر	0.30	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55
خضار خيار وبندورة ... الخ	0.30	0.35	0.40	0.45	0.80	0.50	0.50
جذور درنية علفية	0.30	0.35	0.40	0.50	0.60	0.70	0.70
فصة تُبذر لعام واحد	0.30	0.30	0.35	0.45	0.60	0.70	0.75
فصة مُعمرة لعدة سنوات	0.55	0.60	0.70	0.85	0.90	0.90	0.90
مروج ومراعٍ	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.60	0.60
أعشاب لعام واحد	0.30	0.35	0.40	0.50	0.60	0.70	0.70
مزروعات مُعمرة	0.60	0.65	0.70	0.85	0.90	0.90	0.90

تابع الجدول (2-11).

المحاصيل	الرقم النظامي لكل عشرة أيام من بداية النمو						
	8	9	10	11	12	13	14
قمح شتوي	0.80	0.80	-	-	-	-	-
قمح ربيعي	0.80	0.80	-	-	-	-	-
بطاطا متأخرة	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	-	-
ذرة للعلف	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	-	-
ملفوف متأخر	0.55	0.55	0.55	0.60	0.60	0.60	-
خضار خيار وبندورة ... الخ	0.50	0.50	0.50	0.50	-	-	-
جذور درنية علفية	0.70	0.70	0.70	-	-	-	-
فصة تُبذر لعام واحد	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	-
فصة مُعمرة لعدة سنوات	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	-
مروج ومراعي	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	-
أعشاب لعام واحد	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	-
مزروعات مُعمرة	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90

الجدول (2-12): ديناميكا ازدياد طبقة التربة الفعالة (المُغذية للجذور) الموسمية الداخلية $[m]$ في أراضي المناطق الجافة.

المحاصيل	الرقم النظامي لكل عشرة أيام من بداية النمو						
	1	2	3	4	5	6	7
قمح شتوي	0.55	0.65	0.75	0.85	0.90	0.90	0.90
قمح ربيعي	0.40	0.45	0.55	0.70	0.80	0.85	0.90
بطاطا متأخرة	0.35	0.40	0.45	0.55	0.65	0.70	0.75
ذرة للعلف	0.35	0.45	0.50	0.65	0.75	0.85	0.90
ملفوف متأخر	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
خضار خيار وبندورة ... الخ	0.30	0.35	0.40	0.50	0.55	0.60	0.60
شوندر سكري	0.35	0.40	0.45	0.55	0.70	0.75	0.80
فصة مُعمرة لسنوات سابقة	0.60	0.70	0.75	0.85	0.90	0.90	0.90
فصة تُبذر لعام واحد	0.35	0.35	0.40	0.50	0.65	0.75	0.80
أعشاب مُعمرة لسنوات عديدة	0.45	0.50	0.55	0.60	0.60	0.60	0.60
مروج ومراعي	0.50	0.55	0.65	0.75	0.80	0.80	0.80
أعشاب لعام واحد	0.35	0.40	0.50	0.60	0.75	0.80	0.80
مزروعات مُعمرة	0.75	0.80	0.90	0.95	1.00	1.00	1.00

تابع الجدول (2-12).

المحاصيل	الرقم النظامي لكل عشرة أيام من بداية النمو						
	8	9	10	11	12	13	14
قمح شتوي	0.90	0.90	-	-	-	-	-
قمح ربيعي	0.90	0.90	0.90	-	-	-	-
بطاطا متأخرة	0.75	0.75	0.85	0.75	0.75	-	-
ذرة للعلف	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	-	-
ملفوف متأخر	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	-
خضار خيار وبندورة ... الخ	0.60	0.60	0.60	0.60	-	-	-
جذور درنية علفية	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
فصة تُبذر لعام واحد	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
فصة مُعمرة لسنوات سابقة	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
مروج ومراعي	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
أعشاب مُعمرة لسنوات عديدة	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
أعشاب لعام واحد	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
مزروعات مُعمرة	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

يُمكن استخدام المعادلات التالية عند تحديد النقص بالاستهلاك المائي خلال فواصل زمنية مُنفصلة:

$$ET_{crop} \rangle P_t + W_a \qquad (2\text{-}24)$$

$$ET_{crop} \langle P_t + W_a \qquad (2\text{-}25)$$

حيث: – ET_{crop} – مجموع الاستهلاك المائي (التبخر والنتح) للمحاصيل خلال الفترة الحسابية.

W_a – الاحتياطي الفعال للرطوبة في الطبقة الحسابية.

في **الحالة الأولى** النقص بالاستهلاك المائي موجب ويُحسب من المعادلة التالية: $d_{ET} = ET - P_t\alpha_t - W_a - V_{gr}$ وفي **الحالة الثانية** يُساوي الصفر، هذا يعني: $d_{ET} = 0$.

تُعدّ تجربة استخدام الطرائق الحسابية لتحديد معدلات الري مُناسبة الحساب كل عشرة أيام (وفق القيم الأولية المُعينة كل عشرة أيام). وتنخفض صحة النتائج عند زيادة الفاصل الزمني الحسابي.

تأخذ مُعدلات الري بالاعتبار تغير الظروف المناخية والخواص البيولوجية للمحاصيل الزراعية، وتتغير جوهرياً حسب المساحة ووفق الأعوام.

تتغير معدلات الري المساحية وفق العلاقة بالحرارة وبالرطوبة المُتوفرة التي يُمكن تقويمها بثابت ترطيب المساحة: k_u الجدول (2-13). حيث: $k_u = \frac{(W_a + P)}{ET}$ حيث: W_a – الاحتياطي الفعال لرطوبة التربة في طبقة عمقها متر واحد في بداية الفترة الحسابية. P – كمية الأمطار الهاطلة في ذات الفترة الحسابية. ET – التبخر (التبخر – النتح) خلال الفترة الحسابية اعتباراً من درجة حرارة الهواء: $t = 5[C^o]$.

الجدول (2-13): معدلات الري البيومناخية المثالية للأعشاب المُعمرة في مناطق طبيعية – مناخية مُختلفة عند أعماق كبيرة لتوضع المياه الجوفية.

المنطقة الطبيعية	المعدلات التقريبية الصافية: $[mm]$ لاحتمالات التجاوز المُختلفة %			ثابت ترطيب المساحة: k_u
	95	75	50	
رطبة	180	90	65	1.1…1.2
رطبة	220	130	80	1.1…1.0
رطبة	260	160	105	1.0…0.9
رطبة	360	190	130	0.9…0.8
معتدلة	370	240	170	0.8…0.7
معتدلة	490	290	210	0.7…0.6
رطبة	310	190	130	0.8…0.9
معتدلة	360	240	170	0.7…0.8
معتدلة	430	300	210	0.6…0.7
معتدلة	480	360	280	0.5…0.6
جافة	530	410	320	0.4…0.5
جافة	410	290	200	0.6…0.7
جافة	470	350	270	0.5…0.6
جافة	510	400	330	0.4…0.5
شبه جافة	620	510	430	0.3…0.4
شبه جافة	740	640	570	0.2…0.3
قاحلة	880	790	720	0.1…0.2
معتدلة	400	280	210	0.6…0.7
معتدلة	470	350	270	0.5…0.6

جافة	500	390	320	0.4…0.5
شبه جافة	610	500	420	0.3…0.4
شبه قاحلة	740	640	570	0.2…0.3
قاحلة	880	780	720	0.1…0.2
قاحلة	980	890	830	0.05…0.1

من خلال الخصائص في المناطق نجد أن معدل الري وثابت الترطيب يرتبطان بعلاقة عكسية. بإنقاص ثابت الترطيب يزداد معدل الري وبالعكس. يتميز تغير معدلات الري وفق الأعوام بثابت التحويل: C_V . كلما كانت المساحة جافة كان ثابت التحويل: C_V أصغر. يُشكل ثابت تحويل معدلات الري في الشروط الجافة: $C_V = 0.05.....0.1$ ويُشكل في الشروط الرطبة: $C_V = 0.8.....1.0$.

لا يُمكن التخلص في عملية السقاية من ضياعات المياه عديمة الفائدة مباشرةً في أرض الري وفي شبكة الري. يجب الأخذ بالاعتبار مُخططات استخدام المياه الفعلية عند تصميمها. تضيع المياه بالتسرب إلى خارج حدود المنطقة المُغذية للجذور وبالصرف السطحي عند أساليب السقاية السطحية في أرض الري. تُشكل ضياعات المياه هذه عادةً: 5.....25% . بالإضافة لذلك لا يُمكن التخلص من ضياعات المياه من شبكة الري. يُقوّم مجموع ضياعات المياه في أنظمة الري الزراعية الداخلية (في الشبكات) بثابت التأثير المُفيد η ويُساوي: 0,8---0,75. لذلك يُحدد معدل الري الكلي: M_{br} وفق المعادلة التالية:

$$M_{br} = M_{nt} / \eta \qquad (2\text{-}26)$$

2-4- معدلات السقاية وفترات السقاية:

معدل السقاية: هو حجم المياه المنقول لري هيكتار واحد لمرة واحدة. ويُقاس باعتباره مُعدّل الري: $[m^3 / hr]$ أو: $[mm]$ طبقة مياه. يتعلق معدل السقاية بالخواص الفيزيا مائية للتربة وبالتضاريس وبنوع المحصول وبأسلوب السقاية وتكنولوجيتها. ويُمكن تحديد القيم الحسابية لمعدل السقاية باعتبارها قانوناً من معادلة كوستياكوف المُقترحة التالية:

$$m_{nt} = W_{FC} - W_{cr} = 10\gamma h_w (w_{FC} - w_{cr}) \qquad (2\text{-}27)$$

حيث: $[mm]$; m_{nt} - معدل السقاية الحسابي.

$[mm]$; W_{FC} - احتياطي الرطوبة المُطابق للسعة الحقلية في طبقة التربة الحسابية.

$[mm];W_{cr}$ – احتياطي الرطوبة المسموح به أو الاحتياطي الفعلي للرطوبة في ذات الطبقة الحسابية.

$[m];h_w$ – العمق الحسابي لطبقة التربة المروية.

$[ton/m^3];[gr/cm^3];\gamma$ – الوزن الحجمي لطبقة التربة الحسابية.

$[\%];w_{cr};w_{FC}$ – رطوبة التربة المُطابقة للسعة الحقلية وحد (بدء الجفاف) المسموح به، % من الكتلة.

يُحدِّد معدل السقاية من هذه المعادلة انطلاقاً من شرط تحقيق الرطوبة في طبقة التربة الحسابية حتى السعة الحقلية.

تُستخدم ثوابت تصحيح عند انعدام المُعطيات الفعلية عن الخواص الفيزيا مائية للتربة. رطوبة التربة الرملية والخفيفة المُطابقة للسعة الحقلية نجدها في المجالات: للترب الرملية 12%....4، وللترب الخفيفة: 16%....12 وللترب المتوسطة: 25%....18 وللتربة الثقيلة في المجال: 30%....24 من كتلة التربة الجافة.

يُمكن حساب حد بدء الجفاف المسموح به للتربة قبل السقاية من العلاقة الآتية:

$$w_{cr} = 0.5(w_{FC} + w_{PWP}) \qquad (2\text{-}28)$$

حيث: $[\%];w_{PWP}$ – رطوبة حد الذبول % من الكتلة.

يُمكن استخدام المجالات التالية لتحديد رطوبة التربة الحرجة (قبل السقاية) عند انعدام المُعطيات عن رطوبة الذبول، الجدول (2-14):

الجدول (2-14): قيم رطوبة التربة الحرجة قبل السقاية عند انعدام المُعطيات عن رطوبة الذبول:

$w_{cr} = (0.50.....0.65)w_{FC}$	**من أجل التربة الرملية والخفيفة**
$w_{cr} = (0.65.....0.75)w_{FC}$	**من أجل التربة المتوسطة**
$w_{cr} = (0.75.....0.80)w_{FC}$	**من أجل التربة الثقيلة والطينية**

تتعلق الطبقة الحسابية لترطيب التربة بالبنية الليتولوجية في منطقة التهوية وبالشروط الهيدرولوجية وبقدرة النظام الجذري للمحاصيل وبسماكة الطبقة الترابية وبأسلوب السقاية وغيرها. تبلغ سماكة المنطقة الفعالة للتبادل الرطوبي عند مُعظم المحاصيل الزراعية الحقلية (الحبوب السنبلية، الذرة، والتقنية): $[m]$1....0.8 وللأعشاب المُعمرة: $[m]$1.2....1 وللبطاطا وللمحاصيل الدرنية: $[m]$0.8.....0.7 ولأعشاب المروج والمراعي: $[m]$0.7.....0.5 وللخضار: $[m]$0.6.....0.4 حتى نهاية نمو المحاصيل.

يُبين الجدول (2-15) مثالاً للري السطحي عند التوضع العميق للمياه الجوفية في الطبقة الحسابية لترطيب التربة ومعدلات السقاية من أجل عدة محاصيل زراعية.

الجدول (2-15):عمق الترطيب وقيم معدلات السقاية الصافية:$[mm]$ عند الري السطحي لأنواع مُختلفة من المحاصيل الزراعية.

المحاصيل الزراعية	عمق الترطيب الحسابي:$[m]$	التكوين الميكانيكي للتربة		
		خفيفة	وسطية	ثقيلة
الحبوب	0.5…0.7	50…70	60…80	70…90
	0.7…0.9	70…80	80…100	100…110
الذرة	0.4…0.7	50…70	60…80	70…90
	0.7…0.9	70…80	80…100	100…110
بطاطا	0.3…0.5	40…50	50…60	60…70
	0.5…0.8	50…70	60…80	70…90
شوندر سكري	0.4…0.5	40…50	50…70	60…70
	0.5…0.8	50…70	60…90	70…100
	0.8…0.9	70…80	90…100	100…110
أعشاب معمرة لعام واحد	0.4…0.6	40…60	50…70	60…80
	0.6…0.8	60…70	70…90	80…100
	0.8…1.0	70…90	90…110	110…120
أعشاب معمرة لسنوات عديدة	0.8…1.2	80…90	90…120	120…130
خضار (ملفوف، بندورة، خيار	0.2…0.3	0.2…0.3	30…40	40…50
	0.3…0.4	0.3…0.4	40…50	50…60
	0.4…0.5	0.4…0.5	50…60	60…70
مروج ومراع	0.5…0.7	0.5…0.7	60…80	70…90

يُحدد معدل السقاية مع الأخذ بالاعتبار البارامترات الاستثمارية – التقنية والوسائل التقنية وتكنولوجيا السقاية المُستخدمة عند استخدام أساليب ري أخرى (كالري بالرذاذ والري تحت سطح التربة والري بالتنقيط).

يجب حساب معدل السقاية بالإضافة إلى غزارة الرذاذ وجودته، وقدرة امتصاص التربة، وتضاريس السطح وميله عند الري بالرذاذ. وهكذا تتحقق ضرورة جودة الري بالرذاذ وفعاليته فقط عند معدلات سقاية كافية، يُمكن أن يكون معدل السقاية أصغر في التربة الثقيلة وأكبر في التربة الخفيفة وفق تكوينها الميكانيكي عند الري بالرذاذ بالاختلاف عن الري السطحي (بالجاذبية أو بالثقالة). بالتالي يجب أن يُؤسس نظام الري بالرذاذ على معدلات تكنولوجية مُمكنة للسقاية.

يجب ألاّ يتجاوز المعدل التكنولوجي للسقاية في جميع الحالات المعدل الكافي: $[mm]$ (التعرية المسموح بها، دون تشكل تعرية أو جريانات سطحية)، الذي يُمكن تحديده من معادلة إيرخوف المُقترحة التالية:

$$m = \frac{k_v}{\left(\sqrt{\rho} \cdot e^{-0.5d}\right)} \qquad (2\text{-}29)$$

حيث: $[mm]$؛ k_v – ثابت يصف قدرة التربة على امتصاص المياه. ويُؤخذ من الجدول (2-16):

الجدول (2-16): $[mm]$؛ k_v – ثابت يصف قدرة التربة على امتصاص المياه.

شديدة وشديدة جداً	جيدة	وسطية	ضعيفة وضعيفة جداً	نفاذية (مسامية) التربة
90〈	60...90	30...60	〈30	$k_v;[mm]$

$[mm/\min]$؛ ρ – غزارة الرذاذ.

e – أساس اللوغاريتم الطبيعي.

$[mm]$؛ d – القطر الوسطي لقطرة الرذاذ.

إذا كان معدل السقاية التكنولوجي الكافي أصغر من المعدل الحسابي وفق معادلة كوستياكوف، فإن المعدل الحسابي يجب أن يُحقق بعدة أساليب المُعدلات التكنولوجية ولا تتجاوز المعدل الكافي.

لا يُمكن التخلص من ضياعات المياه في الأرض عند السقاية. لذلك يُدخل ثابت تصحيح إلى المعدل الحسابي المطلوب.

تبلغ ضياعات المياه على التبخر (في الهواء ومن النبات ومن سطح التربة) في مناطق مناخية مُختلفة في الصيف: 6.....25% عند الري بالرذاذ ، أما عند الري السطحي فتبلغ ضياعات المياه على التسرب إلى خارج حدود المنطقة المُغذية للجذور بالصرف أو بالجريان السطحي: 15....25% . الجدول (2-17).

يُحدد معدل السقاية الفعلي المطلوب نقله إلى الحقل مع الأخذ بالاعتبار أسلوب السقاية وتقنيتها من المعادلة الآتية:

$$m_{act} = mk_{cet} \qquad (2\text{-}30)$$

حيث: m – معدل السقاية الحسابي.

k_{cet} – ثابت تصحيح.

معدلات السقاية خلال فترة النمو في المناطق الرطبة والرطبة جداً عادةً أصغر مما هو عليه في المناطق الجافة وشبه الجافة والقاحلة. لكن يجب الإشارة إلى أنه عند السقاية بمعدلات غير كبيرة: $150...200[m^3/hr]$ ليس دائماً يُحقق التأثير الكافي لترطيب التربة، وعادةً ما تنخفض إنتاجية مياه الري بشكل حاد ولا سيما في المناطق الجافة.

الجدول (2-17): أمثلة لقيم الثابت: k_{cet} الذي يأخذ بالاعتبار ضياعات مياه الري في الحقل عند أساليب الري السطحي وعند الري بالرذاذ.

شروط إجراء السقاية	السقاية بالمساكب		السقاية بالرذاذ	
	دون معدات	مع معدات	من القنوات المكشوفة	من أنابيب الري المُغلقة
جيدة (تخطيط الحقل جيد، الميل مثالي، تضاريس مستوية، نفاذية التربة متوسطة).	1.15…1.2	1.1…1.15	1.15…1.2	1.1…1.15
متوسطة (تخطيط الحقل غير كافٍ، الميل وسطي، تضاريس مستوية، نفاذية التربة للمياه فوق الوسط وتحته).	1.25…1.3	1.2…1.25	1.2…1.25	1.1…1.2
سيئة (تخطيط الحقل سيئ، الميل كبيراً أو صغيراً، تضاريس صعبة، نفاذية التربة مرتفعة ومنخفضة جداً)	1.3…1.35	1.25…1.3	1.25…1.3	1.15…1.25

تتغير معدلات السقاية المثالية من أجل محاصيل الحبوب خلال الدورة الزراعية: $[m^3/hr]$ وفق المناطق الطبيعية في المجالات التالية (عند الري بالرذاذ): في المناطق الرطبة جداً: $200...300[m^3/hr]$ وفي المناطق الرطبة: $300...400[m^3/hr]$ وفي المناطق الجافة: $3000...500[m^3/hr]$ وفي المناطق شبه الجافة: $400...600[m^3/hr]$ وفي المناطق القاحلة: $500...800[m^3/hr]$.

تُجرى سقايات إضافية في المناطق الجافة من أجل تشكيل الرطوبة الاحتياطية المطلوبة حتى بداية نمو المحاصيل. يُحدد معدل السقاية الإضافية من شرط تحقيق الرطوبة في الطبقة الحسابية للتربة حتى السعة الرطوبية الصغرى. وبما أن عمق انتشار الجذور للمحاصيل وقدرة التربة على الاحتفاظ بالمياه يتغير في مجالات كبيرة، فإن معدل السقاية الاحتياطية يتغير من: $60[mm]$ حتى: $80[mm]$، الجدول (2-18).

الجدول (2-18): المعدلات التقريبية للسقاية الإضافية: $[mm]$.

المحاصيل الزراعية	التكوين الميكانيكي للتربة		
	خفيفة	متوسطة	ثقيلة
حبوب سنبلية	100…120	120…150	140…160
شوندر سكري	80…100	110…140	130…150
أعشاب معمرة	100…120	120…160	160…180
أشجار، وكرمة	100…140	120…160	160…180
ذرة	80…100	100…120	120…140
خضار، وبطاطا	60…80	70…90	80…100

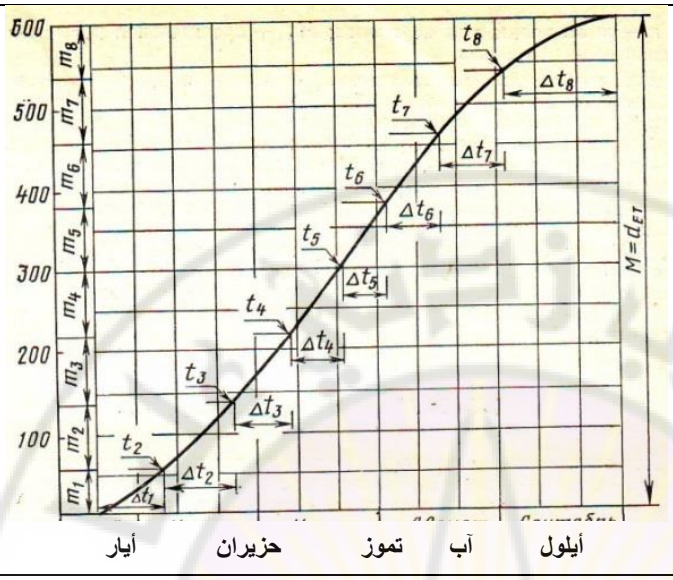
تُحدد معدلات السقاية قبل البذر والري من مزارع تربية المواشي، والري الترطيبي والري ضد الصقيع، والري التسميدي وغيرها من السقايات الخاصة انطلاقاً من شروط مُعينة ومن مُتطلبات الإنتاج الزراعي.

2-5- التباعد بين السقايات وعددها:

يُمكن حساب زمن السقايات والفترة بين السقايات بالتحليل البياني وفق المُنحني التكاملي للنقص بالاستهلاك المائي الذي يُشكل لكل عشرة أيام وفق قيم النقص بالاستهلاك المائي الذي يُطابق احتمال التجاوز للعام المُختار عند تحديد نظام الري التصميمي والاستثماري. ويُمكن الحصول على قيم النقص بالاستهلاك المائي لكل عشرة أيام بمعرفة معدل الري لاحتمال التجاوز الحسابي وبمعرفة توزعها الموسمي الداخلي.

يُنشأ المنحني التكاملي وفق النقص بالاستهلاك المائي لكل عشرة أيام في نظام المحاور الإحداثية، حيث تُثبت قيم النقص بالاستهلاك المائي على محور العينات، ويُثبت على محور السينات الزمن وفق تاريخ الأيام التي يحدث فيها النقص بالاستهلاك المائي الشكل (2-3). عندها يُعدّ تقاطع المنحني التكاملي مع المحور الزمني التاريخ الوسطي لإجراء أول سقاية (بداية موسم الري)، لأنه في هذه الحظة تبلغ الرطوبة في طبقة التربة الحسابية الحد السفلي للرطوبة قبل السقاية. إذا وضعنا معدلات السقاية المُطابقة لعمق الترطيب الحسابي على المحور العمودي بدءاً من تقاطع المنحني التكاملي مع المحور الزمني، ورسمنا عبرها (عبر قممها) خطوطاً أفقية حتى التقاطع مع المنحني التكاملي ومثلنا هذه النقاط على المحور الزمني لتواريخ الأيام فإن ذلك سيكون التاريخ الوسطي لجميع السقايات التالية. يُشكل عدد الأيام بين التواريخ المُتجاورة للسقاية الفترة بين السقايات الشكل (2-2).

النقص بالاستهلاك المائي: d_{ET}, [mm]



الشكل (2-2): المُخطط البياني لحساب نظام الري للشوندر السكري: $m;[mm]$ **– معدل السقاية،** $\Delta t;[day]$ **– الفترة بين السقايات باليوم،** $t;[day]$ **– التاريخ الوسطي للسقاية،** $M;[mm]$ **– معدل الري.**

تُسجل بارامترات نظام السقاية الناتجة وفق المُنحني التكاملي للنقص بالاستهلاك المائي في الجدول الذي يُوضع مع اعتبار المسائل الموضوعة. تظهر عادةً في مثل هذا الجدول أرقام السقايات وقيم معدلات السقاية وزمن السقايات (تواريخ البداية والنهاية والوسطية) والفترات بين السقايات.

الفترات بين السقايات: تعني الفاصل الزمني البيني بين سقايتين مُتتاليتين، السقاية الواحدة تلو الأخرى.

يُعبر عن العلاقة بين معدل السقاية والفترة الزمنية بين السقايات بالمعادلة الآتية:

$$\Delta t = \frac{(m_{nt} + P\alpha + W_a)}{ET_d} \qquad (2\text{-}31)$$

حيث: $\Delta t;[day]$ – الفترة بين السقايات باليوم.

$m_{nt};[mm]$ – معدل السقاية الصافي.

$P;[mm]$ – الهطولات المطرية خلال الفترة الحسابية: ΔT (الفعلية أو المُتوقعة).

α – ثابت استخدام الهطول المطري.

$W_a;[mm]$ – احتياطي رطوبة التربة في الطبقة الحسابية للتربة الأعلى من الرطوبة الحرجة في لحظة السقاية.

$[mm]; ET_d$ – التبخر اليومي للرطوبة من الأرض أو من الحقل (الفعلي أو المُتوقع) خلال الفترة: ΔT .

إذا كان هناك تغذية شعرية خلال الفترة المدروسة في منطقة التهوية، فإنه يُمكن حساب الفترة بين السقايات من المعادلة الآتية:

$$\Delta t = \frac{(m_{nt} + P\alpha + W_a)}{\left[ET\left(1 - k_{gr}\right)\right]} \qquad (2\text{-}32)$$

حيث: k_{gr} – ثابت استخدام المياه الجوفية انظر الجدول (2-10).

بهذا الشكل يتعلق عدد مرات السقاية بمعدل السقاية وبعمق توضع المياه الجوفية وبكمية الهطولات المطرية وبشدة التبخر (الاستهلاك المائي) في الأرضي المروية.

يتحدد عدد مرات السقاية للمحاصيل الزراعية خلال فترة النمو بمعدل الري وبمعدل السقاية من المعادلة الآتية:

$$n = \frac{M_{nt}}{m_{nt}} \qquad (2\text{-}33)$$

حيث: n – عدد السقايات خلال فترة النمو.

M_{nt} – معدل الري الصافي.

m_{nt} – معدل السقاية الوسطي.

من أجل زيادة فعالية تأثير استخدام مياه الري والحصول على إنتاجية ثابتة في الأراضي المروية، في أثناء عملية استثمار أنظمة الري لا بُد من تعديل الفترات بين السقايات ومعدلات السقاية وتصحيحها، مع الأخذ بالاعتبار حالة الجو الحالية والمتوقعة، وحالات التقنية الزراعية والتنظيم الزراعي على نظام الري ككل وعلى أنظمة الري المُنفصلة في الحقول، هذا يعني التحكم الفعال بالسقاية.

التحكم بالسقايات الأكثر فعالية الذي يؤسس على استخدام الحاسوب والبرامج الضرورية المطلوبة. كذلك إدخال الخدمة التكنولوجية للتحكم الفعال بالسقاية واستخدام الحاسوب في الاستثمار العملي لأنظمة الري لزيادة فعالية الري.

2-6- مُخطط الهيدرومودول:

من أجل تحديد التدفقات (الاستهلاكات) الحسابية والاستثمارية للمياه في أنظمة الري يجب معرفة نظام الري للمحاصيل الزراعية المُنفصلة الداخلة في الدورة الزراعية، ويجب معرفة

نظام الري لمجموع المحاصيل الزراعية المُكونة لهذه الدورة، هذا يعني: ديناميكا استهلاك المياه المطلوبة من أجل سقاية قطاع مُعين خلال فترة النمو للمحاصيل. يُستخدم من أجل هذا الهدف الهيدرومودول.

الهيدرومودول: يُعبر عن كمية المياه المُقدمة للهيكتار الواحد في واحدة الزمن بالآتي: $[l/s.hr]$.

يُحدد الهيدرومودول لكل محصول في قطاع الري من المعادلة التالية:

$$q = \alpha m_{nt} / 86.4t \qquad (2\text{-}34)$$

حيث: α – نسبة المساحة المشغولة بمحصول زراعي مُعين في الدورة الزراعية.

$m_{nt}; [m^3/hr]$ – معدل السقاية الصافي.

$t; [day]$ – مدة السقاية باليوم.

86,4– معامل تحويل يأخذ بالاعتبار عدد الثواني باليوم.

يُحدد الهيدرومودول لمجموع المحاصيل الزراعية بجمع الهيدرومودولات للمحاصيل المروية بذات الوقت. يتحقق الجمع وفق اقتراح كوستياكوف عادةً بيانياً – بإنشاء المُخطط البياني للهيدرومودول بالاعتماد على جدول نظام ري المحاصيل الزراعية. وكما هو معلوم فإنه من أجل مثل هذا المُخطط البياني (اللامُوحد) يتصف بتذبذبات حادة للإحداثيات (قمة الانحناء وقعره، صعود وهبوط). إذا نُقلت المياه بالتطابق مع هذه المُخططات البيانية فإن تنظيم السقايات وإجراءها، واستخدام تقنية السقاية والتقنية الزراعية، واستثمار شبكة الري والمُنشآت المائية عليها ستكون صعبة جداً.

من أجل تنظيم تغذية المياه إلى الجزء المروي يُجرى المُخطط البياني المُوّحد للهيدرومودول مع مثل هذا الحساب بحيث يكون ثابت عدم انتظام التغذية النوعية للمياه وفق الزمن أصغرياً. تُعدل إحداثيات المُخطط البياني للهيدرومودول بدمج الفترات وبتغيير طول مدة السقاية.

يتكون التحديد العملي للمُخطط البياني للهيدرومودول المُوحد بإيجاد الهيدرومودول الأعظمي وتحديد الاستهلاك المائي من أجل قطاع الري في الدورة الزراعية، الذي بالاعتماد عليه تُحدد بارامترات القنوات والمُنشآت المائية على شبكة الري.

تسمح **الطريقة البيوميناخية** لإيجاد نظام ري المحاصيل الزراعية بعدم إنشاء المُخطط البياني للهيدرومودول بصعوبة وبجهد كبير.

بمعرفة معدلات النقص بالاستهلاك المائي اليومي الوسطي خلال الفترات المحسوبة، يُمكن إيجاد الاستهلاك النوعي لمياه الري (الاستهلاك النوعي) من المعادلة التالية:

$$q = d_{ET} / 86.4 \qquad (2\text{-}35)$$

حيث: $q[l/s.hr]$ – الاستهلاك لنوعي (الاحتياج) للمحاصيل الزراعية من مياه الري.

$d_{ET}[m^3/hr]$ – النقص بالاستهلاك (الاحتياج) المائي اليومي.

يُمكن تحديد الاستهلاك النوعي لمياه الري لكامل قطاع الدورة الزراعية في كل لحظة زمنية بجمع النقص بالاستهلاك المائي للمحاصيل المُنفصلة مع اعتبار نسبة المُشاركة في الدورة الزراعية.

$$q_m = (\alpha_1 d_{(ET)1} + \alpha_2 d_{(ET)2} + ... + \alpha_n d_{(ET)n}) / 86.4 \qquad (2\text{-}36)$$

حيث: $\alpha_1;\alpha_2;....;\alpha_n$ – نسبة المُشاركة للمحاصيل في الدورة الزراعية.

$d_{(ET)1};d_{(ET)2};....;d_{(ET)n};[m^3/hr]$ – النقص اليومي بالاستهلاك المائي للمحاصيل المُنفصلة.

من أجل تحديد القيمة الحسابية للاستهلاك النوعي للدورة الزراعية من مياه الري يجب إيجاد القيمة العُظمى للنقص اليومي بالاستهلاك المائي من أجل مجموع المحاصيل في الدورة الزراعية وتقسيمها على ثابت التحويل:

$$q = d_{\max} / 86.4 \qquad (2\text{-}37)$$

حيث: $q;[l/s.hr]$ – الاستهلاك المائي النوعي للدورة الزراعية من مياه الري.

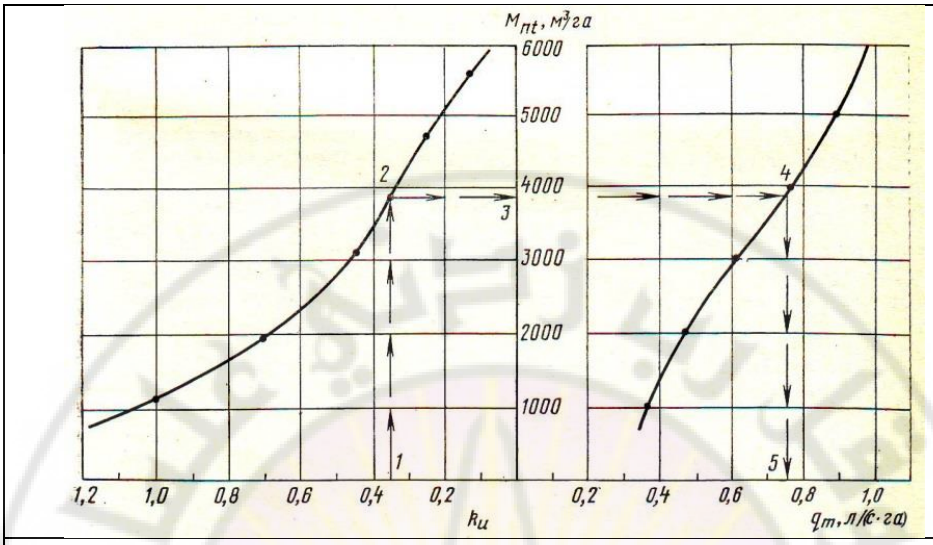
$d_{\max};[m^3/hr]$ – النقص اليومي الأعظمي بالاستهلاك المائي في الدورة الزراعية.

يُحدد الاستهلاك الحسابي الصافي: $[l/s]$ من أجل قطاع الدورة الزراعية بجداء الاستهلاك النوعي الأعظمي من مياه الري بالمساحة:

$$Q_{nt} = q \cdot A = d_{\max} A / 86.4 \qquad (2\text{-}38)$$

حيث: $A;[hr]$ – مساحة الدورة الزراعية بالهكتار.

يُبين الجدول (2-43) والشكل (2-3) القيم التقريبية للإحداثيات الحسابية للهيدرومودول من أجل مناطق طبيعية – مناخية مُختلفة.



الشكل (3-2): المُخطط البياني الذي يصف العلاقة بين ثابت ترطيب المساحة: k_u من أجل محاصيل الحبوب للدورة الزراعية ومعدل الري الوسطي: M_{nt} من أجل إحداثيات الهيدرومودول للدورة الزراعية: q_m (من أجل عام وسطي الجفاف واحتمال تجاوز: $P = 75.....80\%$).

الجدول (19-2): الاستهلاك النوعي لمياه الري من أجل مناطق مناخية – طبيعية مُختلفة لعام وسطي الجفاف (احتمال التجاوز: $P = 75.....80\%$).

مناطق طبيعية	ثابت ترطيب المساحة: k_u	دورة زراعية	الاستهلاك الحسابي الصافي من مياه الري		معدل الري:
			$[m^3 / hr.day]$	$[l/(s.hr)]$	$[m^3 / hr]$
رطبة	0.86…1.2	محاصيل حبوب وخضار	30…35	0.35…0.4	1200
مُعتدلة	0.51…0.86		35…50	0.41…0.55	2100
جافة	0.41…0.5		45…60	0.50…0.70	3100
شبه جافة	0.31…0.4		60…75	0.70…0.85	4000
شبه قاحلة	0.19…0.3		70…90	0.80…1.05	4800
قاحلة	0.05…0.18		80…100	0.90…1.15	5600

Damascus University

الفصل الثالث
نظم الري السطحي بالانسياب

3-1- ترطيب التربة:

يحدث ترطيب التربة عند الري السطحي وفق زمن الحركة الأفقية للمياه على سطح التربة (الأرض) عند التسرب الشاقولي تحت تأثير الجاذبية الأرضية والإشباع المُتتالي للتربة في المسامات الشعرية.

تُستخدم أنواع سقايات مُختلفة وفق العلاقة بين المحاصيل الزراعية والمتطلبات الزراعية في الأراضي المروية: السقاية خلال مرحلة نمو المحاصيل، والسقاية قبل البذر وقبل زراعة الشتول وبعد الزراعة، والسقاية الاحتياطية أو الإضافية وغسل التربة ... وغيرها. تُجرى هذه الأنواع من السقاية بأساليب مُختلفة. يُطابق كل أسلوب ري أسلوب سقاية مُعيناً. تختلف تكنولوجيا السقاية باختلاف أساليب الري.

حسب كوستياكوف إن لكل أسلوب ري أجهزة خاصة مُعينة لشبكة مُعايرة قنوات الري وتقنية سقاية مُطابقة لها، هذا يعني أُسلوب تحويل تغذية المياه من حالة الجريان المائي في شبكة قنوات الري إلى حالة ترطيب التربة في حقول الري المطلوبة من أجل المحاصيل الزراعية.

يجب على تقانات الري أن تُحقق ما يلي:

- تحقيق السقاية المطلوبة بأقل ضياعات مُمكنة لمياه الري وبثابت أعظمي للتأثير المفيد دون ضياعات على التسرب العميق في طبقة التربة ودون ضياعات على التبخر والصرف.
- تحقيق توزيع منتظم للمياه في الحقل وتشكيل الرطوبة المطلوبة في طبقة التربة الزراعية.
- تحقيق إنتاجية مُرتفعة للأعمال والجهود المبذولة ومكننة وأتمتة السقاية وأنظمة الري.
- تحقيق الإمكانية لمكننة الأعمال الحقلية الزراعية وأتمتتها.
- تحقيق زيادة لخصوبة التربة والحفاظ على البُنية الكتلية للتربة ومنع التعرية الترابية.

يُنسب **لتقنية الري السطحي** ما يلي: قنوات الري وأنابيب التوزيع والسقاية، والأمشاط الترابية والأخاديد والمساكب والمُستنقعات، والمُنشآت المائية المطلوبة لتغذية المياه ولصرفها. ويُنسب إلى **عناصر تقنية الري السطحي** أيضاً استهلاك المياه وطول شبكة السقاية كالمساكب والأخاديد والمُستنقعات وغيرها. وتُنسب **لتقنية السقاية عند الري بالرذاذ:** شبكة قنوات الري في الحقل، وآلات الري بالرذاذ ومحطاتها وأجهزتها وغيرها من معدات السقاية. ويُنسب **لتقنية الري**

تحت سطح التربة الأنابيب أو القنوات في الحقل وأنواع مُختلفة من أجهزة الترطيب في التربة وأجهزة مُعايرة من أجل تغذية المياه أجهزة الترطيب وصرفها منها وغيرها. وتُنسب **لتقنية الري بالتنقيط** أجهزة مُختلفة من أجل تحقيق السقاية للمحاصيل الزراعية.

الري السطحي بالانسياب الذاتي (بالجريان الحر):

تترطب التربة عند السقاية السطحية بطريقة امتصاص المياه المتدفقة إلى الحقل. تُقسم أساليب السقاية السطحية إلى مجموعتين أساسيتين وذلك حسب أُسلوب توزيع المياه على سطح التربة وحسب جريانها فيها:

I- الأساليب التي عندها تتوزع فيها مياه السقاية على سطح الحقل بطبقة مُتصلة وتجري في التربة بصورة رئيسية بطريقة الثقالة كالسقاية في المساكب والأخاديد وبالغمر. تتحطم بسهولة البُنية الكتلية للتربة عند استخدام هذه الأساليب.

II- الأساليب التي عندها تتوزع فيها مياه السقاية على سطح الحقل بالمساكب الجارية والكليلة (مع صرف وبدون صرف) وتجري في المساكب إلى التربة بالاتجاهات الجانبية بصورة رئيسية، هذا يعني بطريقة شعرية. يُحافظ على البُنية الكتلية للتربة باستخدام هذه الأساليب ويتناقص تبخر المياه من سطح التربة.

يحدث امتصاص للمياه في التربة نتيجةً للتسرب أو للارتشاح. تُدرس ثلاثة مراحل للتسرب: امتصاص المياه عبر سطح التربة، وحركتها في التربة وبالذات التسرب وإعادة توزيع المياه في التربة عند نهاية السقاية. ترتبط جميع هذه المراحل بصورة واضحة فيما بينها.

التسرب هو عملية تكنولوجية بطيئة وغير مُستقرة لحركة المياه في التربة عند عدم امتلاء مساماتها تماماً بالمياه. يتأثر التسرب: بقوى الجاذبية والشعرية، وبتحطم الكتل الترابية وبالحركة المائية غير المُستقرة، وبتفكك الكثافة الترابية وتماسكها، وبتدرج ضغط المياه وفق حركتها باتجاه العمق، وبمقاومة الهواء في التربة، وبوجود طرق مُختلفة لحركة المياه (حركة تذبذبية، وحلزونية، والحركة حول النباتات وعند جذورها)، وبصفات الطبقة الترابية تحت سطح الحراثة وغيرها. تجري عملية التسرب بصورة مُختلفة في ذات الحقل وفق اختلاف أساليب وتقنية السقاية. يتوقف تقريباً تسرب المياه في التربة عند الامتلاء التام لمساماتها بالمياه.

3-2- امتصاص المياه في التربة:

الامتصاص هو العملية التكنولوجية الرئيسية عند السقاية السطحية المُؤثرة في رطوبة التربة وفي حركة المياه على سطح الأرض. يتعلق الامتصاص وبداية مرحلة التسرب بالعوامل

المذكورة سابقاً. هذه ظاهرة فيزيائية مُعقدة وهي عبارة عن حركة المياه غير المُستقرة في التربة بتأثير قوى الجاذبية والقوى الشعرية.

يكون الامتصاص أكبر عادةً في التربة الرملية وفي التربة الكتلية المُفككة ويتناقص الامتصاص بتأثير السيقاية تبعاً لتماسك التربة ولكثافتها وتبعاً لتناقص فعالية مسامات التربة، وعند وجود طبقة ترابية مُتماسكة تحت سطح الطبقة المحروثة.

عملية الامتصاص في المساكب أكثر صعوبةً وتعقيداً لأن طبقة التربة لها نفوذية مُختلفة. يجري الامتصاص في جانبي المسكبة بشدة أكبر مما في قعرها: ففي التربة الرملية يكون أكبر بمقدار: $1.7-1.2$ مرة، وفي التربة الثقيلة أكبر بمقدار: $2.5-1.75$ مرة. هذا يُفسر التأثير الحر للقوى الشعرية غير المُتعلقة بالتيارات الهوائية الصاعدة من التربة إلى خارج المساكب.

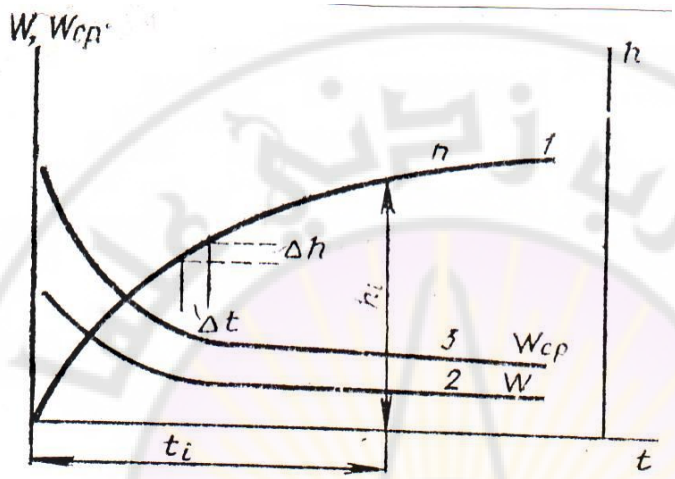
يُدرس القانون العام للامتصاص منذ زمن بعيد وأُقترح عدد من المُخططات والنماذج الحسابية، لكن الشكل المُعقد لهذه العملية يصعب إظهاره من الناحية النظرية وكثرة اتجاهتها مع اعتبار التأثير المشترك لجميع العوامل. لذلك من أجل شروطاً معينة يُدرس امتصاص المياه في الظروف الحقلية مباشرةً أو في ظروفٍ مخبرية.

يُدرس الامتصاص عند السقاية بالأخاديد وبالغمر في الحقل مباشرةً باستخدام جهاز نيستروف أو في مساحة أبعادها: $1\times1[m]$ أو: $2\times2[m]$، وتتم الدراسة عند السقاية في المساكب في قطاعات من المسكبة بطول لا يقل عن: $2[m]$، وعند السقاية بذات الوقت في قطاع من المسكبة لا يقل طوله عن: $5-3[m]$.

إن دراسة تأثير رطوبة التربة على الامتصاص إلى الآن غير كافية، لذلك من أجل حساب تقنية السقاية لا بُد من دراسة الامتصاص عندما تتراوح رطوبة التربة: $70\%-60$ من السعة الحقلية التي عندها عادةً تُجرى السقاية في الظروف الاستثمارية. بالعلاقة مع التغيرات الفصلية تتكرر تجربة الامتصاص عادةً عدة مرات في مكان البحث ذاته.

لندرس الامتصاص على مساحة ما من أجل السقاية بالغمر الشكل (1-3). يُحافظ على طبقة المياه بصورة دائمة على سطح التربة ويُسجل تزايد امتصاص المياه: h_i حسب الزمن: t_i. زيادة الطبقة المأئية: Δh خلال زمن قصير قدره: Δt، وسرعة الامتصاص هي: $W_t=\frac{\Delta h}{\Delta t}$. تُحدد السرعة عادةً خلال زمن التغذية بالمياه لمرة واحدة على المساحة المُعتبرة. وعند تقسيم طبقة المياه المُمتصة: h_i على زمن الامتصاص: t_i نحصل على السرعة الوسطية للامتصاص:

$W_{cp} = \frac{h_i}{t_i}$. بحسب هذا الشكل وبالاعتماد على البحوث الحقلية يُمكن تحديد تغير السرعة في أية لحظة زمنية وتحديد السرعة الوسطية للامتصاص.



الشكل (3-1): مُخطط امتصاص المياه في التربة: ١- طبقة المياه الممتصة، ٢- تغير سرعة الامتصاص حسب الزمن، ٣- السرعة الوسطية للامتصاص: W_{cp}.

تُستخدم في الوقت الحاضر العديد من المعادلات لتحديد سرعة الامتصاص حسب الزمن. ويُمكن جمعها في عدة مجموعات. تُنسب إلى **المجموعة الأولى** المعادلات ذات الحد الوحيد وهي من النوع التالي:

$$W_t = \frac{A}{t^{\alpha}} \qquad (3\text{-}1)$$

حيث أن: A – بارامتر تجريبي يتعلق بنوع التربة وبرطوبتها وبعوامل أخرى.

t – زمن السقاية بالدقائق أو بالساعات: $[h; \min]$.

α – بارامتر يصف ديناميكية تغير سرعة الامتصاص وهو يتعلق بالتركيب الحبي للتربة، وبنية التربة وتراصها، ورطوبتها، وهوائها وكذلك مع طريقة الري ويتراوح بين: ---0,8 0,2.

الأكثر شيوعاً هي معادلة **كوستياكوف** المقدرة: $[m/h]$ التالية:

$$W_t = \frac{k_1}{t^{\alpha}} \qquad (3\text{-}2)$$

تُحسب السرعة الوسطية للامتصاص في أية لحظة زمنية من المعادلة الآتية:

$$W_{cp} = \frac{1}{t}\int_0^1 \frac{k_1}{t^{\alpha}}dt = \frac{k_1}{1-\alpha}\frac{1}{t^{\alpha}}$$

وعندما: $t = 1$ فإن: $W_{cp} = \frac{k_1}{1-\alpha}$ وبالتالي تُصبح المعادلة على الشكل الآتي:

$$W_{cp} = \frac{k_1}{1-\alpha}\frac{1}{t^{\alpha}} = \frac{k_0}{t^{\alpha}} \qquad (3\text{-}3)$$

تساوي طبقة المياه الممتصة: h في أية لحظة زمنية:

$$h = W_{cp} \cdot t = k_0 t^{1-\alpha} \qquad (3\text{-}4)$$

حيث إن: W_t – سرعة الامتصاص في اللحظة الزمنية المُعتبرة: $[m/h]$.

W_{cp} – سرعة الامتصاص الوسطية من بداية السقاية: $[m/h]$.

k_1 – سرعة الامتصاص في نهاية الواحدة الزمنية الأولى: $[m/h]$ (تتغير لدرجة كبيرة من أجل أنواع وحالات مُختلفة للتربة).

t – زمن السقاية: $[h]$.

k_0 – سرعة الامتصاص الوسطية خلال الواحدة الزمنية الأولى: $[m/h]$.

α – ثابت تخامد سرعة الامتصاص الذي يتغير من: 0.2 حتى: 0.8 من أجل أنواع مُختلفة للتربة. الجدول (3-1).

الجدول (3-1): القيم الوسطية للثوابت: $k_v;\alpha$ – وفق جارافوي.

التربة	α	$k_v;[cm/h]$
تربة خفيفة	**0.14**	**17.6**
تربة متوسطة	**0.45**	**8.4**
تربة ثقيلة	**0.75**	**6**

المُعادلات المُبينة سابقاً تجريبية لذلك عندما: $t = 0;...;t = \infty$ لا يُمكن استخدامها، بالإضافة إلى أنها لا تأخذ بالاعتبار رطوبة التربة وتغيرات أخرى حسب الزمن، وتبعاً لذلك لا بُد من تحديد البارامترات الداخلة فيها قبل كل سقاية.

تُنسب إلى **المجموعة الثانية** المعادلات ثنائية الحدود. اقترح **أفرياناف** تحديد سرعة الامتصاص: W_t في أية لحظة زمنية والمقدرة بالمتر في اليوم: حسب المعادلة التالية $[m/day]$.

$$W_t = K_B\left[1+\frac{1}{4}\left(\sqrt{1+\frac{16b^2}{t}}-1\right)\right] \qquad (3\text{-}5)$$

حيث: K_B – معامل النفاذية عند الإشباع التام مع الأخذ بالاعتبار تقلص الهواء:

$$K_B = K_\phi\left(\frac{\omega_1-\omega_0}{m-\omega_0}\right)^{3.5} \qquad (3\text{-}6)$$

حيث: K_ϕ – معامل الارتشاح أو التسرب.

m – مسامية التربة.

ω_1 – السعة الرطوبية العظمى (المحتوى الرطوبي الأعظمي).

ω_0 – السعة الحقلية الصغرى (المحتوى الرطوبي الأصغري).

$$b = 0.6\beta\sqrt{\frac{\omega_1 H_K+\frac{1.4h_0}{\beta}}{K_B}day^{\frac{1}{2}}}\ ;\ \beta=\frac{\omega_1-\omega_H}{\omega_1-\omega_0};\ \omega_0\le\omega_H\le\omega_1$$

حيث: H_K – الارتفاع الشعري الأعظمي للمياه: $[m]$.

h_0 – عمق المياه على سطح التربة: $[m]$.

ω_H – رطوبة التربة الأولية قبل بدء الامتصاص.

$\omega_H;\omega_0;\omega_1$ – يعبر عنها بأجزاء من حجم التربة.

إذا كانت التربة جافة فإن: $\omega_H=\omega_0$ وأما: $\beta=1$ وبالتالي تُصبح معادلة تحديد: b على الشكل التالي والمقدرة: $[day]^{\frac{1}{2}}$:

$$b = 0.6\sqrt{\frac{\omega_1 H_K+1.4h_0}{K_B}}$$

في معادلات أفرياناف تم الأُخذ بعين الاعتبار: القوى الشعرية في كامل المناطق مُنخفضة الرطوبة، وتغير شروط الامتصاص وفق درجة إشباع التربة بالمياه. اعتبرت مقاومة التربة لحركة المياه أي قوى الاحتكاك مُتناسبة طرداً مع كتلة المياه المُتحركة ومع سرعة الحركة ومُتناسبة عكسياً مع النفاذية الشعرية. من أجل استخدام معادلات أفرياناف المُبينة أعلاه لا بُد من دراسة مُفصلة ومُعقدة لقطاعات الأراضي المروية حيث تتطلب إجراء عدة بحوث في العديد من المراكز عند شروط مختلفة لتكوين التربة.

اقترح **سوزيكين** المعادلة التجريبية التالية التي قسم فيها منحني سرعة الامتصاص إلى مُستقرة وغير مُستقرة:

$$W_t = \frac{k_1}{t^{\alpha}} + K_{\phi} \qquad (3\text{-}7)$$

يتصف الحد الأول بحركة غير مستقرة للمياه في التربة، ويمثل الحد الثاني ثابت التسرب الذي يُنسب إليه الامتصاص. تُعدّ هذه المعادلة غير كافية كمعادلة كوستياكوف.

يُختار قطاع من التربة العادية عند دراسة امتصاص المياه في المساكب أو الأخاديد. يُجرى البحث والدراسة بذات الوقت على ثلاثة إلى خمسة المساكب. يجب أن يُحقق عمق المساكب وطبقة المياه فيه ورطوبة التربة مُتطلبات الإنتاج الزراعي، ألاّ يتجاوز تذبذب طبقة المياه فيه: $0.5-1[cm]$. تتم مُراقبة استمرارية الامتصاص: t_X وحجم المياه المضاف: V_D.

تُحسب سرعة الامتصاص للمياه: W_{σ} في الأخدود خلال فترة بين أخدودين لإملائهما بالمياه من المعادلة التالية:

$$W_{\sigma} = \frac{V_D}{l \cdot X \cdot t_X} \qquad (3\text{-}8)$$

وتُحسب السرعة الوسطية للامتصاص من المعادلة التالية:

$$W_{cp} = \frac{V_i}{l \cdot X \cdot t_n} \qquad (3\text{-}9)$$

حيث: V_D – حجم المياه المضاف: $[m^3]$.

$l; X$ – مجموع أطوال الأخاديد أو القطاعات في الأخدود ومحيط الترطب: $[m]$.

t_X – استمرارية الامتصاص للمياه المُضافة: V_D وتقدر بالساعة: $[h]$.

V_i – حجم المياه المُمتص من بداية السقاية: $[m^3]$.

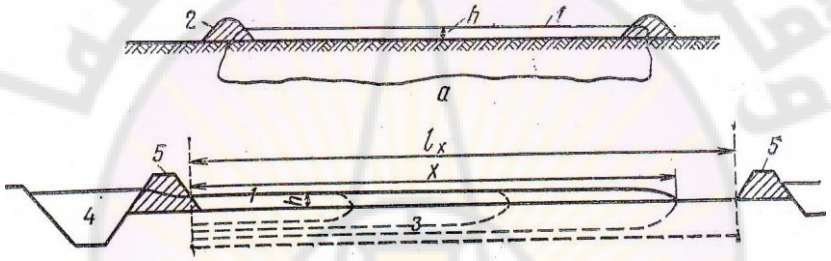
t_n – استمرارية التجربة: $[h]$.

سنُبين فيما يلي الحسابات التقريبية للسقاية في الأخاديد (الخطوط) وفي المساكب من أجل الشروط التي لا تتغير فيها نفاذية التربة على طولها. ويُستخدم الميل الحسابي الوسطي وخشونة سطح التربة ثابتة.

3-3- الري بالمساكب (بالخطوط):

المسكبة: هي عبارة عن أمشاط ترابية طولية على جانبي خط المجرى الأرضي الذي يملك ميلاً ويُملأ بالمياه المُتدفقة وبذات الوقت يُمتص في التربة. تُستخدم السقاية في الخطوط عند ري المحاصيل الزراعية بالبذر المُستمر (محاصيل الحبوب، والأعشاب وغيرها)، وللسقاية الإضافية والسقاية قبل البذر. ويُستخدم في المزارع نوعان من السقاية في المساكب: الدخول المُباشر (العلوي) والدخول الجانبي للمياه في المسكبة.

الأكثر شيوعاً هو الدخول المباشر لجريان المياه. ويُستخدم في المساكب المُحددة من الجانبين بأمشاط ترابية مُؤقتة يصل ارتفاعها حتى: $[cm]20-10$ الشكل (3-2).



b

الشكل (3-2): مُخطط الري بالمساكب والجريان المباشر للمياه: a- المقطع العرضي للمسكبة، b- المقطع الطولي للمسكبة، ١- طبقة المياه في الأخدود، ٢- الأمشاط الترابية الجانبية، ٣- محيط رطوبة التربة، ٤- المياه في قناة الري، ٥- الأمشاط الترابية على جانبي قناة الري.

تُشكل المساكب على طول الميل الموضعي وعرضياً على اتجاه الأفق. وتُشكل التضاريس الترابية على الأطوال المُتجانسة للمساكب بميل طولي: $[m]0.015-0.002$. ويُسمح بميل عرضي لا يتجاوز: 0,005 للمساكب الضيقة التي عرضها حتى [4m]، ويُسمح بميل: 0,003 للمساكب العريضة التي يتجاوز عرضها [4m] وأكثر من ذلك في المساكب.

يُستخدم عرض المسكبة ضعف عرض آلة البذر أو آلة الجني، ويتراوح طوله في المجال: $[m]400-75$. ويُمكن أن تكون أطوالها أكبر وذلك حسب العلاقة مع جودة تخطيط الأرض ونفاذيتها وميلها، ووفق العلاقة بالتدفق أو الاستهلاك النوعي للمياه وأيضاً وفق معدلات السقاية. تتغير التدفقات النوعية في المجال: $[l/\sec]12-2$ وتزداد بتناقص ميل الأخدود. تُؤدي التدفقات النوعية الأقل من: $[l/\sec]2$ عادةً إلى التعرية الترابية (تشكل جريانات سطحية). يجب ألاّ تتجاوز سرعة المياه في المسكبة: $[m/\sec]0.2-0.1$ من أجل منع تشكل التعرية الترابية.

تتدفق المياه إلى المسبكة عادةً من قناة الري المؤقتة ومن أخاديد السقاية أو من قنوات التوزيع القطاعية بواسطة الحواجز المؤقتة والسيفونات والأنابيب الناقلة للمياه ... الخ من المُنشآت المائية المُتنقلة أو بواسطة معدات وآلات السقاية. تُغطي المياه الأخدود على كامل عرضه وتجري حسب ميله، لذلك تُسمى مثل هذه السقاية أحياناً بالانسياب الذاتي في الأخاديد. ولا بُد من تخطيط دقيق للأخاديد وتشكيل أطولاها وفق الميل من أجل تحقيق تغطية متصلة بالمياه في الأخاديد.

الأكثر شيوعاً هي الأخاديد الضيقة. تُستخدم الأخاديد العريضة والعريضة جداً حتى: $[m]30.....20$ في المُنحدرات قليلة الميل، وتُستخدم بعد التخطيط الدقيق لها من أجل السقاية الإضافية ومن أجل السقاية قبل البذر. يُجرى تشكيل الأخاديد الضيقة وأمشاطها الجانبية بذات الوقت مع البذر. يُقطر بالجرار آلة تشكيل الأخاديد ومن خلفها آلة البذر.

تُحفر الأخاديد على كامل طول الحقل وثم تُحفر قنوات الري المؤقتة من أجل زيادة إنتاجية العمل لتشكيل الأخاديد. ويُفضل استخدام المُخطط العرضي لتوزع قنوات الري المؤقتة (دون استخدام أثلام الصرف) وتمرير المياه منها مباشرةً إلى الحقل، لأنه تُنقل المياه إلى الأخدود بتدفق كبير نسبياً: $[l/\sec]40-8$.

يتحقق الري بالانسياب دون صرف للمياه وبتغير التدفق. عند ذلك لا بُد من تشكيل رطوبة مُنتظمة حسب طول الأخدود وعرضه. تُمتص المياه في التربة وتجري على سطح الأخاديد بتدفق متغير وبتناقص سرعة حركتها المباشرة.

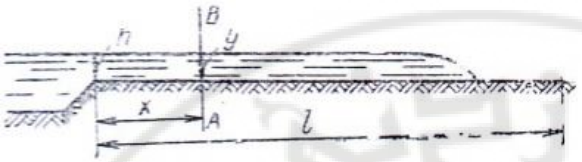
اقترح كوستياكوف حساب السقاية في المساكب بتغذية مباشرة للمياه من أجل الشروط المُبينة في الفقرة السابقة. تُحسب سرعة حركة المياه في المساكب من المعادلة التالية: $V = C_1\sqrt{RJ}$ حيث: J – ميل المسكبة، C_1 – ثابت السرعة.

نصف القطر الهيدروليكي لطبقة مياه رقيقة: $h = y$ وبالمقارنة مع عرضه يُمكن اعتباره أن: $R = y$ حيث: $y = 1-4[cm]$ الشكل (3-3). عندها تكون سرعة المياه في المقطع: AB على مسافة: X من بداية المسكبة تساوي: $V_X = C_1\sqrt{yJ}$.

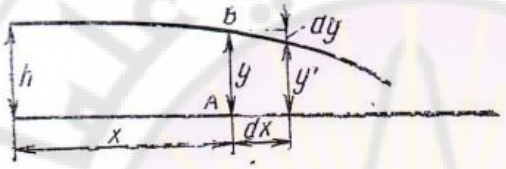
يُعدّ ثابت السرعة مساوياً: $C_1 = \dfrac{87\sqrt{y}}{\gamma + \sqrt{y}}$.

يتغير معامل خشونة التربة: γ في المجال: $4-1.4$ وذلك حسب نوع المحاصيل الزراعية المروية ووفق طريقة مُعالجة التربة. بما أن طبقة المياه رقيقة نفترض أن:

$C_1 = \frac{87\sqrt{y}}{\gamma}$ وأن: Cy حيـــث: $C = \frac{87\sqrt{J}}{\gamma}$ وتتـــراوح قيمتـــه فـــي المجـــال: $40\sqrt{J}$.....$15\sqrt{J}$.



الشكل (3-3): مُخطط حركة المياه في المسكبة حسب كوستياكوف.



يُعطى التدفق أو الاستهلاك النوعي لأجل: $1[m]$ من عرض المسكبة بالمعادلة: $q = hCh = Ch^2$. أما التدفق النوعي للمياه في المقطع: AB يساوي: q_X ; yV_X وأما في المقطع على مسافة: $dx \cdot q_X = y'V_X$ حيث: $V_X^{/} = C(y-dy); y' = y - dy$. الفرق بين هذين التدفقين على طول: dx يساوي: $yV_X - y'V_X' = Cy^2 - C(y-dy)^2 = 2Cydy$ يشترط هذا الفرق بأن التربة تمتص المياه على طول: dx وتتجمع طبقة المياه على سطح المسكبة.

تُساوي السرعة الوسطية لامتصاص المياه في اللحظة: t: القيمة: $\frac{k_0}{t}$ عند المقطع: x الشكل السابق (3-3). يُحدد تأثير تجمع المياه على سطح المقطع: x بثابت تصحيح: n نسبةً لسرعة الامتصاص: $n\rangle 1$. تُعدّ سرعة الامتصاص الوسطية للمياه في القطاع: x مع إدخال ثابت التصحيح في الجزء المتبقي على سطح طبقة المياه خلال الزمن: t هي: $\frac{nk_0}{t^\alpha}$. بهذا الشكل تأخذ معادلة التوازن لانسياب مياه السقاية الشكل التالي: $2Cydy = -\frac{nk_0}{t^\alpha}dx$.

تُظهر إشارة السالب (−) أنه بزيادة: x تتناقص: y. بتكامل المعادلة السابقة نحصل على المعادلة التالية: $Cy^2 = -\frac{nk_0}{t^\alpha}X + \overline{C}$. وعندما: $x = 0; y = h; C = Ch^2$ فإن معادلة

طبقة المياه المُنسابة عند السقاية تأخذ الشكل التالي: $C\left(h^2-y^2\right)=\frac{nk_0}{t^\alpha}X$. إذا افترضنا أن: X تُساوي طول مسافة الوصول في اللحظة الزمنية: t بعد السقاية التي عندها: $y=0$ فإنه نحصل على المعادلة الآتية:

$$q=Ch^2=\frac{nk_0}{t^\alpha}X \qquad (3\text{-}10)$$

نُحدد طول مسافة الوصول: X في اللحظة الزمنية: t من هذه المعادلة.

$$X=\frac{qt^\alpha}{nk_0} \qquad (3\text{-}11)$$

وزمن قطع المسافة: X :

$$t_X=\left(\frac{nk_0X}{q}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \qquad (3\text{-}12)$$

وطول المسكبة يُساوي إلى:

$$l_n=nX=\frac{qt^\alpha}{k_0} \qquad (3\text{-}13)$$

يُمكن التعبير بأسلوب أبسط من خلال هذه النتائج. يُفترض عند حساب السقاية بالمساكب أنه عند الاختيار الصحيح للعناصر الحسابية لتقنية السقاية أنها تُحقق رطوبة منتظمة حسب طول المسكبة وعرضها الذي يُمكن كتابته بالشكل التالي:

$$q_Yt_n=m_0l_nb \qquad (3\text{-}14)$$

حيث: q_Y – التدفق النوعي للمياه في عرض واحد متر للأخدود: $[m^3/\sec]$.

t_n – زمن استمرارية التغذية بالمياه إلى المسكبة عند معدل السقاية الحسابي: m_0 لطبقة المياه، $[m]$.

l_n – الطول الحسابي للمسكبة: $[m]$.

b – العرض الحسابي للمسكبة: $[m]$، حيث: $b=1[m]$.

من أجل إيجاد علاقة العناصر الحسابية لتقنية السقاية مع نفاذية التربة للمياه فإنه يُعوض معدل السقاية: m_0 بالسرعة الوسطية للامتصاص، عندها نحصل على المعادلة التالية:

$$m_0=h=W_{cp}\cdot t=k_0\cdot t^{1-\alpha} \qquad (3\text{-}15)$$

نجد من المعادلة السابقة استمرارية التغذية بالمياه إلى المسكبة: t_n تبعاً لمعدل السقاية: m_0، والمقدرة بالساعة: $[h]$.

$$t_n = \left(\frac{m_0}{k_0}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \qquad (3\text{-}16)$$

بتعويض قيمة: m_0 من المعادلة (3-15) في المعادلة (3-14) نحصل على المعادلة التالية:

$$q_Y t_n = k_0 l_n t_n^{1-\alpha} \qquad (3\text{-}17)$$

نجد علاقة عناصر تقنية السقاية من المعادلة التالية:

$$q_Y t_n^{\alpha} = k_0 l_n \qquad (3\text{-}18)$$

ونُحدد طول المسكبة من المعادلة السابقة فنحصل على المعادلة التالية:

$$l_n = \frac{q_Y t_n^{\alpha}}{k_o} \qquad (3\text{-}19)$$

إذا كان طول المسكبة معلوماً من شروط تنظيم المساحة فإنه عندئذٍ يتم تدقيق التدفق (الاستهلاك) النوعي وتصحيحه: q_Y من أجل نفاذية معينة للمياه في التربة:

$$q_Y = \frac{k_0 l_n}{t_n^{\alpha}} \qquad (3\text{-}20)$$

تجري المياه قاطعةً المسافة: $X = l_n$ حتى لحظة توقف التغذية بالمياه إلى المسكبة: t_X، حيث: $n = 1.05 - 1.25$، وتزداد: X بزيادة التدفق النوعي والميل الطولي للأخدود وبتناقص نفاذية التربة للمياه.

يترطب القطاع في نهاية المسكبة: $l_n - X$ على حساب حركة المياه المُتبقية فيها بعد توقف التغذية. تُحدد السرعة الوسطية لحركة المياه خلال هذه الفترة من المعادلة التالية: $V_1 = C\sqrt{Ri} \approx C\sqrt{hi}$. حيث: h – طبقة المياه في المسكبة. i – الميل الوسطي على طول المسكبة.

استمرارية حركة المياه المتبقية: t_C من البداية وحتى أي مقطع للمسكبة: l_X:

$$t_C = \frac{l_X}{V_1} \qquad (3\text{-}21)$$

يتم التحقق من انتظام الرطوبة حسب طول المسكبة وحسب الزمن في الفترة التي فيها قطاعات مُنفصلة من الأخدود تقع تحت المياه:

$$t_Y = t_n + t_C - t_D \qquad (3\text{-}22)$$

حيث: t_Y – زمن استمرارية قطاع المسكبة.

t_D – زمن استمرارية وصول المياه من بداية المسكبة وحتى أي طول: l_X نجده من المعادلة (3-19):

$$t_D = \left(\frac{k_0 l_X}{q_Y} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \qquad (3\text{-}23)$$

يجب أن يكون الزمن: t_Y قريباً من: t_n لأي مقطع كان من أجل الرطوبة المُنتظمة. لا يتجاوز الانحراف المسموح به: $25\% - 20$. يُشكّل عادةً مشط ترابي يسند المياه المُنسابة بحيث تبلغ الرطوبة المُنتظمة. كمية المياه المُنسابة على كامل عرض المسكبة تُعطى كما يلي:

$$q_n = q_Y b_D \qquad (3\text{-}24)$$

حيث: b_D – عرض المسكبة: $[m]$.

باستخدام المُعادلات أعلاه نحصل على الحسابات التقنية للسقاية بالمساكب بصورة تقريبية. تتراوح إنتاجية العمل للساقي عند السقاية بالمساكب ذات التدفق المباشر للمياه: $10 - 2[hr]$ في الوردية، وذلك وفق العلاقة بالتخطيط المستوي للتربة وبطول المساكب، وتبعاً للتدفق النوعي ومعدل السقاية، وبأتمتة ومكننة السقاية.

ميزات السقاية بالمساكب:

تتميز طريقة الري بالمساكب بترطيب مناسب للتربة وتثبيت جيد للبذور فيها (إضافة إلى الأمشاط الترابية). لكنها تتعلق بتضاريس التربة وبنوعها، وتتطلب توضع المسكبة عرضياً على اتجاه الأفق، بالإضافة إلى الأمشاط الترابية التي تزيد من صعوبة عمل الآلات خلف المحاصيل وعمل آلات الجني، وتتطلب في كل عام تخطيطاً دقيقاً وتسوية المساكب.

تُميز السقاية بدخول مُباشر (علوي) وبدخول جانبي للمياه إلى المسكبة بين الأمشاط الترابية الطولية المُحددة له.

يُنصح بالسقاية **بدخول المياه من الأعلى** من شبكة قنوات الري المُوقتة أو من الأجهزة في المساحات المُخططة عندما لا يتجاوز الميل العرضي: 0.002. ويجب ألاّ يتجاوز الميل الطولي عند ذلك: 0.015.

وتُستخدم السقاية بدخول المياه من الجوانب عند الميل العرضي الكبير. يتم إيجاد التدفق النوعي في بداية المساكب (على 1[m] من عرضها) من: $1...20[l/s]$. يُسمح بالتدفق النوعي الأعظمي للمياه عند الميل الطولي: 0.003…0.001.

يُستخدم عرض المسكبة من: 1.8[m] (مساكب ضيقة) حتى: 10…30[m] (مساكب عريضة). الأكثر شيوعاً المساكب بعرض: 3.6…4.2[m] الجدول (3-2).

الجدول (3-2): عناصر تقنية السقاية بالمساكب بعرض: 3.6[m] عند ارتفاع الأمشاط الترابية: 0.15[m].

نوع التربة	ميل واتجاه السقاية	طول الخط: [m]	التدفق النوعي: $[l/s]$ على عرض: 1[m] من عرض الخط.
تربة خفيفة بنفاذية مُرتفعة	0.003	200	5.5
	0.006	150	4.0
تربة متوسطة بنفاذية متوسطة	0.003	400	8.0
	0.006	350	7.0
تربة ثقيلة بنفاذية مُنخفضة	0.003	500	8.5
	0.006	400	7.5

يتغير ارتفاع الأمشاط الترابية المُحددة للمساكب وفق العلاقة بتدفق المياه في المسكبة، ووفق الميل الطولي والعرضي لها (من: 0.15…0.1 وحتى:[m]0.45…0.2).

السقاية في المساكب الطويلة والعرضية مُرتفعة الإنتاجية وفعالة عند استخدام آلات السقاية وواحدات ماكينات السقاية. يُبين الجدول (3-3) المُقارنات المُقترحة لعناصر تقنية السقاية في المساكب الطويلة والعريضة.

الجدول (3-3): المُقارنات المُقترحة لعناصر تقنية السقاية في المساكب الطويلة والعرضية.

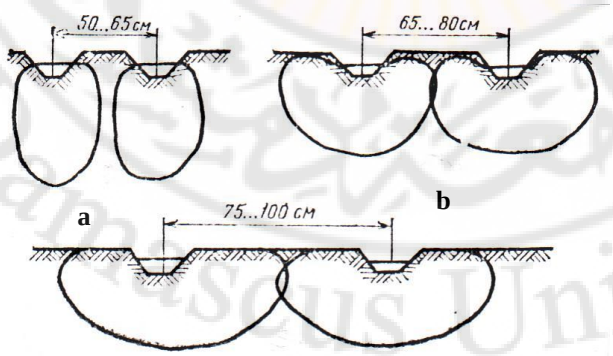
الميل الحسابي	نفاذية التربة بالرموز	التدفق النوعي في الخط: $[l/s]$	طبقة المياه في بداية الخط: [cm]	استمرارية السقاية: [h]	طول الخط: [m]	معدل السقاية الصافي: $[m^3/hr]$	المردود: η
0.0005	A	20	0.20	0.75	350	1600	0.75
	B	20	0.20	1.1	500	1580	0.75
	V	17.5	0.18	1.5	600	1575	0.76
	G	15	0.17	2.2	800	1490	0.81
0.00175	A	20	0.14	0.85	400	1520	0.79
	B	17.5	0.13	1.3	550	1490	0.81
	V	15	0.12	2.0	700	1540	0.78
	G	12.5	0.10	3.0	900	1500	0.80

0.0035	A	17.5	0.108	1.1	450	1550	0.77
	B	15	0.10	1.7	600	1530	0.78
0.005	V	12.5	0.09	2.7	800	1520	0.79
	G	10	0.08	4.2	1000	1510	0.79
ملاحظة: A- نفاذية التربة مرتفعة جداً، B- نفاذية مُرتفعة، V- مُتوسطة النفاذية، G- نفاذية مُنخفضة.							

3-4- السقاية في الأخاديد (بالأثلام):

السقاية بالأخاديد هي الأسلوب الأكثر شيوعاً لترطيب التربة. تُروى المحاصيل الزراعية الحقلية كقاعدة في الأثلام. وتُقسم الأخاديد وفق العلاقة بنوع المحصول الزراعي وبالقدرة والتكوين الميكانيكي للتربة إلى الأنواع التالية: أخاديد غير عميقة (سطحية): $8-12[cm]$، وأخاديد متوسطة العمق: $12-16[cm]$، وأخاديد عميقة: $16-22[cm]$، وأثلام عميقة جداً: أكبر من: $22[cm]$. تتراوح المسافة بين الأخاديد في المجال: $45-100[cm]$ وهي تتعلق بنوع المحصول الزراعي وبالتكوين الميكانيكي وبالخواص الشعرية للتربة، وأيضاً بمقاسات معدات استصلاح الأراضي وآلاته.

يمتد الشكل المُحيطي للرطوبة باتجاه الأسفل في التربة الخفيفة، وتتوزع بانتظام حسب العمق وحسب الاتجاهات الجانبية في التربة الثقيلة، أنظر الشكل (3-4). يُسمح حسب شروط الترطيب واعتبار عمق المياه في الأخاديد بأن تكون المسافة بين الأخاديد كالتالي: في التربة الخفيفة: $0.5-0.65[m]$، في التربة الوسطية المتوسطة: $0.6-0.8[m]$، في التربة الثقيلة والطينية: $0.7-1.1[m]$. تُجرى السقاية دون ترطيب الأمشاط الترابية للأخاديد ، وذلك من أجل خفض ضياعات المياه على التبخر، ومن أجل منع ظهور الأملاح على أمشاط الأخاديد ، يتحقق ذلك بتطابق عمق الأخاديد ومسنوب المياه فيها.



الشكل (3-4): المُخططات المُحيطية لترطيب التربة عند السقاية في الأثلام، a- في التربة الخفيفة، b- في التربة الوسطية، c- في التربة الثقيلة.

تُقسم الأخاديد إلى نوعين أساسيين: أخاديد انسيابية حيث تجري المياه فيها بالانسياب أخاديد كليلة منفرجة الزاوية. تترطب التربة عند السقاية في الأخاديد الانسيابية نتيجةً لحركة المياه فيها، ويحدث عند ذلك بذات الوقت عمليتان غير مُستقرتين: حركة المياه على سطح الأخدود وامتصاص المياه في التربة. تتناقص سرعة المياه في الأخدود حسب حركتها ويتغير تدفق المياه عند بداية الأخدود بالتغذية المُستمرة فيه. يتدفق جزء كبير من المياه في بداية الأخدود ولا يتم امتصاصه وتسربه إلى داخل التربة، لأنه تترطب مساحات صغيرة في البداية ومن ثم يزداد حجم المياه المتدفق على الامتصاص والتسرب. تُمتص المياه بنسبة: $85-90\%$ عند السقاية في الأخاديد التي طولها: $200[m]$ ويبقى على سطح الأخاديد فقط من: $10-15\%$ من المياه المتدفقة. تُقسم السقاية في الأثلام الانسيابية إلى: سقاية دون صرف، وسقاية مع صرف، وسقاية مُتغيرة التدفق.

السقاية بالانسياب في الأخاديد دون صرف: تُستخدم في الحقول ذات الميل الطولي للأثلام: $0.01-0.02$. تُحفر الأخاديد عادةً بأعماق متوسطة وتُملأ بالمياه بنسبة: $\left(\frac{1}{4};....;\frac{1}{5}\right)$ من العمق. عرض القعر: $5.....10[cm]$ وميل جوانبه تقريباً يساوي الواحد. يتعلق طول الأخدود بالتدفق، وبنفاذية التربة للمياه وبقدرتها، وبالميل الطولي للثلم وبمعدلات السقاية، وبالمسافة بين الأخاديد وبجودة تخطيطها على سطح الأرض والتي تتراوح: $75.....400[m]$. يتغير تدفق المياه من: $0.02-2[l/\sec]$ ويتعلق بالتربة وبميل الثلم. يُختصر التدفق في بعض أنواع الترب وفي الحقيقة في التربة ذات البُنية الضعيفة بالربط مع تماسكها عند السقاية وبتناقص نفاذيتها وفق طول الثلم من أجل السقايات الأولى أو يُنقص التدفق عند السقايات المتتالية.

كان أول من اقترح حسابات السقاية في الأثلام كوستياكوف. والحساب في شكله المختصر كالتالي:

تُحدد سرعة جريان المياه على سطح الأخاديد من العلاقة التالية: $V=C_1\sqrt{RJ}\,;R=\xi\cdot h$، حيث: $h-$ عمق المياه في الثلم. تبعاً لشكل الأخدود ومقاسه فإن الثابت: ξ يساوي: $\xi=0.7-0.8$.

C_1- ثابت السرعة وهو يتعلق بخشونة الثلم وعمقه وتتراوح قيمته في المجال: $V=\left[20R\sqrt{I};....;50R\sqrt{I}\right]$، وبالتالي تقع السرعة في المجال: $\frac{87\sqrt{R}}{1.75};.....;\frac{87\sqrt{R}}{4.5}$

وبقبول أن: $C = 50\sqrt{I}$ حتى: $C = 20\sqrt{I}$ نحصل على: $V = CR$. يجب ألاّ تتجاوز السرعة: $0.1 - 0.2[m/s]$ كي لا يحدث انجراف للتربة في الأخدود.

يُحدد تدفق المياه في الأخدود من العلاقة التالية: $q = FV = FCR = \frac{CF^2}{P}$، حيث:

P – المُحيط المبلول. إذا كان العرض الوسطي للمقطع الفعال للمياه في الأخدود مساوياً: b عند العمق: h فإن: $F = bh$ و: $P = \lambda b$، حيث: $\lambda = 1 + \frac{h}{b}\left(2\sqrt{1+m^2} - m\right)$، تمثل: m ميل الجوانب وبالتالي: $q = \frac{CF^2}{P} = \frac{C}{\lambda} bh^2 \Rightarrow h = \sqrt{\frac{q\lambda}{bC}}$

يتناقص تدفق المياه في الأخدود حسب طوله تبعاً لامتصاص المياه في التربة. الفرق في التدفقات بين المقطعين: X و: XdX يساوي: $\frac{C}{\lambda} b\left[y^2 - (y-dy)^2\right] = \frac{C}{\lambda} b \cdot 2ydy$، حيث: y عمق المياه في الأخدود.

يُمكن تقويم معرفة المياه المتبقية في الأخدود بإدخال ثابت تصحيح: n إلى سرعة امتصاص المياه. عندها يُمكن التعبير عن السرعة الوسطية لامتصاص المياه ولتجمعها في الأخدود نسبة إلى واحدة الطول في اللحظة الزمنية: t كالتالي: $W_X = \frac{nk_0}{t^\alpha} b\lambda_0; ....; \lambda_0 = 1 + \frac{y}{b}\left(2\nu\sqrt{1+m^2} - m\right)$، حيث: ν ثابت يأخذ بالاعتبار زيادة امتصاص المياه في جوانب الأخدود. وحسب العلاقة بخواص التربة فإن: $\nu = 1.5 - 2.5$.

معادلة التوازن المائي للأخاديد هي: $\frac{C}{\lambda} = b2ydy = -\frac{nk_0}{t^\alpha} b\lambda_0 dx$ وبعد إجراء التكامل عندما: $\lambda_0 = const$ تُصبح المعادلة كالتالي:

$$\frac{C}{\lambda}\left(h^2 - y^2\right) = \frac{nk_0}{t^\alpha} b\lambda_0 X$$

أو:

$$\frac{q}{\lambda_0 b} = \frac{nk_0}{t^\alpha} X \qquad (3\text{-}25)$$

المُحيط المبلول الفعال للأخدود مع الأخذ بالاعتبار تأثير القوى الشعرية التي تزداد مع تناقص ميل الأخدود، وتزايد طبقة المياه: h عند ذات التدفق: q وبالتالي المُحيط المبلول يساوي: $\rho = \lambda_0 b$.

نُحدد طول الأخدود: X وزمن وصول التدفق المائي: t_X أو تدفق: q_δ (إذا كان معلوماً طول الأخدود) من المعادلة (3-25) كالتالي:

$$X = \frac{q_\delta t_X^\alpha}{\rho \cdot n \cdot k_0} \qquad (3\text{-}26)$$

$$q_\delta = \frac{X}{t_X^\alpha} \rho \cdot n k_0 \qquad (3\text{-}27)$$

$$t_X = \left(\frac{\rho \cdot n k_0 X}{q_\delta} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \qquad (3\text{-}28)$$

يُمكن التعبير عن حساب السقاية في الأخاديد بصورة أبسط أكثر، أي بصورة مماثلة لحساب السقاية في المساكب إذا أُستخدمت ذات الشروط:

$$q_\delta t_X = m_0 l_\delta a \qquad (3\text{-}29)$$

حيث: q_δ – تدفق المياه عند بداية الأخدود.

l_δ – الطول الحسابي للأخدود.

a – المسافة بين الأخاديد.

t_X – زمن تدفق المياه في الأخدود.

تُجرى السقاية في الأخاديد الطويلة: $300-400[m]$ في التربة ذات النفاذية المُنخفضة أو المتوسطة مع ميل: $0.004-0.01$ وفي الحقول التي خُططت الأخاديد فيها جيداً. تُشكل إنتاجية العمل عند السقاية في هذه الأخاديد: $3-4$ هيكتار في الوردية. يُمكن زيادة الإنتاجية على حساب جودة التخطيط واختصار طول الأخاديد على طول ميلها وتوزيع المياه في الأخاديد بواسطة خراطيم المياه أو باستخدام آلات السقاية ومعداتها.

السقاية بالانسياب في الأخاديد مع طرد مائي من نهايتها: تُجرى هذه السقاية في التربة الضعيفة والمتوسطة النفاذية للمياه عند ميل أكبر من: 0.01 وبمعدلات سقاية كبيرة. تزداد قيمة التدفق في نهاية الأخاديد حسب الزمن بسرعة وتبلغ أحياناً: 50% من التدفق في بداية الأخاديد. يُحدد الماء المطرود بالعلاقة الآتية:

$$q_C = q_\delta - \frac{k_0 l_\delta}{(1-\alpha)t^\alpha} \qquad (3\text{-}30)$$

حيث: q_δ – التدفق في بداية الأخدود؛ $[m^3/\sec]$

t – زمن السقاية؛ $[\sec]$

تُجرى السقاية بوجود الطرد المائي من أجل انتظام الرطوبة على طول الأخاديد، وأيضاً عندما تكون أطوالها أقصر من الأطوال الحسابية لها. من أجل إنقاص ضياعات المياه بالهدر من نهاية الأخدود لا بُد من:

– الاختيار الصحيح لعناصر تقنية السقاية.

– إنشاء قناة جمع في نهاية الأخاديد والاستفادة من المياه المُتجمعة لسقاية أراضٍ أخفض من الأولى.

– استخدام المياه المتوضعة في الحقول المُنخفضة (لكن عند ذلك تتناقص إنتاجية العمل لمعدات الساقية، ويصعب استخدام التقنية في المُنحدرات).

– السقاية بتدفقات مُتغيرة.

السقاية في الأخاديد بتدفقات مُتغيرة: وتُجرى هذه السقاية في التربة المُنخفضة والمتوسطة النفاذية للمياه عند ميل أكبر من: 0.01 وبمعدلات سقاية كبيرة، وأيضاً عندما طول الأخاديد أقصر من الطول المطلوب. تُستخدم هذه السقاية من أجل تحقيق مُعدل السقاية المطلوب لانتظام الرطوبة على طول الثلم ولإنقاص ضياعات المياه في نهاية الأخدود.

تجري المياه في بداية الأخدود بتدفق مقداره: $[l/s]$2.....0.3 عند السقاية بتدفقات مُتغيرة. يتعلق التدفق بالميل الطولي للثلم وبمقاومة التربة للانجراف، ويجب ألاّ تُؤدي إلى التعرية المائية. يتناقص التدفق عند وصوله إلى نهاية الأخدود. ويتناقص عمق المياه ويجري الامتصاص على كامل سطح الترطيب للأخدود. يتناقص التدفق مرتين أحياناً.

يُحقق الاختيار الصحيح للتدفقات معدل السقاية المطلوب دون هدر المياه ويُنظم الرطوبة. إذا كان التدفق في الفترة الأولى: q_1 فإنه في الفترة الثانية يتناقص حتى: $(0.5-0.7)q_1$ وفي الفترة الثالثة حتى: $(0.4-0.5)q_1$.

أظهرت البحوث والتطبيقات العملية للذين يقومون بالسقاية أن طول الترطيب للأخاديد يزداد مع تناقص نفاذية التربة للمياه ومع زيادة تدفق المياه في الأخدود ومع زيادة استمرارية السقاية (زيادة معدلات السقاية). يزداد طول أخاديد السقاية بزيادة الانحدار عند ذات التدفقات

لأنه تزداد سرعة حركة المياه. تنخفض تدفقات المياه لدرجة كبيرة في الأخاديد عند الانحدارات الكبيرة كي لا تظهر التعرية الترابية وتبعاً لذلك تتناقص أطوالها. الأطوال الأكبر لها نحصل عليها عند الميل: $0.008 - 0.005$.

السقاية في الأخاديد الصماء العميقة دون هدر: هي التي تملك في نهايتها مشط ترابي عرضي، تُستخدم كقاعدة عامة في المُنحدرات التي ميلها أقل من: $0.002 - 0.001$ للمحاصيل الحقلية كالقطن والشوندر السكري والخضار وغيرها. تُحفر الأخاديد الصماء بعمق على مسافات فيما بينها أكبر من: $70[cm]$ وبطول: $120 - 40[m]$، بحيث لا يتجاوز انخفاض المنسوب بين بداية الأخدود المسدود ونهايته: 1/3 عمقه. تُنقل المياه إلى الأخدود بتدفق مقداره: $3[l/s]$.....1. ويُملأ بالمياه بسرعة تقريباً حتى مُنتصف عمقه.

تُحدد العناصر الحسابية لتقنية السقاية من المعادلة (4-29). يتعلق طول الأخدود: l_σ بالميل الوسطي له: i_σ وبعمقه: h_σ وباحتياطي المياه بدءاً من سطح المياه وحتى أعلى الأخدود في نهايته: h_z الذي لا يقل عن: $0.1 - 0.05[m]$:

$$l_\sigma = \frac{0.5h_\sigma - h_z}{i_\sigma} \qquad (3\text{-}31)$$

حيث: تُقدر جميع القيم بالمتر.

من أجل السقاية في الأخاديد الصماء لا بد من تخطيط عالي الجودة للحقل، بحيث تُستخدم المياه بكاملها ويكون توزع الترطيب مُنتظماً، لكن تتماسك التربة بشدة أكبر مما في السقاية بالانسياب في من أجل السقاية في الأخاديد الصماء، وتبخر المياه أكبر وأحياناً تخرج الأملاح إلى مشط الأخدود.

تُساوي إنتاجية العمل لمعدات السقاية في الوردية: $2 - 0.7[hr/w]$. وهي تزداد بزيادة عدد أخاديد السقاية بذات الوقت وبزيادة تدفق المياه وبإنقاص معدلات السقاية.

الأخاديد المكبوسة (المُقعرة): تُشكل باستخدام محراث الطمر ومُدحرجات أسطوانية جانبية، وتُستخدم من أجل إنقاص قدرتها على الامتصاص للمياه في التربة مُرتفعة النفاذية للمياه، كي ترتفع مقاومة مجرى الأخدود على (الانجراف) التعرية المائية.

الأخاديد المشقوقة: تُستخدم السقاية في الأخاديد ذات الشقوق من أجل الترطيب بمعدلات سقاية كبيرة في التربة ضعيفة النفاذية التي سطحها غير مُنتظم بصورة كافية من أجل زيادة قُدرتها على الامتصاص ومن أجل السقاية الإضافية وللسقاية قبل البذر، وأحياناً للسقاية في

فترة نمو المحاصيل الزراعية. تختلف هذه الأخاديد عن الأخاديد العادية بأنه يُحفر شق ضيق أسفل قعر الأخدود بعرض: $3.5[cm]$ وبعمق حوالي: $17[cm]$. يُشكل العمق الكلي للأخدود مع الشق عادةً: $40-35[cm]$ وأطوالها كما هي الأخاديد العادية.

الُمحيط المبلول عند الأخاديد ذات الشقوق أكبر مما هو عند الأخاديد العادية، لذلك تزداد نفاذيتها للمياه لدرجة كبيرة. ويزداد التدفق بفضل سهولة التغلب على عدم انتظام السطح المستوي، وتزداد إنتاجية العمل لمعدات السقاية. تُحفر الأخاديد ذات الشقوق بواسطة محراث حفر الشقوق المُعلق.

الأخاديد السطحية (للبذار): تُحفر باستخدام محاريث خاصة وتُقطر في وحدة الماكينات مع آلة البذار في خطوط ضيقة للمحاصيل متصلة البذر (محاصيل الحبوب، والشتول وغيرها)، السقاية فيها هي بالأسلوب السطحي لترطيب التربة الأفضل والأكثر شيوعاً وهو يُستخدم عند ري المحاصيل الحقلية ذات الخطوط العريضة وعند ري المحاصيل الزراعية في سطور ضيقة على أمشاط الأخاديد. تُوزع النباتات عند ذلك ليس فقط على الأمشاط الترابية ولكن على جوانب المشط وفي قعره. يحدث عند السقاية بالأخاديد ترطيب شعري للتربة بالمياه وهذا يُحافظ بشكل أفضل على بُنيتها الكتلية، ويسمح عند ذلك بتفكيكها وتتحقق تهويتها. ويتحسن أداء عمليات النترجة، وتتحقق إمكانية السقاية بنصف المُعّدلات المطلوبة وتتناقص ضياعات المياه على التبخر.

لكن يُلاحظ في الشروط الإنتاجية أحياناً وجود ضياعات للمياه عند السقاية وثابت مُنخفض لاستخدامها. تحدث ضياعات كبيرة للمياه بالهدر عند الميولات الكبيرة وفي التربة ضعيفة النفاذية للمياه. ويضيع جزء كبير من المياه على التسرب في التربة شديدة النفاذية للمياه، ويبلغ مقدار هذه الضياعات: $25\%-15$. وتُشكل ضياعات المياه على التبخر نسبة: $10\%-1$ وهي تزداد في الأخاديد الصماء حتى تظهر (بلون غامق) على مشط الأخدود.

يُنسب إلى عناصر تقنية السقاية في الأخاديد طول أخدود السقاية وقياس وشكل مقطعها العرضي، وتدفق المياه في ثلم السقاية، وزمن السقاية.

يُستخدم طول أخدود السقاية في المجال: $600...50[m]$. تُحفر الأخاديد الأكثر طولاً في قطاعات السقاية للسطوح الترابية المُخططة جيداً عند نفاذية ضعيفة للتربة.

يُشكل تدفق مياه السقاية في المجال: $2[l/s]...1.5$. تُستخدم التدفقات الأكبر عند الأخاديد البينية العريضة وعند الميل الصغير لقعر الأخدود.

يُشكل زمن السقاية: [day]3…1 (الزمن الأعظمي عند التربة ضعيفة النفاذية للمياه) ويتحدد الزمن المطلوب من أجل تغذية المُعدل المطلوب من مياه السقاية. ويتكون من فترة وصول المياه إلى نهاية الأخدود ومن استمرارية التغذية الإضافية بالمياه.

التدفق الأعظمي المسموح به لمياه السقاية الذي عنده تجري المياه عبر أمشاط الثلم، ويُحدد قدرة التمرير للأخدود. حصل **كريفوفياز** على المعادلة التحليلية من أجل تحديد التدفق الحدي (النهائي): $[l/s]$ في الأخدود عند ميل قعره أقل من: 0.003 التالية:

$$q_{\lim} = 1.28\sqrt{i_{fur}}\,(0.6d_{fur} - 2\Delta)^2 \qquad (3\text{-}32)$$

حيث: i_{fur} – ميل قعر الأخدود.

d_{fur};$[m]$ – عمق الأخدود.

Δ;$[cm]$ – دقة التخطيط.

يجب إنقاص التدفق حتى: $[l/s]0.1$ ، وأحياناً حتى: $[l/s]0.05...0.03$ في حالة الانحدار (الميل) الكبير لقعر الأخدود من أجل منع التعرية (الاجتراف). يُمكن من مساحة: $[hr]1$ إخراج: $[ton]15...5$ من التربة الخصبة عند المُبالغة بالتدفقات في الأثلام خلال الموسم.

يُحدد التدفق الحدي للمياه في الأخدود من أجل التربة المُقاومة للتعرية (للانجراف) من المعادلة الآتية:

$$q_{\lim} = q_{red} / i_{fur} \qquad (3\text{-}33)$$

حيث: $[l/s]$;$q_{\lim}$ – التدفق الحدي الذي يُساوي: $[l/s]0.004$ من أجل التربة المتوسطة والضعيفة المُقاومة للتعرية ويُساوي: $[l/s]0.005$ من أجل التربة مُرتفعة المُقاومة للتعرية.

$[l/s]$;q_{red} – التدفق الأصغري في الأخدود.

يُحدد الطول الحدي للأخدود: l_{lim} من شرط وصول المياه ومن امتصاص التدفق الحدي لمياه السقاية:

$$l_{\lim} = \frac{q_{\lim}}{(x_0 \mu k_{st})} \qquad (3\text{-}34)$$

حيث: $[m]$;x_0 – المُحيط المبلول في بداية الثلم (يُمكن استخدامه مساوياً: $[m]$;$x_0 = 0.1 q_{fur}^{1/3} i_{fur}^{1/6}$).

$\mu = 0.75...0.85$ – ثابت تناقص المُحيط المبلول وفق طول الأخدود.

k_{st} – ثابت سرعة الامتصاص؛ $[mm/s]$.

تُحدد عناصر تقنية السقاية بطريقة الحساب الرياضي، وبطريقة التجربة الحقلية، وأيضاً بطريقة السقايات الاختبارية.

وُضعت مجموعة قواعد وبرامج لحل مسائل اختيار تقنية السقاية بالأخاديد على الحاسوب وباستخدام مُعادلات ترطيب التربة لجريان المياه السطحي من أجل **الحساب الرياضي**.

في **التجارب الحقلية** عند تحديد عناصر تقنية السقاية بالأخاديد يجب مُلاحظة الشروط المثالية التالية: يجب ألاّ يتجاوز الانحراف المسموح به لمعدلات السقاية الوسطية الفعلية المعدلات المطلوبة من أجل جميع سقايات فترة النمو: 0.10...0.15% . ويجب أن يتراوح حجم المياه الجارية للترطيب عند بلوغ نهاية الأخدود في المجال: 0.6...0.8% من معدل السقاية المطلوب. يجب ألاّ يقل ثابت عدم انتظام رطوبة التربة وفق طول الأخاديد: 0.7. ويجب ألاّ تتجاوز ضياعات المياه على الهدر عند نهاية الأخدود عند السقاية بتدفق مستمر: 30%، ألاّ تتجاوز عند التدفق المُتغير: 10% من الغزارة المائية. ويُمنع نهائياً جريان المياه من أعلى الأمشاط الترابية للأخاديد، ويجب بصرياً مُلاحظة انجراف مجاري الأثلام وزيادة تلوث المياه وفق أطوالها. ويجب أن يكون تدفق مياه السقاية وطول الأخاديد أصغر من التدفق الحدي ومن الطول الحدي المسموح بهما بنسبة: 0.10...0.20% .

طريقة السقايات الاختبارية: تُخصص من أجل تدقيق عناصر تقنية السقاية مُباشرةً في قطاع السقاية. تسمح السقايات الاختبارية والإنتاجية من التحقق من القيم المُقترحة لعناصر تقنية السقاية ومن تحقيق معدلات السقاية الفعلية الأكثر قُرباً من المعدلات الحسابية في كل حقل زراعي ذو الشروط الخاصة لإجراء السقايات. يتحدد الزمن المطلوب لتوقف جريان المياه في الأخدود من أجل تغذية المعدل المطلوب بزمن الامتصاص المُكافئ لمعدل حجم المياه هذا في مقطع الأخدود عند الحفاظ فيه على منسوب ثابت للمياه. تُجرى السقايات الاختبارية أيضاً من أجل إيجاد التدفق المنطقي لمياه السقاية في الأخدود.

تُبين الجداول (3-3;4-3-5) العناصر المُقترحة لتقنية السقاية بالأخاديد، ويُبين الجدول (3-6) والشكل (3-5) مُخططات السقاية.

الجدول (3-4): المُقارنات المُقترحة لعناصر تقنية السقاية بالأخاديد من أجل الشروط الصماء للأثلام عند تدفق ثابت (وفق مُعطيات لاكتايف).

نفاذية التربة	الثوابت	الميل الطولي لأخاديد السقاية، يتطابق عادةً مع الميل الموضعي الأعظمي: i				
		0.04	0.01	0.005	0.00175	0.0005
وسطية –تربة رملية وخفيفة ومفروشة بالحصى على عمق: $t1[m]$	l_{fur}	40	105	180	200	150
	q_{fur}	0.1	0.5	0.75	1.5	1
	t_1	5.5	1.3	3.0	1.25	1.8
	t_2	2.5	1.9	0.5	0.75	0.2
	t_{tot}	8	3.2	3.5	2	2
مُرتفعة – تربة خفيفة بقدرة وسطية	l_{fur}	75	130	250	300	250
	q_{fur}	0.1	0.25	0.75	1	0.75
	t_1	7.8	4.6	2.8	3.1	4.6
	t_2	14	9.4	5.9	5.2	5.8
	t_{tot}	6.2	4.8	3.1	2.1	1.2
وسطية – تربة وسطية	l_{fur}	100	175	300	300	350
	q_{fur}	0.1	0.25	0.5	0.5	0.5
	t_1	6	5	5.2	6	10
	t_2	17	11	7.8	6.5	4
	t_{tot}	23	16	13	12.5	14
مُنخفضة – تربة ثقيلة	l_{fur}	150	200	325	400	600
	q_{fur}	0.1	0.1	0.25	0.25	0.5
	t_1	9	18	19	20	13
	t_2	32.5	29	26	17	8
	t_{tot}	41.5	47	36	37	21
ضعيفة – طينية، وسطية، وتربة مفروشة غير نفوذة	l_{fur}	125	150	250	300	600
	q_{fur}	0.05	0.05	0.1	0.1	0.25
	t_1	14	20	20	34	35
	t_2	76	67.5	55	41	20
	t_{tot}	90	87.5	75	75	55

الجدول (3-5): المُقارنات المُقترحة لعناصر تقنية السقاية بالأخاديد من أجل الشروط الصماء للأثلام عند تدفق مُتغير (وفق مُعطيات لاكتايف).

نفاذية التربة	الثوابت	الميل الطولي لأخاديد السقاية، يتطابق عادةً مع الميل الموضعي الأعظمي: i				
		0.04	0.01	0.005	0.00175	0.0005
وسطية – تربة رملية وخفيفة ومفروشة بالحصى على عمق: $t1[m]$	l_{fur}	40	105	200	250	-
	q_1 / q_2	0.1/0.05	0.5/0.25	1/0.5	2/1	-
	t_1	5.5	1.3	1.7	1.25	-
	t_2	2.5	1.9	1.3	0.75	-
	t_{tot}	8	3.2	3	1.9	-
مُرتفعة – تربة خفيفة بقدرة وسطية	l_{fur}	75	130	300	350	-
	q_1 / q_2	0.1/0.05	0.25/0.125	1/0.5	1.5/0.75	-
	t_1	7.8	4.6	2.4	1.8	-
	t_2	6.2	4.8	3.1	3.2	-
	t_{tot}	14	9.4	5.5	5.0	-
وسطية – تربة وسطية	l_{fur}	100	175	350	350	400
	q_1 / q_2	0.1/0.05	0.25/0.125	0.75/0.375	0.75/0.375	0.75/0.375
	t_1	6	5	3.8	4.5	0.5
	t_2	17	11	7.2	7	3.5
	t_{tot}	23	16	11	11.5	11
مُنخفضة – تربة ثقيلة	l_{fur}	100	200	400	400	600
	q_1 / q_2	0.05/0.25	0.1/0.05	0.05/0.25	0.5/0.25	0.75/0.375
	t_1	12	18	6.5	7.5	10.9
	t_2	37	29	18.5	15.5	8.1
	t_{tot}	49	47	25	23	19

ضعيفة – طينية، وسطية، وتربة مفروشة غير نفوذة	l_{fur}	125	250	350	450	700
	q_1 / q_2	0.01/0.025	0.1/0.05	0.25/0.0125	0.25/0.0125	0.7/0.25
	t_1	14	18	10	18	18
	t_2	86	67	40	41	26
	t_{tot}	100	85	50	59	44

مُلاحظة: تُبين الرموز التالية في الجداول (3-3;4-3;5-3): l_{fur};$[m]$ – طول الأخدود، q_{fur};$[l/s]$ – تدفق المياه في الأخدود، q_1 / q_2;$[l/s]$ – التدفقات المُتغيرة في الأخدود، t_{tot};$[h]$ – زمن السقاية الكلي، t_1 و t_2 – زمن السقاية بالتطابق عند التدفقات: q_1 و: q_2 .

الجدول (3-6): المُخططات المُقترحة للسقاية وفق العلاقة بالميل الموضعي وبنفاذية التربة للمياه:

الميل	النفاذية				
	شديدة	مُرتفعة	وسطية	مُنخفضة	ضعيفة جداً
من أجل المسافة: $0.6[m]$					
أصغر من: 0.001	طولياً على الميل		عرضياً على الميل، طولياً وعرضياً في القطاعات دون ميل		
0.001…0.0025	أيضاً		أيضاً		
0.0025…0.0075	أيضاً		طولياً على الميل	عرضياً على الميل	
0.0075…0.02	أيضاً		طولياً على الميل		
0.02…0.05	أيضاً		مُخططات مُركبة للسقاية		
من أجل المسافة: $0.7 \ldots 0.9[m]$					
أصغر من: 0.001	–	–	–	عرضياً على الميل، طولياً وعرضياً في القطاعات دون ميل	
0.001…0.0025	–	عرضياً على الميل، طولياً وعرضياً في القطاعات دون ميل			
0.0025…0.005	–	–	عرضياً على الميل		

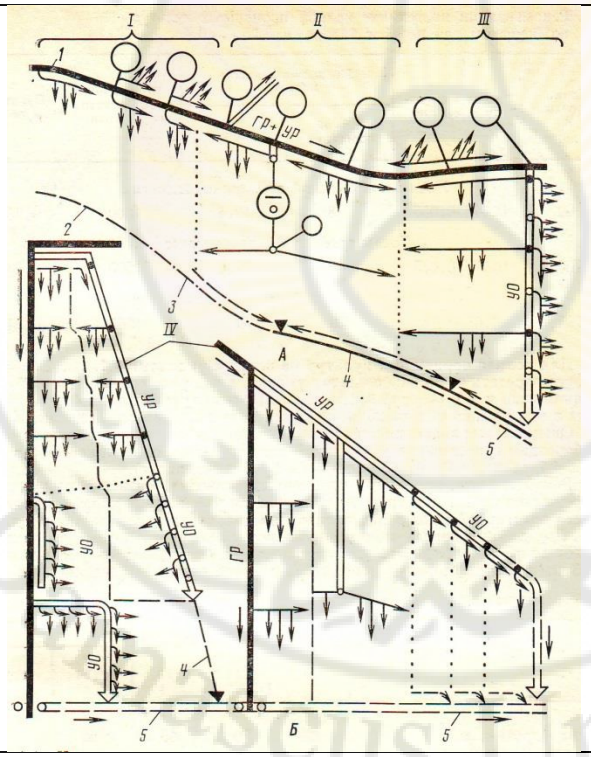
3-5- الري السطحي في شروط الهضاب والانحدارات الجبلية:

يجب استخدام أساليب ري ضد التعرية في هذه المناطق. يُبين الجدول (3-7) القيم المُقترحة لتقنية السقاية للمحاصيل الحقلية في الأخاديد، ويُبين الشكل (3-5) مُخططات السقاية.

الجدول (3-7): القيم المُقترحه لتقنية السقاية للمحاصيل الحقلية بالأخاديد من أجل الحقول بميل: 0.05…0.1.

مردود تقنية السقاية	معدل السقاية الصافي: $m_{br};[m^3/hr]$	زمن السقاية: $[h]$		التدفق في الثلم: $q_1/q_2;[l/s]$	طول الأخدود: $[m]$
		المعدل الكلي	معدل الوصول		
تربة مُرتفعة النفاذية للمياه					
0.75	**1000**	**19.4**	**8**	**0.075/0.035**	**60**
تربة وسطية النفاذية للمياه					
0.80	**1000**	**38.5**	**8**	**0.075/0.035**	**100**
تربة مُنخفضة النفاذية للمياه					
0.74	**1080**	**70**	**20**	**0.05/0.025**	**125**

من أجل سقاية المحاصيل الحقلية في الحقول بميل: 0.2…0.1 يجب حفر الأخاديد المُحيطية (الكنتورية) ليس بميل أكبر من الميل الأعظمي، وإنما بزاوية على الأفق أو بزاوية قريبة جداً منه. تُنقص أطوال الأخاديد وتدفقاتها بنسبة: 25% بالمُقارنة مع التدفقات العادية المُستخدمة في هذه الحالات.



الشكل (3-5): مُخططات السقاية المركبة: I,II,III– مُخططات مثالية لميل طولي صغير ووسطي وكبير، IV– أيضاً على ميل مستوي، A– المُخطط العرضي، b– المُخطط الطولي، GP– الموزع المجموع، YP– الموزع القطاعي، YO– قناة ري، 1– تقسيم المياه، 2– قناة صرف، 3– قناة صرف، 4– دريناج، 5– مجرى.

يُبين الجدول (3-8) القيم المثالية لعناصر تقنية السقاية للأشجار المُثمرة وللكرمة في الأخاديد باستخدام شبكة أنابيب مُغلقة (وفق مُعطيات **سورين و زوخريدينوف**).

الجدول (3-8): عناصر تقنية السقاية للأشجار المُثمرة وللكرمة في الأثلام.

الثوابت	الميل باتجاه الخطوط					
	0.08	0.10	0.11	0.13	0.14	0.16
طول الأخدود: $[m]$	90	80	70	65	60	60
التدفق في الأخدود: $[l/s]$:						
q_1	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.05
q_2	0.04	0.03	0.03	0.025	0.025	0.022

تُقترح السقاية عند التدفقات المُتغيرة، التي تُسهم في غسل التربة بحدود: $3...5[t/hr]$ خلال فترة النمو. من أجل إنقاص التعرية في الخطوط الزراعية في مناطق الهضاب قبل السقاية مبدئيا تُرطب الأطوال العلوية: 1/2...1/3 من طول الأخدود عند التدفق الأصغري: q_2 ، وثم يُزاد التدفق حتى: q_1 ، وبعد وصول المياه إلى نهاية الأخدود مرةً أخرى يُنقص حتى: q_2 . هذه الأساليب تُخفض ضياع المياه وتأخذ التربة إلى خارج حدود الحقل.

من أجل إنقاص التعرية وإنبات الخصوبة يُقترح سقاية المحاصيل الحقلية بالأخاديد بالسماح للمياه بالجريان فقط في الأخاديد، المكبوسة بعجلات الجرار. وشق ثلث الطول السفلي أو نصف الطول للأخدود. ويُفضل تسميد الأسمدة العضوية والمعنية، بتسميد كمية كبيرة منها في الثلث العلوي من طول الأخاديد. ومُعاملة الجزء العلوي لها باستخدام معدات تشكيل مُتوازنة.

3-6- الري بالغمر:

يُجرى الري بالغمر بين الأمشاط الترابية المُحيطة بمساحات على شكل مُستنقع. تُخطط المُستنقعات قريبة للمستوي الأفقي. يُحافظ على طبقة المياه فيها عادةً بسماكة: $3-20[cm]$. الأكثر شيوعاً لهذه السقاية هي عند ري الرز في الأراضي ذات الميل الصغير جداً (أقل من:0.001). وعند غسل التربة من الأملاح، وأحياناً عند ري المحاصيل في سطور ضيقة في المُنحدرات الصغيرة جداً. تتراوح مساحة المُستنقعات: $0.2-20[hr]$ وفق العلاقة بالوظيفة، وبالشروط الموضعية وبمكننة الأعمال الحقلية وهي ذات مُخططات مختلفة لتوضعها في مساحات الري.

قطاع السقاية: قطاع الأرض المروي الذي يشترط قناة ري واحدة عند أساليب سقاية واحدة، وتقنية سقاية ونظام ري واحد.

تُحدد مقاسات المُستنقع حجم أعمال التخطيط وعمق الحفر في التربة. يتناسب الحجم النوعي لأعمال التخطيط مع الميل الأساسي ومع الجذر التربيعي من مساحة المُستنقع. تتعلق

مقاسات المُستنقع بالعمق المطلوب وبغمره وبميل السطح. يتحدد نظام الغمر لمُستنقع الرز بشروط زراعة محصول الرز.

يتم إيجاد استهلاك المياه في فترة غمر المُستنقع: $[m^3/h]$ عند عمق توضع منسوب المياه الجوفية مع الأخذ بالاعتبار شدة التبخر وامتصاص المياه في التربة:

$$Q_{ch}t_{fl} = A_{ch}(h_{ft} + h_E + h_{ads} + h_{adm}) \qquad (3\text{-}35)$$

حيث: $t_{fl};[h]$ – طول مُدة (فترة) الغمر.

$A_{ch};[m^2]$ – المساحة المغمورة.

$h_{fl};[m]$ – الطبقة المطلوبة للغمر.

$h_E;[m]$ – طبقة التبخر في فترة الغمر.

$h_{ads};[m]$ – طبقة المياه المُمتصة في التربة (يتم إيجادها وفق سرعة الامتصاص مع اعتبار عدم التغطية بذات الوقت مساحة المُستنقع بالمياه).

$h_{adm};[m]$ – طبقة المياه المُضافة التي تُحقق عند التسرب غمر المُستنقع بالمياه خلال الفترة المطلوبة.

3-7- تخطيط سطح أراضي الري عند الري بالانسياب وتسويتها:

تُؤثر التضاريس الكبيرة غيرة المنتظمة على سطح الحقل على توضع شبكة الري الزراعية الداخلية. ويصعب في التضاريس الصغيرة إجراء السقايات وتُخفض جودتها، وأيضاً تُؤثر في إجراءات التقنية الزراعية وتُخفض إنتاجية المحاصيل الزراعية.

عادةً لا تُجرى تسوية للتضاريس الكبيرة غير المُنتظمة عند تخطيطها، وتُسوى التضاريس الصغيرة فقط، والصعوبة التي تُقوم هي قيمة الارتفاعات والانخفاضات الصغيرة لسطح التربة، وانحناء الأفق وميل سطح القطاع. تُقسم شرطياً التضاريس الصغيرة إلى هادئة أو بسيطة الصعوبة، ومتوسطة الصعوبة، وصعبة وصعبة جداً. قيمة ارتفاعات سطح الحقل الصغيرة في التضاريس وانخفاضات بسيطة الصعوبة: $[cm]5-0$، وفي متوسطة الصعوبة: $[cm]10-5$، وفي الصعبة: $[cm]20-10$، وفي الصعبة جداً: أكبر من $[cm]20$. فضلاً عن ذلك تُؤثر المساحة الموجود فيها ارتفاعات وانخفاضات في التضاريس الصغيرة الصعبة.

يسبق التخطيط الاستثماري وتسوية السطح لقطاعات السقاية أعمال أخرى تتعلق بتهيئة المساحة وتحضيرها للسقاية. لذلك لا بُد من أخذ تأثيرها بالاعتبار على خصوبة التربة وإنتاجية

المحصول. تُحّسن الإجراءات الصحيحة للتخطيط في الأراضي المروية من جودة السقاية، وتُساعد على انتظام الرطوبة أكثر، وعلى استخدام أفضل للمياه. فضلاً عن ذلك تزداد إنتاجية العمل وإمكانية أتمتة السقاية، وتثبيت منتظم للبذور وهذا يُحقق استنباتاً كاملاً ونُضجاً سريعاً لها، وبذات الوقت تطور مرحلة النمو للنباتات وخصوبة للتربة. تزداد نتيجةً لذلك إنتاجية المحصول لدرجة كبيرة.

يُقسم التخطيط إلى الرأسمالي (الأساسي أو الإنشائي) والاستثماري (الجاري). يُسوّي سطح التربة عند التخطيط الإنشائي، وتُردم المُنخفضات وتُزال المُنحدارات المعكوسة. عند ذلك بكل تأكيد يُؤخذ بالاعتبار أُسلوب السقاية الذي وفقه يجري التخطيط.

تُنجز أعمال تخطيط مختلفة وفق العلاقة بالتضاريس الكبيرة والصغيرة لسطح التربة، وبالمحاصيل الزراعية المروية وبأُسلوب سقايتها. يُخطط سطح التربة بحيث يكون قريباً للمستوي الأفقي بدقة: $\pm 5[cm]$ من أجل سقاية الرز بالغمر، ينتج عند ذلك أعمال كبيرة جداً، عادةً أكثر من: $800[m^3 / hr]$.

يُجرى التخطيط غالباً في المستويات المائلة المُنحدرة من أجل سقاية المحاصيل الحقلية بالأخاديد. الميل الأساسي للمستوي هو على طول الأخدود، أما عرضياً فهي تُخطط بميل غير كبير حتى: $0.003 - 0.005$. وبدقة تخطيط: $\pm 5 - 7[cm]$. ويُشكل حجم أعمال تخطيط: $300 - 600[m^3 / hr]$.

يُجرى التخطيط في المستويات المُنحدرة بميل عرضي أصغر من: 0.003. وبدقة تخطيط: $\pm 5[cm]$. ويُشكل حجم العمل أكبر من: $500[m^3 / hr]$ من أجل السقاية في الأخاديد.

يُبين أسلوب التخطيط الذي يُسمى (بالتصحيح الطبوغرافي لسطح التربة) من أجل السقاية بالمساكب وبالأخاديد حجم الأعمال الأقل. مساحة التخطيط الأساسية هي قطاع السقاية بمقاس أكبر من: $10[hr]$. يجب أن يكتسب قطاع السقاية ميلاً لسطحه في هذه الحالة. تُخطط المستقعات عند سقاية الرز بالغمر بصورة منفصلة وفق العلاقة بنوع توضعها ومُخطّطه المُستخدم في الخارطة (الشريحة).

يتطابق التخطيط الرأسمالي مع التجهيزات الدائمة لشبكة التوزيع، لأنه عند ذلك لا يتطلب تربة إضافية ويتحقق شرط أفضل للتحكم بالتغذية المائية إلى القنوات وإلى أثلام السقاية.

يُنجز التخطيط الاستثماري لاستصلاح الأراضي البكر ولتهيئة كل قطاع في الدورة الزراعية للسقاية.

المبدأ الأساسي لتصميم أعمال التخطيط هو توازن الكتل الترابية في جميع العناصر المجاورة لقطاع التخطيط: قنوات الري المؤقتة، والأمشاط الترابية، بالإضافة إلى الموزعات الرئيسية والبينية الزراعية، والصرف، والطرق الزراعية ... الخ:

$$A = B + C \qquad (3\text{-}47)$$

حيث: A – حجم التربة المُقتطعة من مُستنقع مُعين أو من قطاع السقاية.

B – حجم التربة المردومة في المستنقع في قطاع التخطيط.

C – حجم التربة المأخوذ من قطاع مُعين أو من مُستنقع لتخطيط الأمشاط الترابية، ولتخطيط الأمشاط الترابية على جانبي القنوات، والطرق وغيرها من المُنشآت.

تتشكل نتيجةً للتخطيط خصوبة مُختلطة للتربة التي بطريقة طبيعية تزاد ببطء. ينخفض الإنتاج بزيادة عمق الاقتطاع من التربة. يُسمح بالاقتطاع على أعماق مختلفة من أجل أنواع مختلفة من التربة، لكن بما لايتجاوز نصف طبقة الثرى (الدبال). يُمكن اقتطاع التربة على أعماق أكبر فقط في التربة الصفراء أو في التربة المُفعمة بالنباتات.

تمتلك أهمية كبيرة المُحافظة على خصوبة الأفق من أجل المحاصيل ذات النظام الجذري غير العميق، على سبيل المثال الرز ومن أجل التربة ذات الطبقة قليلة الثرى (تحت سطح التربة). تُستخدم عدة أساليب في التخطيط من أجل ذلك: التخطيط المُنزلق، وتخطيط الأخاديد الدوري، والتحريك المتتالي للتربة والقطع المستمر لطبقة الثرى.

تُحدد مناطق الاقتطاع والردم عند التخطيط المُنزلق. وهي تُقتطع بخطوط بعرض: $[m]40 - 20$. وتُقطع الطبقة العلوية: $[cm]20 - 10$ بواسطة آلات الجرف (البلدوزرات) وتُنقل إلى حدود الخطوط على شكل مُشط ترابي منزلق. ثم تُقطع التربة في المواضع المرتفعة حتى الإشارة التصميمية وتُردم في المُنخفض بواسطة آلات التسوية (السكريبر). وبعد ذلك تُبعثر طبقة الثرى من المُشط الترابي المُنزلق في كامل المساحة وتتم تسوية القطاع.

تُصمم أعمال التخطيط وفق مواد المسح لسطح مُعين من أجل أسلوب مُعين للسقاية: فعند التضاريس الصغيرة الناعمة تُصمم وفق المُخطط، أما عند التضاريس الصعبة فبواسطة الأشكال الجانبية الطولية. ويُستخدم أيضاً الأسلوب المختلط للتصميم. يُحدد اتجاه السقاية في القطاع، والميل الطولي الوسطي التصميمي، والميل الأعظمي والأصغري والميل العرضي

المسموح به. دقة التخطيط: $7[cm] - 5 \pm$. ويُؤخذ بالاعتبار التوضع الأفقي حيث ينخفض حجم الأعمال. يجب أن يتجاوز حجم الاقتطاعات حجم الردميات بنسبة: 10%.

يُمكن تحقيق كامل مجموعة التصميم لأعمال التخطيط باستخدام الحاسوب. هذا يُسّرع أعمال التصميم ويُخفض من كلفتها، ويُخفض جوهرياً من حجم أعمال التخطيط وكلفتها.

تُحدد قيمة الاقتطاعات والردميات وفق الإشارات المختلفة: يُحدد في المخطط المساحة والاقتطاعات والردميات لها. ويُحدد اتجاه انتقال التربة. ويُخرج المشروع إلى الواقع العملي. ويتم إظهار قيمة الاقتطاعات والردميات للتربة في مركز المربعات للمشروع التصميمي بشرائط ملونة مختلفة.

يبدأ التخطيط بالحراثة العميقة وبتقسيم أفق الثرى وفق الأُسلوب المُستخدم. تُقطع وتردم التربة بواسطة آلات التسوية والجرف (السكريبرات والبلدوزرات). يتحقق التحكم بواسطة أجهزة التسوية أو قياس المناسيب (المساحة) مع الأخذ بالاعتبار رواسب طبقة التربة المُشبعة بالرطوبة والمُفككة في مواضع الاقتطاعات.

تُنفذ الحراثة العميقة بعد الاقتطاعات ونقل التربة مرةً أخرى ثم التسوية. عند الانتهاء من التسوية تُقاس (تُمسح) مناسيب القطاع وفق الإشارت الموجودة سابقاً، ويُمثل الأفق على المخطط كل: $0.1[m]$، وتُحدد الميولات الطولية والعرضية. وتُعمل معاملة إضافية وفق الإشارات التصميمية عند الضرورة.

يجب إجراء التخطيط في التربة الجافة. وتُكبس التربة الرطبة بشدة. تُنثر الأسمدة المعدنية وتُبذر الأسمدة العضوية في مواضع الاقتطاعات للتخلص من خصوبة التربة المختلطة. يجب زراعة الأعشاب والمحاصيل البقولية كالأعشاب والحمص وغيرها في القطاع في العام الأول بعد التخطيط.

الفصل الرابع
الريّ بالرش وبالرذاذ (التمطير الاصطناعي)

4-1- أجزاء شبكة السقاية وتكنولوجيا تشكيل سحابة الرذاذ:

تتساقط المياه عند الريّ بالرذاذ على سطح التربة في شكل مطر اصطناعي، متحولة من حالة تدفق المياه إلى حالة ترطيب الهواء والتربة دون تشكل جريانات سطحية على سطح التربة. يتّصف الرذاذ المشكّل بواسطة أجهزة وآلات ومحطات تشكيل الرذاذ بالغزارة وبقياسات قطر القطرة، وبالكمية المُتساقطة خلال دورة سقاية واحدة، وبانتظام توزع الرذاذ المُتساقط على حقل الري.

نُعبر عن غزارة الرذاذ $\rho_t[mm/\min]$ في نقطة ما على سطح التربة بزيادة كمية الرذاذ $dh[mm]$ خلال الزمن الجزئي $dt_o[\min]$:

$$\rho_t = \frac{dh}{dt_o} \qquad (4\text{-}1)$$

تكون الغزارة في نقاط مُختلفة لمحيط الترطيب غير مُتجانسة، لذلك تُستخدم الغزارة الفعليّة $\rho_{act}[mm/\min]$ من أجل تشكيل سحابة رذاذ مُتميّزة، التي منها يؤثّر الرذاذ في التربة وفي المحاصيل.

يتساقط الرذاذ دورياً في كلّ نقطة على مساحة الري عند السقاية بواسطة الآلات والأجهزة المتحركة أو الدوارة. تُستخدم الغزارة الوسطية للرذاذ $\rho_m[mm/\min]$ في هذه الحالة من أجل مواصفات سحابة الرذاذ.

لا تتعلق الغزارة الوسطية للرذاذ بسرعة حركة الآلات والأجهزة الدوارة. فمن أجل آلات الري بالرذاذ العاملة في أثناء الحركة، فإن البارامتر الأساسي الذي يُميز تكنولوجيا تشكيل سحابة الرذاذ تُعتبر كمية الرذاذ المُتساقطة خلال شوط واحد أو خلال دورة واحدة للآلة. الجدول (4-1).

الجدول (4-1): يبين العلاقات الحسابية لتحديد بارامترات الرش والرذاذ لأنواع مُختلفة من آلات وأجهزة تشكيل الرذاذ.

آلة أو جهاز الرذاذ	الغزارة الفعلية للرذاذ $\rho_{act}[mm/\min]$	الغزارة الوسطية للرذاذ $\rho_m[mm/\min]$	كمية الرذاذ خلال شوط واحد أو دورة واحدة للآلة $h;[mm]$
آلات الري بالرذاذ العاملة أثناء الحركة الجبهية	$\frac{60Q_M}{bl}$	$\frac{60Q_M}{b}$	$\frac{60Q_M}{V_m b}$
آلات الري بالرذاذ العاملة أثناء الحركة الدائرية لأجهزة الرذاذ.	$\frac{60Q_M}{\pi R^2}$	$\frac{60Q_M}{\pi R^2}$	$\frac{60Q_M}{\pi R^2 n}$
آلات الري بالرذاذ متعددة المساند العاملة موضعياً	$\frac{60Q_M(q_{noz})}{a}$	$\frac{60Q_M}{bl}$	-

حيث: $Q_M;[l/\sec]$ – تدفق الآلة.

$b;[m]$ – عرض المساحة العاملة لآلة الري بالرذاذ.

$l;[m]$ – طول المساحة العاملة لآلة الري بالرذاذ.

$a;[m]$ – طول الحوز المائي (جزء من نهر أو قناة).

$V_m;[m/\min]$ – السرعة الوسطية لحركة الآلة مع الأخذ بالاعتبار التوقفات الزمنية القصيرة.

$R;[m]$ – نصف قطر تأثير الآلة أو الجهاز.

n – عدد دورات الجهاز أو الآلة.

$q_{noz};[l/\sec]$ – تدفق جهاز واحد.

تتعلق كمية الرذاذ بسرعة حركة سحابة الرذاذ، وتؤثر في عملية امتصاص المياه في التربة، ويُحدد معدل السقاية: $[mm]$ من المعادلة التالية:

$$m = 10hn \qquad (4\text{-}2)$$

حيث: $h;[mm]$ – كمية الرذاذ خلال شوط واحد (دورة واحدة) للسقاية. n – عدد الأشواط (الدورات).

بفرض أن المدّة الزمنية المثالية لتساقط الرذاذ هي الفترة ما قبل تشكّل الجريانات السطحية على سطح التربة. عملياً إلى ما قبل هذه اللحظة تكون سرعة امتصاص المياه في

التربة أكبر أو تُساوي السرعة الفعلية (من أجل الآلات العاملة في أثناء الحركة) أو تُساوي الغزارة الوسطية للرذاذ.

غزارة الرذاذ التي تُحقق في شروط مُعينة غزارة المعدل المطلوب للسقاية دون تشكلّ جريانات سطحية تُسمّى بالغزارة المسموح بها. تُحدّد هذه الغزارة تجريبياً من تكنولوجيا تشكيل الرذاذ المُختلفة حسب الجدول (4-2). وهي تتعلق بنفاذية التربة للمياه، وبميل سطح الأرض، وبالغطاء النباتي، وبحالة الطبقة السطحية للتربة وبعوامل أخرى كما مبين في الجدول (4-3).

الجدول (4-2): الغزارة الوسطية للرذاذ المسموح بها $[mm/\min]$ عند معدلات سقاية $300-500[m^3/hr]$.

نوع التربة	الرذاذ الموضعي	الرذاذ أثناء حركة الآلات والأجهزة
تربة خفيفة	0.8-1	0.3-0.35
تربة وسطية وثقيلة	0.5-0.8	0.22-0.27
تربة طينية	0.4-0.6	0.12-0.2
تربة رملية	0.3-0.5	0.07-0.15

الجدول (4-3): الغزارة المسموح بها للرذاذ وفق العلاقة بنوع التربة وبميلها وبوجود المحاصيل وعدم وجودها: $[mm/\min]$.

التربة	الميل							
	$i_a = 0-0.05$		$i_a = 0.05-0.08$		$i_a = 0.08-0.12$		$i_a \rangle 0.12$	
	بوجود محاصيل	لا توجد محاصيل	بوجود محاصيل	لا توجد محاصيل	بوجود محاصيل	لا توجد محاصيل	بوجود محاصيل	لا توجد محاصيل
رملية	0.85	0.85	0.85	0.64	0.64	0.44	0.42	0.21
خفيفة	0.74	0.42	0.53	0.34	0.42	0.25	0.32	0.17
وسطية	0.42	0.21	0.34	0.17	0.25	0.13	0.17	0.09
ثقيلة وطينية	0.09	0.07	0.07	0.04	0.05	0.034	0.04	0.025

يُحسب معدل السقاية المسموح به: $[mm]$ دون تشكل جريانات سطحية من العلاقة التجريبية التالية:

$$m_{adm} = P/\sqrt{\rho_m} \cdot e^{0.5 d_{dr}} \qquad (4\text{-}3)$$

حيث: $P;[mm]$ – ثابت الامتصاص الحر (دون ضغط) للمياه في التربة.

$[mm/\min]$;ρ_m – غزارة الرذاذ الوسطية من أجل آلات التأثير الموضعي، والغزارة الفعلية من أجل الآلات العاملة في أثناء الحركة الجدول (4-4).

e – أساس اللوغاريتم الطبيعي.

$[mm]$;d_{dr} – القطر الوسطي لقطرة الرذاذ.

الجدول (4-4): مواصفات جودة الرذاذ لآلات ومحطات الري بالرش وبالرذاذ.

الثابت	جهاز الرذاذ الموضعي	آلة ري بالرذاذ متحركة محورياً ذات جناحين	آلة ري بالرش معلقة بالجرار ذات أجهزة رش بعيدة المسافة لتطاير الرذاذ	آلة ري بالرش مقطورة بالجرار ذات أجهزة رش بعيدة المسافة لتطاير الرذاذ	آلة ري بالرذاذ عاملة موضعياً	أنبوب ري بالرذاذ ذي العجلات الاستنادية	آلة ري بالرذاذ ذاتية الحركة متعددة المساند	آلة ري بالرذاذ الكهربائية متعددة المساند والعرض العامل الكبير	آلة ري بالرذاذ ذات عربات استنادية
غزارة وسطية للرذاذ: $[mm/\min]$	0.23	0.22	0.4	0.32	0.27	0.16	0.28	0.28	0.31
قطر وسطي لقطرة الرذاذ: $[mm]$	1	1.6	1.9	1.4	1.5	1.1	0.8	1.2	1.5

ملاحظة: تتطلب آلة الري بالرذاذ ذات الجناحين المعلقين قناة مائية بطول: $300[m]$**، وتتطلب آلة الري بالرذاذ ذات الحركة المحورية قناة مائية بطول:** $1000[m]$.

يُساوي ثابت الامتصاص عددياً المعدل الكافي عند السقاية بالرذاذ بغزارة: $1[mm/\min]$ ويبين الجدول (4-5) التالي القيم التقريبية لثابت الامتصاص: $P;[mm]$ من أجل أنواع مُختلفة للتربة.

الجدول (4-5): القيم التقريبية لثابت الامتصاص: $P;[mm]$ **من أجل أنواع مُختلفة للتربة.**

نوع التربة	الثابت: $P;[mm]$
تربة طينية وثقيلة	20-30
تربة وسطية	30-60
تربة خفيفة	60-90
تربة رملية	>90

يحدّد عدد الأشواط والسرعة المطلوبة لحركة الآلة حسب العلاقة بمعدل السقاية المسموح به. يُمكن تحديد المدة الزمنية (الاستمرارية) للرذاذ المستمر: [min] إلى ما قبل بدء تشكل الجريانات السطحية حسب العلاقة التجريبية التالية:

$$\tau_{pud} = A / \rho_m \gamma_P \qquad (4\text{-}4)$$

حيث: A, γ_P – بارامترات تصف نفاذية التربة للمياه وتُحدد بالطرق التجريبية عند الرذاذ المستمر.

ρ_m; $[mm/\min]$ – الغزارة الوسطية للرذاذ.

من أجل التربة ضعيفة النفاذية للمياه فإنّ البارامتر A لا يتجاوز: $6-5$، وفي التربة الخفيفة يصل إلى: $30-20$. تتراوح قيمة البارامتر γ_P في المجال: $1.7-1.3$.

من أجل تقويم جودة الرذاذ، القيمة المهمة هي قطر قطرات الرذاذ المتشكّلة. من أجل المحاصيل الزراعية غالباً ما يُناسبها الرذاذ المتشكل بقطر: $[mm]0.9-0.4$. تُسبب قطرات الرذاذ التي قطرها أكبر من: $[mm]0.9$ تلف للمحاصيل وتشوه لبنية التربة. وتسبب في التربة اللامتماسكة انخفاضاً حاداً في سرعة الامتصاص. يُحافظ على التربة المُرتفعة النفاذية للمياه عند غزارة واحدة ولذات الغزارة لفترة أطول نسبياً عندما تكون قطرات الرذاذ صغيرة.

إحدى أهمّ الميزات الأساسية لجودة الرذاذ هي درجة انتظام توزعه في المساحة المروية. المُتطلبات التقنية الزراعية لآلات تشكيل الرذاذ ومحطاتها درست مُسبقاً ثابت السقاية الفعال حيث لا يقل عن: 0.7، هذا يعني أكثر من: 70% من المساحة يجب أن تروى بغزارة وسطية: ρ_m ضمن المجالات المسموح بها: أي ليس أقل من: $0.75\rho_m$ وليس أكبر من: $1.25\rho_m$.

4-2- الوسائل التقنية وتكنولوجيا السقاية:

4-2-1- المبادئ الأساسية للتمطير الاصطناعي (للري بالرش وبالرذاذ):

تتلخص السقاية بالرش وبالرذاذ بتغذية المياه على سطح التربة والنباتات في شكل قطرات مطر اصطناعية، التي تُشكل بواسطة أجهزة رش خاصة. تُقسم أجهزة الرش والرذاذ إلى آلات، ووحدات ماكينات، ومحطات الري بالرذاذ، التي تُنقل المياه إليها من مصادر الري عبر نظام أنابيب الدفع (الضخ) أو عبر قنوات الري المكشوفة.

يتحول تيار المياه إلى قطرات رذاذ بواسطة فوهات الرش أو أجهزة الرش على حساب ضغط المياه المُتشكل فيها.

تُحدد عناصر تقنية السقاية بالرذاذ المقارنة المثالية لبنية الرذاذ وتكنولوجيا غزارته والمواصفات الأساسية للحقل (نوع التربة وحالتها، تضاريس سطح التربة الصغيرة، والمعلومات الميتارولوجية (المناخية)، ونوع المحصول الزراعي ومراحل نموه ... الخ.).

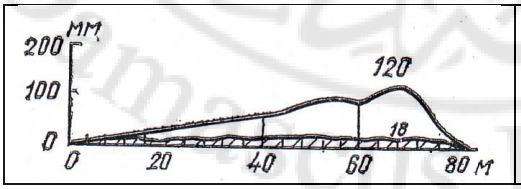
4-2-2- فوهات الرش وأجهزة تشكيل الرذاذ:

تُعتبر فوهات الرش وأجهزة تشكيل الرذاذ المختلفة الأنواع هي الجزء العامل الأساسي الذي يُشكل التيار المائي على شكل رذاذ.

تُسمى الأجهزة المُستخدمة لتشكيل الرذاذ التي لا تملك أجزاء متحركة بالفوهات، أما الأجهزة المُستخدمة لتشكيل الرذاذ وتُوزعه على كامل مساحة السقاية بما فيها العناصر المُتحركة فتُسمى بأجهزة الرش والرذاذ. تُقسم أجهزة الرش إلى الأجهزة ذات التأثير لمسافة قريبة (نصف قطر تأثيرها حتى: $10[m]$)، والتأثير لمسافة مُتوسطة (نصف قطر تأثيرها حتى: $50[m]$)، والتأثير لمسافة بعيدة (نصف قطر التأثير أكبر من: $50[m]$).

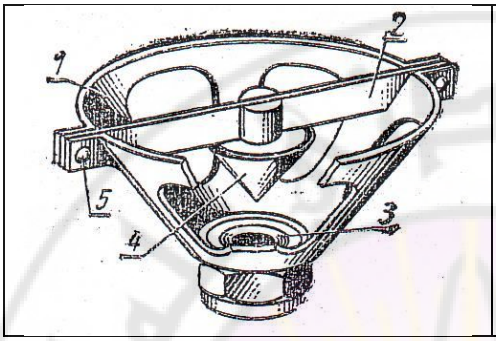
تُثبت الفوهات الموجهة على آلات الري بالرذاذ المُعلقة (الكانصولية) المزدوجة، وفي محطات الري بالرذاذ عند سقاية الورود والزهور والنباتات المزروعة في المحميات (البيوت البلاستيكية).

تُشكل فوهات الرش التدفقية في الوضعية الثابتة طبقة رذاذ غير مُنتظمة وفق طول تأثيرها (طول الرش): R ، الذي يزداد بالاتجاه من الفوهات وتبلغ قيمته العظمى على مسافة: $0.8-0.85R$ الشكل (4-1). ونحصل على انتظام أكثر انتشاراً لطبقة الرذاذ موضعياً وفق مساحة الري عند دوران جميع فوهات الرش التدفقية حول محورها الشاقولي. عند ذلك يتناقص نصف قطر التأثير بنسبة: $5-10\%$ تبعاً لمقاومة الهواء عند حركة التيار وفق المساحة الدائرية. تتناقص غزارة الرذاذ على حساب دوران الفوهات بذات الوقت مع انتظام أفضل لترطيب التربة.



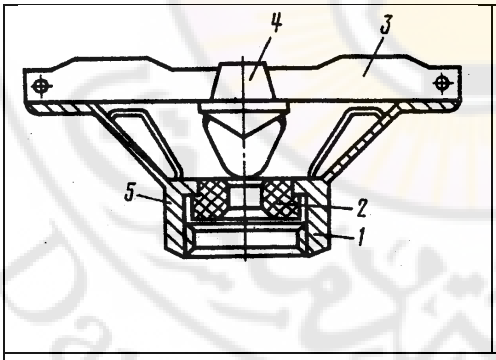
الشكل (4-1): تغير طبقة الرذاذ المُشكّل بواسطة فوهة ثابتة (بخط متصل) والدائرة حول المحور الشاقولي (المساحة المظللة أو المهشرة).

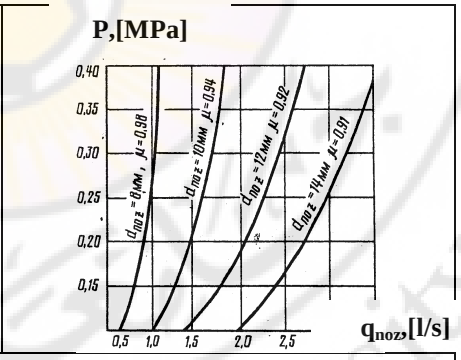
تُستخدم الفوهات النابذية والمشقوقة وغيرها من الفوهات بالإضافة للفوهات الموجهة والتدفقية، وتُصنع الفوهات وفق العلاقة بعدد المنافث في جهاز رش واحد إما بمنفث واحد أو بمنفثين أو بثلاثة منافث. الشكل (4-2).



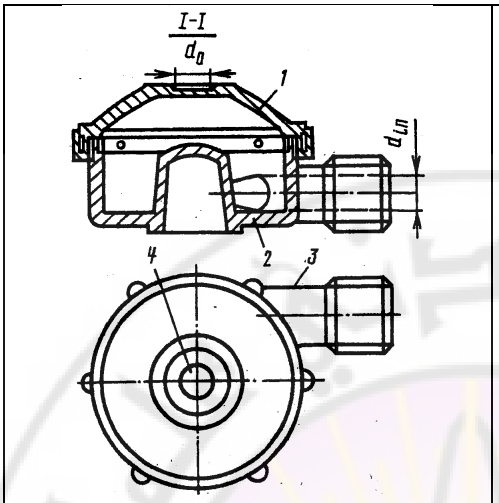
الشكل (4-2): فوهة موجهة من أجل السقاية الدائرية: ١– الهيكل، ٢– صفيحة، ٣– منفث، ٤– مُوجه مخروطي، ٥– مسمار تثبيت (تيلة).

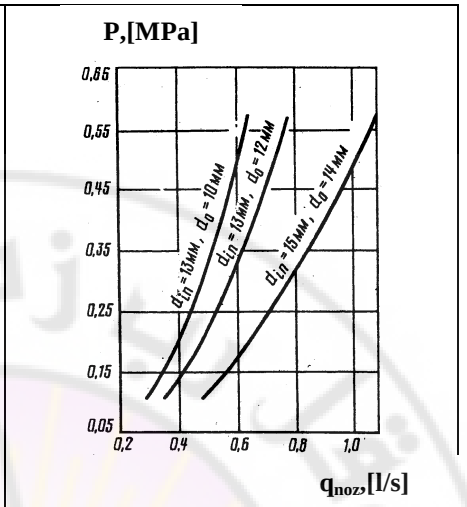
تُستخدم من أجل تشكيل الرذاذ فوهات وأجهزة موجهة عاكسة وتدفقية. يخرج تيار المياه في الفوهات الموجهة من ثقب الفوهة بسرعة مُحددة ويصطدم بالموجه (لوح عاكس) أو ينساب عليه بشكل شريحة مائية رقيقة (فيلم) تتوزع إلى قطرات مُنفصلة في الهواء، أمّا في فوهات الرش التدفقية فإنّ تيار المياه الخارج من الفوهة بسرعة كبيرة للجو المحيط يُواجه مقاومة الهواء وتدريجياً يتوزع إلى قطرات. تُرفق عادةً أنواع الفوهات ومجال استخدامها في جداول خاصة من قبل الشركات الصانعة. وفيما يلي يُبين الشكل (4-3) الأشكال العامة للفوهات.



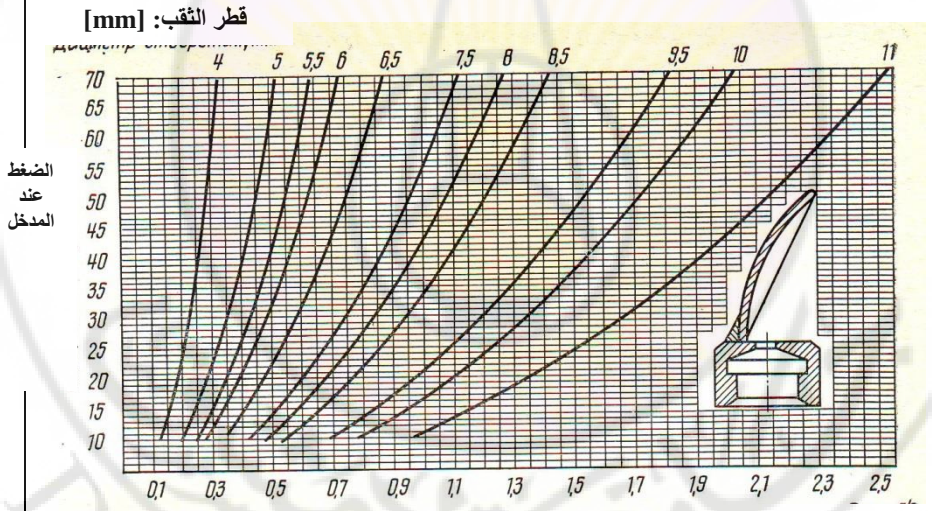


a

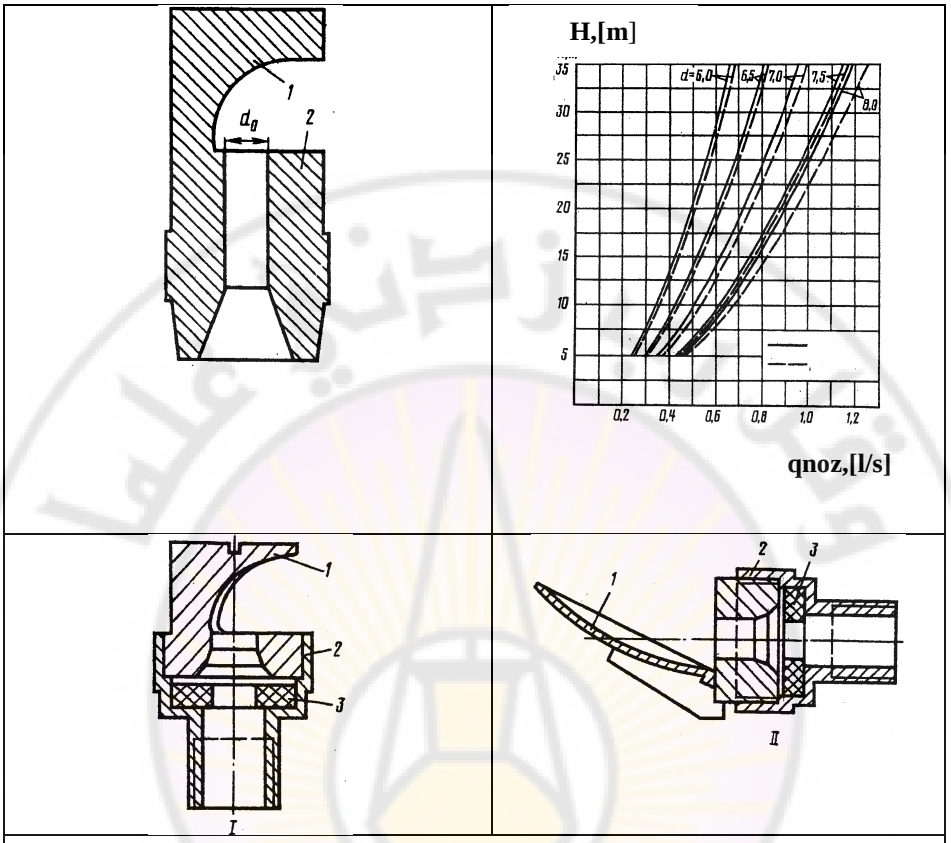

I-I
d_0
1
d_{1n}
2
3
4


P,[MPa]
0,65
0,55
0,45
0,35
0,25
0,15
0,05
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
d_{1n} =13мм, d_0 =10мм
d_{1n} =13мм, d_0 =12мм
d_{1n} =15мм, d_0 =14мм
q_{noz},[l/s]

b


قطر الثقب: [mm]
4
5
5,5
6
6,5
7,5
8
8,5
9,5
10
11
الضغط عند المدخل
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
0,1
0,3
0,5
0,7
0,9
1,1
1,3
1,5
1,7
1,9
2,1
2,3
2,5
q_{noz},[l/s]

c



d

الشكل (4-3): الأشكال العامة للفوهات والصفات التدفق– الضغط لها.

a– فوهة موجهة قصيرة المسافة لتطاير الرذاذ،١– صامولة وصل،٢– فوهة متغيرة، ٣– قاطع، ٤– موجه،٥– الهيكل، $[l/\sec]$;q_{noz} – تدفق الفوهة، $P;[MPa.]$ – الضغط عند مدخل الفوهة، $[mm]$;d_{noz} – قطر الفوهة، μ –ثابت الاحتكاك الهيدروليكي. b – فوهة نابذية: ١– سدادة،٢– هيكل، ٣– ماسورة، ٤– ثقب، $[mm]$;d_{in}, d_o – قطر الخروج والدخول.c – فوهة ذات موجه مغرفي: ١– موجه، ٢– هيكل.d – فوهة موجهة مشقوقة: ١– هيكل، ٢– موجه، $H;[m]$ – الضغط عند مدخل الفوهة.e – فوهة ذات حلقات لتنظيم التدفق: ١– موجه، ٢– هيكل، ٣– حلقة المثبت (المنظم)، I– الرئيسية، II– الجانبية.

ويُبين الجدول (4-6) أنواع الفوهات ومعادلاتها الحسابية ومجال استخدامها، ويُبين الجدول (4-7) بارامتراتها.

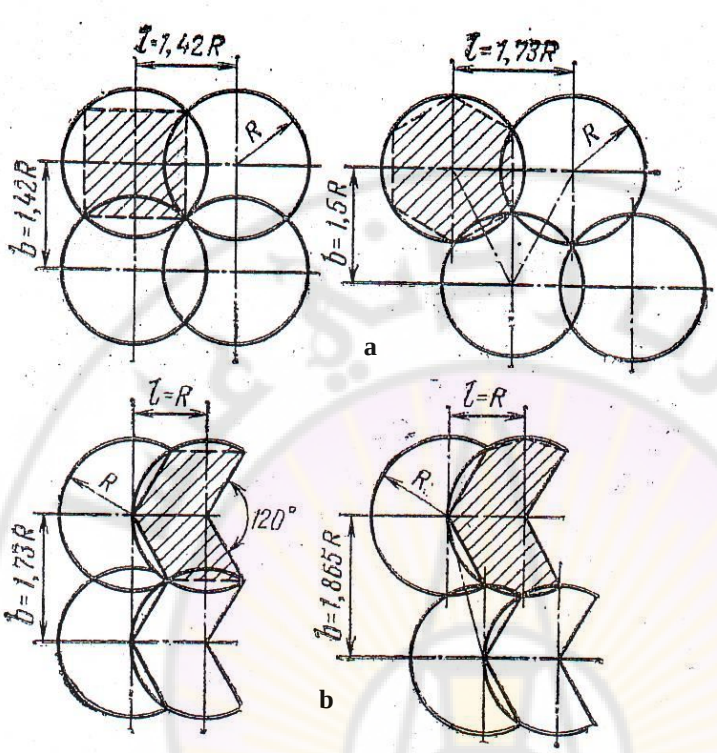
الجدول (4-6): أنواع فوهات الرش والرذاذ ومُعادلاتها الحسابية ومجال استخدامها.

نوع الفوهة	المعادلات الحسابية		مجال استخدامها
	التدفق، $q_{noz},[l/s]$	نصف قطر القطاع المروي: $R;[m]$	
دائرية موجهة	$q_{noz}=\mu\omega\sqrt{2gH}$ حيث: $\mu=0.8-0.94$ - ثابت التدفق، ω - مساحة المقطع العرضي لثقب الخروج للفوهة $[m^2]$، g- الجاذبية الأرضية $[g/cm^2]$.	$R=\frac{H}{0.43+0.0014(H/d_S)}$ حيث: $d_S;[m]$ - قطر ثقب الخروج للفوهة. $H;[m]$ - الضغط عند ثقب الخروج.	وحدة ماكينات الرذاذ الكانصولية، ولري القطاعات الزراعية، وحدائق الزينة.
قطاعية موجهة		$R_{sec}=\frac{H}{1.15+0.00003(H/b_{sb})};$ $2000\langle H/b_{sb}\langle 5000$ حيث: $b_{sb};[m]$-عرض الحز (الفتحة).	آلات الرذاذ ذات العرض العامل الكبير، ولري القطاعات الزراعية، وحدائق الزينة.
نابذية	$q_{noz}=\frac{K_1}{\sqrt{1+K_2^2\frac{K_1^2}{1-K_1^2}}}S\sqrt{2gH}$ حيث: $K_2;K_1$ - ثوابت. عندما: $K_2=4$ فإن: $K_1=38$، وعندما: $K_2=3$ فإن: $K_1=44$. $K_2=\frac{R_l r_j}{r_{noz}^2}$ حيث: $R_l;[m]$ - المسافة من محور أنبوب نقل المياه حتى مركز فتحة الفوهة، $r_j;[m]$ - نصف قطر تأثير تيار المياه الخارج، $r_{noz};[m]$ - نصف قطر مدخل ماسورة الفوهة، $S;[m^2]$ - مساحة المقطع العرضي للفوهة.		لتوزيع مياه السقاية مع الجريانات السطحية الناتجة عن المخلفات الحيوانية. ولري القطاعات الزراعية، والتسميد ولري حدائق الزينة.

الجدول (4-7): بارامترات أنواع فوهات الرش والرذاذ (العمل دون تغطية).

نوع الفوهة	قطر الفوهة [mm]	الضغط: [mm]	سرعة الرياح: [$m/\sec$]	التدفق على المساحة العاملة: [$l/\sec$]	ثابت هيدروليكي μ	المساحة العاملة [m^2]	شدة الرذاذ: [$mm/\min$]	القطر الوسطي التكعيبي للقطرة: [mm]
موجهة	12	14	0	1.33	0.906	192	0.416	1.58
مخروطية	14	15	1.5	1.61	0.908	326	0.296	0.91
ملعقية		10	1.3	0.29	0.696	59	0.298	1.37
قطاعية	7	15	0.8	0.43	0.723	86.7	0.304	1.37
		25	1.15	0.5	0.686	93.5	0.321	1.37
		38	0.27	0.70	0.699	102.1	0.413	1.37
موجهة ذات عاكس نصف كروي	6	20	0	0.38				
	6.5	22		0.45	0.83	54	0.52	-
	7	20	0	0.52	0.83	54	0.52	-
	7.5	20	0	0.60	-			
	8	20	0	0.68	-	54	0.52	-
ملعقية نابذية مع تنظيم التدفق	10	15	2.09	0.28	0.252	175.5	0.098	0.82
	6	15	0.99	0.28	0.68	80.8	0.208	1.24
		25	1.2	0.36	0.62	97	0.227	1.24
		37	1.1	0.36	0.50	107.5	0.204	1.24

تُظهر الرياح تأثيراً كبيراً في المساحات المروية بانتظام باستخدام فوهات الرش التدفقية. لذلك تُجرى السقاية الدائرية عندما سرعة الرياح تصل حتى: $2.5[m/\sec] - 2$. وعندما تكون سرعة الرياح أكبر من ذلك ننتقل للسقاية الموضعية وفق القطاع باتجاه تأثير الرياح بتغيير المواضع دورياً في الوضعية المُعاكسة لاتجاه الرياح، وهذا يُحقق انتقال لآلات الري بالرش المُتحركة على سطح التربة الجافة. تُستخدم زاوية القطاع المروي عادةً: 240^o، أما المسافة بين المواضع المُتجاورة لأجهزة الرش والرذاذ المُثبتة (على الأنابيب، أو على قنوات الري) عند السقاية وفق القطاع هي: R. وتتعلق المسافة بين الأنابيب بمُخططات توزيع أجهزة الرش الشكل (4-4).



الشكل (4-4): مُخططات السقاية بواسطة فوهات الرش بعيدة المدى (المساحة المظللة المروية من موضع واحد مع الأخذ بالاعتبار تغطية الرذاذ من المواضع المجاورة): a- السقاية الدائرية، b- السقاية وفق القطاع (السقاية القطاعية)، R - نصف قطر التأثير، l - المسافة بين المواضع على قناة الري أو على أنبوب الري، b - المسافة بين قنوات الري أو بين أنابيب التوزيع.

يجب إنقاص المسافة بين المواضع المُتجاورة عندما تتراوح سرعة الرياح: $3-3.5[m/\sec]$، لإن ذلك يُؤدي إلى تضييق مساحة السقاية بالاتجاه العمودي على تأثير الرياح. ويُمكن إنقاص المسافة بين أجهزة الرش بالاتجاه العرضي فقط لتأثير الرياح عندما يكون اتجاه تأثيرها بسرعة كبيرة هو السائد.

يُنسب إلى **أجهزة الرش التدفقية متوسطة التأثير**: روزا-١ وروزا-٢ وروزا-٣. هي من ذات النوع حسب التصميم، وتختلف عن بعضها البعض بالمقاسات الحجمية، وبالإنتاجية، وبتجهيزاتها من أجل السقاية القطاعية. وهي تُستخدم في أنظمة الري المُغلقة، وفي محطات وآلات الري المتحركة من أجل ري المحاصيل الزراعية في جميع المناطق. يُمكن أجهزة الرش التدفقية متوسطة المسافة للتأثير أن تملك ثلاثة منافث عاملة. تُجرى السقاية باستخدام جهاز روزا-١ فقط دائرياً، وتُجرى السقاية باستخدام روزا-٢ وروزا-٣ دائرياً وقطاعياً. الشكل (4-5).

تُستخدم **أجهزة الرش التدفقية بعيدة المدى** في الأنظمة والمحطات الثابتة ذات الأنابيب القابلة للفك والتركيب. وهي تُخصص لمكننة الري بالرش للمحاصيل الزراعية وللأشجار المثمرة

في جميع مناطق أراضي الري وبسرعة رياح وسطية في فترة السقاية حتى: $5[m/\sec]$. يُعدّ الجهاز الأساسي لهذه المجموعة هو جهاز الرش التدفقي بعيد المسافة للتأثير الذي يتكون من القاعدة كوع (مرفق) مع عمود ومقوم، وفوهات ورؤوس الرش القابلة للتبديل وميكانيزم دوران الماسورة الرئيسية ومُسنن عكس الحركة. يستمد ميكانيزم الدوران حركته من العنفة التي تدور بتأثير تدفق المياه الخارج من فوهة الجهاز. يُثبت الجهاز على ماسورة قائمة بواسطة وصلات سريعة الفك والتركيب بحيث لا تتطلب معدات فك وتركيب. يُمكن إجراء السقاية باستخدام الجهاز دائرياً وقطاعياً.

تُقسم **أجهزة الرش التدفقية** شرطياً إلى متوسطة وبعيدة المسافة لتطاير قطرات الرذاذ، تكون المسافة المتوسطة: $35-15[m]$، والبعيدة: $100-35[m]$ وأكبر من ذلك. ونُبين فيما يلي المعادلات التجريبية لتحديد مسافة تطاير الرذاذ: $[m]$:

معادلة **بيكالوف** (الفعلية عندما: $H_a/d_1>1000;\ \theta_0=32^o$)

$$R=0.42H_a+1000d_1 \qquad (4\text{-}5)$$

حيث: $H_a-[m]$ الضغط عند مدخل الفوهة. $d_1-[m]$ قطر الفوهة عند المخرج.

معادلة **ماركفارديت**:

$$R=\frac{2H_a\sin 2\theta_o}{1+4\lambda H_a/d_1\sin\theta_0} \qquad (4\text{-}6)$$

حيث: $\lambda=1-e^{-H_a/1.6d_1}$، و: $e-$ أساس اللوغاريتم الطبيعي.

معادلة **لبيدوف** (الفعلية عندما: $800\langle H_a/d_j\langle 4000$):

$$R=\frac{H_a}{0.4+0.00025H_a/d_j} \qquad (4\text{-}7)$$

حيث: $H_a-[m]$ الضغط عند مدخل الفوهة. $d_j-[m]$ قطر الفوهة عند المخرج.

يُعوض في المعادلة السابقة: 0.5 بدلاً من: 0.4 عند وجود مُعدّل في الماسورة الرئيسية للجهاز (في جذع الجهاز).

تتناقص مسافة تطاير الرذاذ بنسبة: $5-15\%$. عندما يكون عدد دورات الماسورة الرئيسية للجهاز: $1-0.1[r.p.m]$، ويُعدّ شكل المساحة العاملة بالرذاذ دائرياً بنصف قطر: R عند عدم وجود الرياح، ويُعتبرُ شكلُ المساحة العاملة بالرذاذ قطعاً ناقصاً (إهليلجياً) أمّا عند وجود الرياح، الذي يتطابق عنده المحور الكبير مع اتجاه الرياح ويُساوي تقريباً: $2R$، أمّا

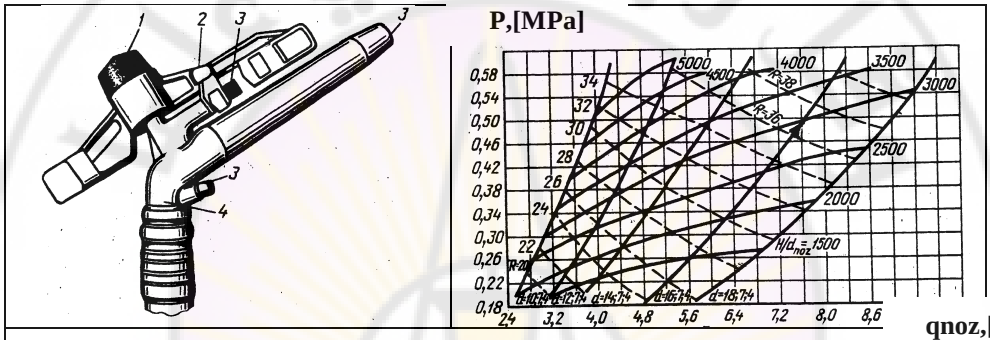
المحور الصغير فيتناقص حسب زيادة سرعة الرياح. تحدث شدّة تقلّص القطع الناقص عندما سرعة الرياح تساوي: $3-3.5[m/\sec]$.

يُمكن حساب شدّة تقلص القطع الناقص عند سرعة رياح حتى: $8[m/\sec]$ حسب معادلة **سالخوف وغوسين** الآتية:

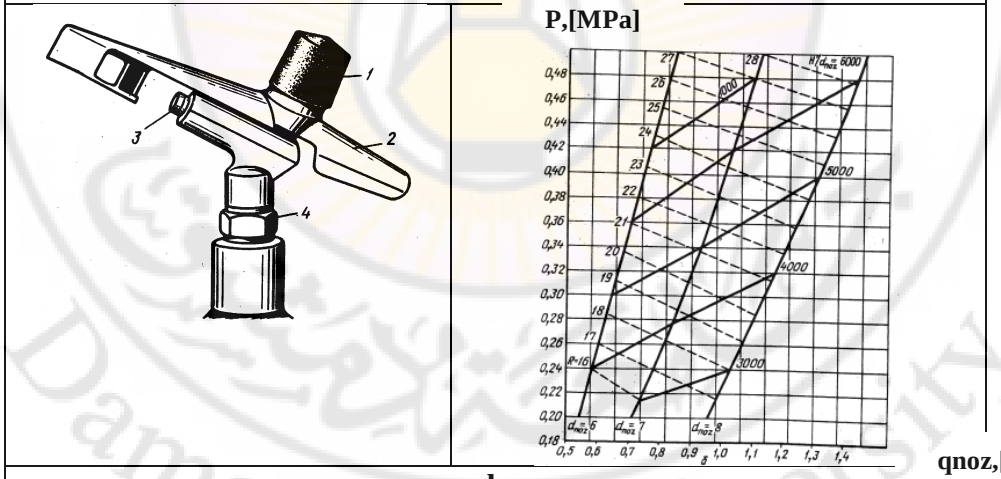
$$P = 0.34e^{-0.35V_W} + 0.66 \qquad (4\text{-}8)$$

حيث: P – نسبة عرض القطع الناقص إلى طوله.e– أساس اللوغاريتم الطبيعي.

$v_w;[m/\sec]$ – سرعة الرياح.



a



b

الشكل (4-5): أجهزة الرذاذ متوسطة المسافة لتطاير الرذاذ ومواصفاتها التقنية التدفق الضغط.

a– روزا–٣، **b**– روزا–١، ١– **سدادة نابضية**، ٢– **ذراع متأرجح (هزاز)**، ٣– **منفث**، ٤– **هيكل**. $P;[MPa]$ – **الضغط عند مدخل الجهاز**، $H;[m]$ – **الضغط عند الفوهة**، $q_{noz},[l/\sec]$ – **تدفق الجهاز**، $d_{onz},[mm]$ – **قطر الفوهة**، $R;[m]$ – **مسافة تطاير الرذاذ**.

تُقسم **أجهزة الرذاذ المتوسطة والبعيدة المدى** لتطاير الرذاذ حسب نوع نقل الحركة الدورانية للماسورة الرئيسية للجهاز إلى هزازة تأرجحية وعنفية دوارة هيدروليكية فعالة.

يُمكن لأجهزة الرذاذ متوسّطة المسافة لتطاير الرذاذ أن تملك حتّى ثلاثة منافث عاملة. تنحرف أجهزة الرش الهزازة العاملة في المستوي الأفقي أو الشاقولي بسبب طاقة التيار المائي، وبالعكس تعود لوضعها بفعل النابض. فعند الحركة العكسية لها بفعل النابض يحدث صدم على الماسورة الرئيسية للجهاز، وهذا يؤدي لدوران هيكله بزاوية: $3^o - 2$ درجة.

يتحقق رذاذ متقطع عند دوران الماسورة الرئيسية، الذي عنده مجموع كمية الرذاذ تتشكل من طبقات مُنفصلة، التي تُعطى عبر فواصل زمنية مُحددة، وبفضل ذلك تُمتص المياه وعندئذٍ تتحقق السقاية دون تشكل جريانات سطحية.

الجدول (4-8): الصفات التقنية لأجهزة الرذاذ متوسطة المسافة لتطاير الرذاذ.

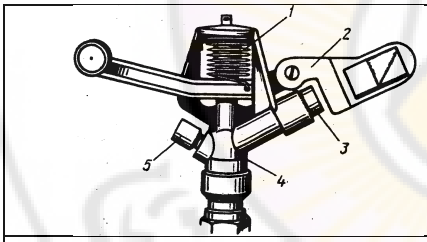
البارامترات	روزا-١	روزا-٢	روزا-٣	روزا-٤	روزا-٥
التدفق: $[l/\sec]$	0.45-1.25	1-3.4	2.5-9.5	1	4-5
الضغط عند مدخل الجهاز: $[MPa]$	0.2-0.5	0.2-0.5	0.2-0.6	0.35-0.4	0.4-0.6
نصف قطر السقاية حسب محيط القطرة: $[m]$	13-21	15-28	23-40	18-19	25-27
كمية الرذاذ الوسطية دون تغطية: $[mm/\min]$	0.51-0.05	0.08	0.09-0.15	0.053-0.059	0.12-0.13
عدد الدورات: $[r.p.m]$	0.25-0.5	0.25-0.5	0.25-1	0.5-0.75	0.5-1
قطر الفوهة الأساسية: $[mm]$	6,7,8	5,7,8,9	10,12,14,16,18	7	14,18
الثانوية		7.4	7,4	3	-
تكنولوجيا عمل الجهاز	سقاية دائرية	سقاية دائرية أو قطاعية	سقاية دائرية أو قطاعية	سقاية دائرية	سقاية دائرية
كتلة الجهاز: $[kg]$	0.63	1.45	1.5	0.19	2

يبيّن الشكل (4-5) الأشكال العامة لأجهزة التذرير روزا وصفاتها التقنية التدفق – الضغط التي تُثبت على محطة التذرير المتحركة، وعلى آلات أخرى. وتُبين الجداول (4-8;4-9) المواصفات التقنية الأساسية لمجموعة أجهزة الرش المتوسطة المدى لتطاير الرذاذ.

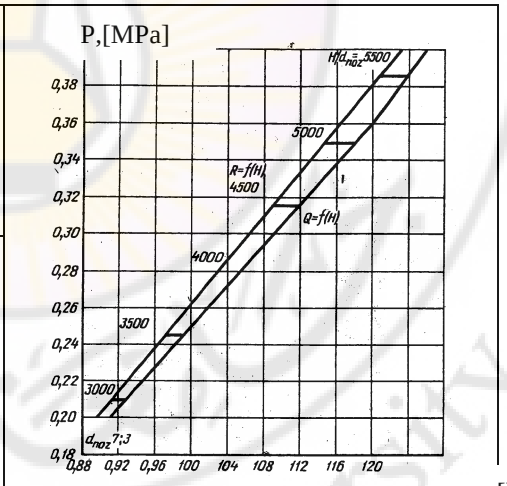
الجدول (4-9): المواصفات التقنية لأجهزة الرذاذ لآلة الري بالرذاذ المتحركة دائرياً:

البارامترات	رقم ١	رقم ٢	رقم ٣	رقم ٤	فوهة ثلاثية	فوهة ثنائية
التدفق: $[l/\sec]$	0.092-0.57	0.28-1	0.82-2.75	2.16-3.9	5.4-14.2	2.8-5.8
الضغط في مقطع انضغاط التيار: $[MPa]$	0.14-0.35	0.18-0.42	0.18-0.5	0.3-0.5	0.42-0.7	0.25-0.5
نصف قطر السقاية وفق حدود قطرات الرذاذ: $[m]$	11-13	13-17	16-24	20-30	32.5-35.5	25-30
الشدة الوسطية للرذاذ دون تغطية: $[mm/\min]$	0.09-0.07	0.04-0.06	0.06-0.09	0.10-0.08	0.1-0.21	0.26
عدد الدورات: $[r.p.m]$	0.75-1	0.25-0.5	0.25-0.5	0.25-0.5	0.25-0.5	0.25-0.5
قطر الفوهة: $[mm]$						
الأساسية	2.8;3.2	3.6;3.9;4.3; 4.8;5.1;5.6	5.6;6;7.1; 7.9;8;9.5	9.5;10.3 11;11.9	12.7;14.3 15.9;17.5	12.7;13.5; 14.3;15.9
الثانوية	-	سدادة: 2.4;3.2	4.3;4.8; 5.6	5.6	7.9;9.5 6.3;7.9	6.3
الكتلة: $[kg]$	0.4	0.5	1.2	1.7	5.3	1.7
تكنولوجيا العمل	دائرية				وفق قطاع معين	

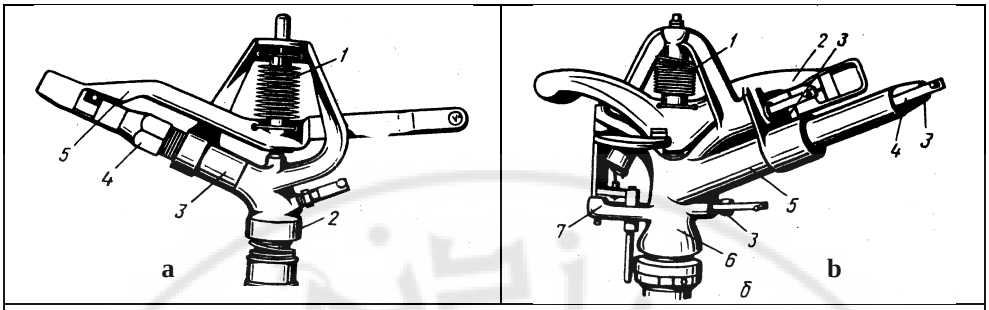
ويبين الشكل (4-6) الأشكال العامة والموصفات التدفقية – الضغط لأجهزة تشكيل الرذاذ.



الشكل (4-6): جهاز الرذاذ متوسط المسافة لتطاير الرذاذ ومواصفات التدفق الضغط له، ١– نابض رجوع عكسي، ٢– ذراع متأرجح، ٣– فوهة، ٤– هيكل، ٥– سدادة (الرموز الباقية أنظر الشكل 4-3)



ويبين الشكل (4-7) أشكال أجهزة الرذاذ لآلة الري المتحركة دائرياً، ومواصفات الضغط– التدفق لها.



الشكل (4-7): أجهزة الرذاذ لآلة الري المتحركة دائرياً وصفات الضغط– التدفق لها، a– المجموعة المنتجة رقم ٤: ١– نابض رجوع، ٢– هيكل، ٣– جذع، ٤– فوهة، ٥– ذراع متأرجح، b– الجهاز النهائي، ١– نابض رجوع، ٢– ذراع متأرجح، ٣– فوهة، ٤– قاطع موجه، ٥– جذع، ٦– هيكل، ٧– ميكانيزم قطاعي.

تُقسم **أجهزة الرش بعيدة المدى** وفق نوع ميكانيزم نقل الحركة الدورانية للماسورة الرئيسية إلى:١– هزّازة أو متأرجحة.٢– ذات عنفة هيدروليكية فعّالة.٣– رد فعلية (عكوسة).٤– تخلخليّة وغيرها. وهي تُستخدم في شبكات الري بالرش الثابتة، وفي الشبكات الثابتة موسمياً، وفي آلات الري بالرذاذ.

تعمل أجهزة الري بالرش مع دوران الماسورة الرئيسية دائرياً أو وفق قطّاع مُعين. يجب أن يكون عدد دورات ماسورة الجهاز بحيث لا تتجاوز سرعة حركة الجزء النهائي للتدفق وفق محيط الجزء المرطب على سطح القطاع المروي: $2[m/\sec]$. يحدث انحناء للتدفق المائي عند عدد الدورات الكبير للماسورة وتتناقص مسافة تطايره. تتعلّق مسافة تطاير الرذاذ بالتعديل الكافي للتدفّق بداخل ماسورته، وبقطر الفوهة وضغط المياه. وتتعلق جودة الرذاذ بصورة رئيسية بنسبة الضغط إلى قطر التدفق المائي أي قطر الفوهة عند المخرج، الجدول (5-10).

الجدول (5-10): بارامترات وصفات توزع التيار (التدفق) إلى قطرات رذاذ:

$\frac{H}{R}$	$\frac{H}{d_1}$	صفات توزع التيار، واستخدام الرذاذ
0.59	**حتى: 900**	**التدفق مستمرٌ، لا يتوزع إلى قطرات (غير مناسب للريّ)**
0.62-0.72	**900-1500**	**توزع للتدفّق ضعيف إلى قطرات ضخمة (غير مناسب للريّ)**
0.77	**1500-1600**	**توزع التدفّق إلى قطرات وسطية الضخامة (يناسب ريّ الأعشاب والمروج)**
0.83	**1700-1800**	**توزع التدفّق إلى قطرات صغيرة (يناسب ريّ المحاصيل الزراعية النامية)**
0.91	**2000-2200**	**توزع التدفق إلى قطرات صغيرة جداً (لريّ جميع المحاصيل الزراعية)**

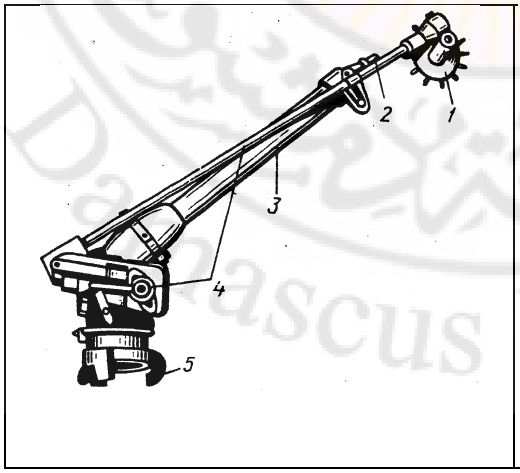
توزع التدفق إلى قطرات صغيرة رذاذ (يناسب ريّ نباتات الزينة والورود)	2400-2600	1
التوزع الدقيق للتدفق على شكل ضباب	وأكبر 3000	وأكبر 1.11
$H;[m]$ – الضغط عند المخرج من الفوهة. $R;[m]$ – مسافة تطاير تيار الرذاذ. $d_1;[m]$ – قطر الفوهة عند المخرج. $H;[m]$ – الضغط عند المخرج من الفوهة. $R;[m]$ – مسافة تطاير تيار الرذاذ. $d_1;[m]$ – قطر الفوهة عند المخرج.		

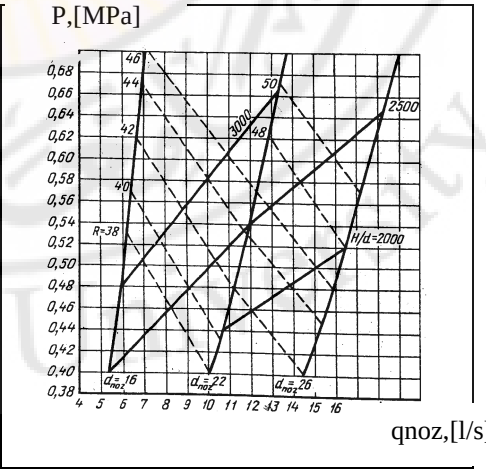
تنتج أجهزة الري بالرش بعيدة المدى لتطاير الرذاذ بفوهة وحيدة، أو بفوهتين.الأكثر شيوعاً هو الجهاز بفوهة وحيدة. الشكل (4-8,b).

يملك ميكانيزم دوران الماسورة لأجهزة الري بالرذاذ ثلاثة مُخفّضات دودية، ويعمل الجهاز بواسطة العنفة الدوارة المُثبّت عليها مجموعة من الشفرات على عمق داخل التدفّق المائي: $7-10[mm]$. يتعلّق عدد دورات العنفة بعمق تثبيتها في التدفق المائي، وهذا يُحقّق تغير عدد دورات ماسورة الجهاز في عدّة مجالات. يصّطدم التدفّق المائيّ بالشفرات جزئياً عند دوران العنفة وهذا يُحسّن من جودة توزيع الرذاذ بالقرب من الجهاز.

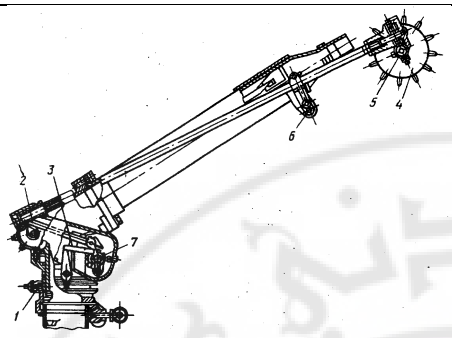
تُشابه تصاميم أجهزة الري بالرذاذ بعيدة المسافة لتطاير الرذاذ أجهزة الري بالرذاذ متوسطة المسافة، وتختلف عنها بوجود فوهة صغيرة جداً بعيدة عن المرفق، المُثبت عليه العنفة وميكانيزم نقل الحركة الدورانية.

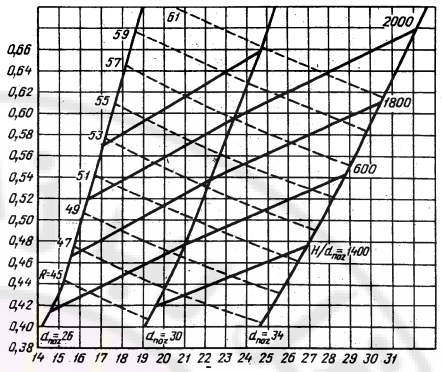
يُبيّن الشكل (4-8) الصفات التدفقيّة الضغط لأجهزة الري بالرش بعيدة المسافة لتطاير الرذاذ. تُثبّت أجهزة الري بالرش في الشبكات الثابتة على مواسير شاقوليّة على ارتفاع لا يقلّ عن: $1.5[m]$ فوق سطح التربة.



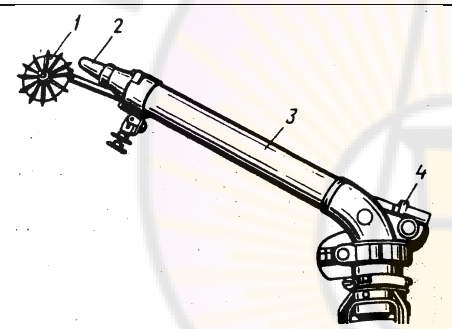


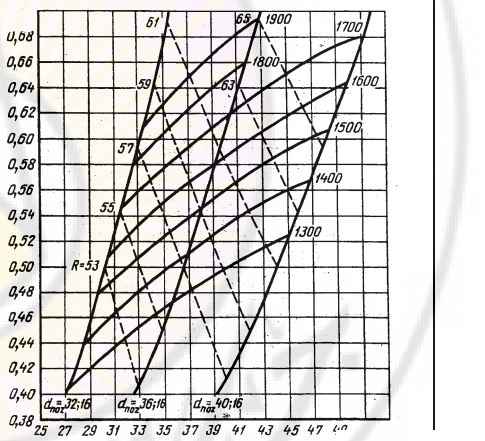
a


1
2
3
4
5
6
7

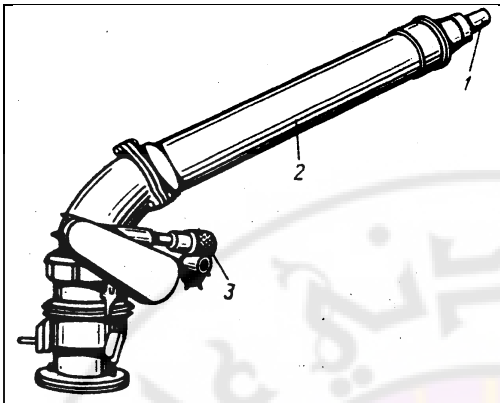

P,[MPa]
qnoz,[l/s]
R=45
H/d noz=1400
d noz=26
d noz=30
d noz=34

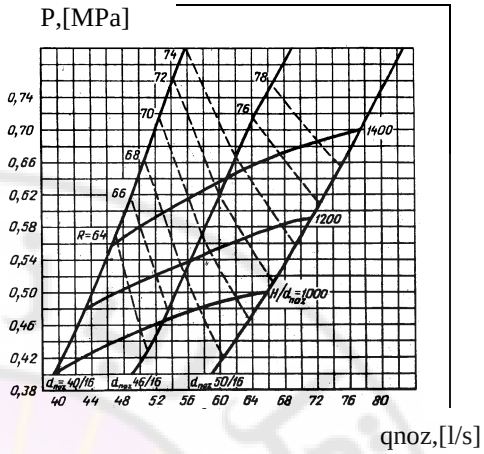
b


1
2
3
4


P,[MPa]
qnoz,[l/s]
R=53
d noz=32;16
d noz=36;16
d noz=40;16

c





d

الشكل (4-8): أجهزة الرش أو الرذاذ بعيدة المسافة لتطاير الرذاذ وصفات التدفق – الضغط لها:

a- جهاز الرذاذ حتى- [15]m، ١- عنفة، ٢- فوهة، ٣- جذع، ٤- ميكانيزم الدوران، ٥- جهاز وصل. b- جهاز الرذاذ حتى – [30]m، ١- مسند قطاعي، ٢و٥- أجهزة نقل حركة دودية، ٣- ميكانيزم الارتداد (الرجوع العكسي)، ٤- عنفة، ٦- مسند معايرة، ٧- ميكانيزم دوران الجذع. c- جهاز الرذاذ- [50]m، ١- عنفة، ٢- فوهة، ٣- جذع، ٤- ميكانيزم الدوران. d- جهاز الرذاذ: [80]m، ١- فوهة، ٢- جذع، ٣- ميكانيزم الدوران (الرموز الباقية انظر الشكل (4-3)).

ويبيّن الجدول (4-11) الصفات التقنية لأجهزة الري بالرش بعيدة المدى. ويبيّن الجدول (4-12) بارامترات أجهزة الري بالرش المتوسطة والبعيدة المدى.

الجدول (4-11): المواصفات التقنية لأجهزة الري بالرش بعيدة المدى:

البارامترات	حتى: 15[m]	حتى: 30[m]	حتى: 50[m]	حتى: 80[m]
التدفق: $[l/\sec]$	5-15	15-30	38-55	55-85
الضغط عند مخرج الجهاز: $[MPa]$	0.5-0.6	0.5-0.6	0.5-0.7	0.5-0.7
نصف قطر السقاية عند حدود قطرات الرذاذ: $[m]$	35-50	40-60	44-70	57-80
عدد الدورات: $[r.p.m]$	0.15-0.2	0.15-0.2	0.2	0.2
قطر الفوهة: $[kg][mm]$	16;22;26	26;30;34	32;30;40	40;46;52
الكتلة: $[kg]$	15	16	23.5	25.5

الجدول (4-12): بارامترات أجهزة الري بالرش وفق جدول المواصفات العالمي رقم: 17238.

نوع الجهاز	التصميم ١			التصميم ٢		
	تدفق المياه: $[Dm^3/\sec]$ الانحراف النهائي: 5%	الضغط الأصغري والأعظمي: $[MPa]$	مسافة تطاير الرذاذ (وفق حدود القطرات)، ليس أقل من : $[m]$	تدفق المياه: $[Dm^3/\sec]$	الضغط الأصغري والأعظمي: $[MPa]$	مسافة تطاير الرذاذ (وفق حدود القطرات)، ليس أقل من : $[m]$
الوسطية المسافة لتطاير الرذاذ						
1	0.45	0.2	10	0.12-0.5	0.2-0.5	8-12
	1.25	0.5	20	0.3-1	0.2-0.5	10-15
2	1	0.2	15	0.8-2.7	0.2-0.5	15-25
	3.4	0.5	25	2-3.5	0.2-0.5	20-25
3	2.5	0.25	20	2.5-6	0.25-0.6	20-30
	9.5	0.6	35	5-10	0.25-0.6	28-35
البعيدة المسافة لتطاير الرذاذ						
4	10-15	0.5-0.7	35-50	-	-	-
5	15-30	0.5-0.7	40-60	-	-	-
6	30-50	0.5-0.7	50-65	-	-	-
7	50-80	0.5-0.7	65-75	-	-	-

ملاحظة: تُحدّد مسافة تطاير الرذاذ عند سرعة رياح مساوية للصفر، وارتفاع تثبيت الأجهزة عن سطح الأرض للأنواع الثلاثة الأولى (1-3) يساوي: $1[m]$، ومن أجل البقية فيُساوي: $1.5[m]$.

4-3- نوعية المطر الاصطناعي (الرذاذ):

تتميز بنية الرذاذ المُشّكل بواسطة الآلات بالغزارة، وبقياس قطرة وبطبقة الرذاذ المُتساقطة خلال دورة واحدة وبانتظام انتشارها على مساحة الري.

تُعبر غزارة الرذاذ: p عن الطبقه المُتساقطة على مساحة الري خلال واحدة الزمن، وتُقاس: $[mm/\min]$. بالربط مع المواصفات المُختلفة لتساقط الرذاذ تُقويم غزارته بصور مُختلفة التي يُمكن تقسيمها إلى الغزارة اللحظية (الأنية)، والوسطية، والفعلية والشرطية.

يُعبر عن **الغزارة اللحظية** (الأنية) للرذاذ بالغزارة في نقطة ما على سطح التربة بنسبة زيادة طبقة الرذاذ: dh التي نجدها تجريبياً بواسطة أوعية القياس المطرية إلى زيادة الزمن: dt، ثم تُحسب الغزارة من المعادلة التالية:

$$p = \frac{dh}{dt} \qquad (4\text{-}9)$$

يُفضل استخدام الغزارة الوسطية للرذاذ المُشكل بواسطة آلات الري بالرذاذ عند تقويم جودة الرذاذ في الشروط الإنتاجية. تتعلق الغزارة الوسطية للرذاذ: p_{cp} بسرعة الحركة (الدورانية) للآلة أو للأجهزة. يُفهم من الغزارة الوسطية للرذاذ نسبة طبقة الرذاذ الوسطية المُتساقطة: h_{cp} على مساحة ري مُعينة: F بذات الوقت إلى زمن تساقطها: $t;[mm/\min]$، وهي تُحسب من المعادلة الآتية:

$$p_{cp} = \frac{h_{cp}}{t} \qquad (4\text{-}10)$$

بمعرفة التدفق من آلة الري بالرذاذ: $Q;[l/\sec]$ ومساحة الري: $F;[m^2]$ من موضع واحد خلال الزمن: $t;[\min]$، يُمكن حساب الطبقة الوسطية للرذاذ: $[mm]$ من المعادلة الآتية:

$$h_{cp} = \frac{60Qt}{F} \qquad (4\text{-}11)$$

عندها الغزارة الوسطية: $[mm/\min]$ تُحسب من المعادلة الآتية:

$$p_{cp} = \frac{60Q}{F} \qquad (4\text{-}12)$$

يُمكن تحديد مساحة الترطيب من موضع واحد وفق العلاقة بنوع آلة الري بالرذاذ وبمواصفات تساقط الرذاذ من المُعادلات المُبينة في فقرة اختيار أجهزة الرش والرذاذ وحساب عناصر تقنية السقاية الفقرة (4-17).

يُفهم من غزارة الرذاذ الفعلية أنها الغزارة الوسطية وفق الترطيب الإهليلجي (على شكل قطع ناقص) لتيار الرذاذ المُتدفق من فوهة الرش التدفقية في الوضعية الثابتة (أي دون الدوران حول محورها الشاقولي).

تُحدد غزارة الرذاذ بنسبة حجم المياه الخارجة من جهاز الرش خلال دقيقة واحدة، إلى كامل مساحات الري من موضع واحد أو من حوز مائي واحد أحياناً عند الري بالرذاذ باستخدام آلات الري بالرذاذ من الأنوع: **(آلة الري بالرذاذ المعلقة (الكانصولية) ذات الجناحين، وآلة الري بالرش التدفقية ذات التأثير بعيدة المدى، وآلة الري بالرذاذ ذاتية الحركة ذات العجلات الاستنادية وذات العرض العامل الكبير)** التي تُشكل تقطعات بالرذاذ وفق مساحة الترطيب. تكون الغزارة مُنخفضة جداً في هذه الحالة ، لكنها لا تتميز بجودة الرذاذ الحقيقية. لذلك يُمكن تسميتها بالغزارة الشرطية: p_{yed} .

تمتلك ضخامة القطرة أهمية كبيرة من أجل تقويم جودة الرذاذ. يتعلق قطر قطرة الرذاذ بصورة أساسية ببارامترات الطاقة الهيدروليكية لفوهات الرذاذ (نسبة ضغط المياه إلى نصف قطر تطاير التيار: H/R وإلى قطر ثقب الخروج من فوهات الرش: H/d).

يُمكن إيجاد مُواصفات التيار والبارامترات التي يجب أن تُحققها فوهات الرذاذ وفق انتشار التيار إلى قطرات وبالتطابق مع متطلبات الري بالرذاذ.

من أجل تحديد ضغط الرذاذ: $P;[k.Pa]$ على التربة وبالتالي على المحاصيل اقترح لبيديف المعادلة الآتية:

$$P = 98.1\frac{1}{60}\frac{p\gamma v}{g} \qquad (4\text{-}13)$$

حيث: $p;[m/\min]$ – الغزارة الوسطية للرذاذ.

$\gamma;[kg/m^3]$ – كثافة المياه.

$g;[m/\sec^2]$ – الجاذبية الأرضية.

$v;[m/\sec]$ – سرعة تساقط قطرات الرذاذ.

يُمكن اختيار آلة الري بالرذاذ مع سرعة تساقط القطرات وغزارة الرذاذ التي تُحقق ضغط الرذاذ: P ، بالتطابق مع الخواص الميكانيكية والفيزيائية لترطيب التربة والقدرة البيولوجية للمحاصيل الزراعية باستخدام المعادلة (4-13). هذا يسمح بالتخلص من تحطم الطبقة السطحية للتربة ومن تلف المحاصيل بصورة خاصة في بداية فترة النمو، والإزهار وبداية النضوج.

يُمكن أن يكون الرذاذ المُشكل باستخدام أجهزة الرذاذ مستمراً أو متقطعاً. يُسمى الرذاذ المستمر ذالك الرذاذ الذي تترطب عنده المساحة المروية من موضع واحد باستمرار خلال الزمن المطلوب من أجل التغذية بمعدل سقاية مُعين. يحدث حركة لمحيط الترطيب على مساحة السقاية من موضع واحد عند الرذاذ المتقطع.

يُشكل الرذاذ المستمر عادةً بواسطة فوهات رش تدفقية قريبة المسافة لتأثير تيار الرذاذ (الموجهة، النابذية، المشقوقة، النافثة، التي تُركب بصورة ثابتة على أجنحة أو عوارض الرذاذ الثابتة).

يُمكن أن تُشكل أجهزة الرذاذ ذات الفوهات الموجهة رذاذاً متقطعاً إذا تحركت على مساحة الري في عملية السقاية.

ينتج الرذاذ المتقطع عند السقاية باستخدام فوهات الرش التدفقية الدائرة حول المحور الشاقولي. يُلاحظ تقطع مضاعف للرذاذ عند انتقال جهاز الرذاذ ودوران فوهات الرش التدفقية على مساحة الري: في منطقة تأثير فوهة رش تدفقية واحدة وعلى المساحة المروية من موضع واحد. يتعلق تردد التقطعات بعدد الدورات للفوهات حول محورها الشاقولي وبمعدل السقاية عند الري.

يجب على متطلبات الاستصلاح المُقترحة لجودة الرذاذ أن تُحقق ثوابت إنتاجية عالية للمحاصيل الزراعية عند الري بالرذاذ.

يُعدّ أحد أهم هذه المتطلبات الرئيسية للمحاصيل الزراعية المُقترحة لجودة الرذاذ، هو تشكيل الرذاذ المطلوب بغزارة لا تتجاوز سرعة امتصاص المياه في التربة المُعينة في نهاية السقاية من موضع واحد. عندما تتجاوز غزارة الرذاذ قدرة الامتصاص للتربة تتشكل المستنقعات ويحدث جريانات سطحية، وهذا يُؤدي إلى تحطم البُنية الترابية وتُسيء للخواص الفيزيامائية للتربة وتزداد التعرية السطحية للتربة.

يتناقص عمق الترطيب ودرجة ترطيب التربة بعد السقاية بزيادة غزارة الرذاذ ويتناقص عدد الوحدات البنيوية الكتلية الأكبر من: $1[mm]$ المقاومة للمياه في التربة.

يُحافظ على بُنية التربة عند غزارة رذاذ: $0.1-0.15[mm/\min]$. يُسمح بتجاوز هذه الغزارة: من أجل التربة ضعيفة النفاذية حتى: $0.2[mm/\min]$، من أجل التربة متوسطة النفاذية حتى: $0.2-0.3[mm/\min]$، من أجل التربة عالية النفاذية حتى: $0.5-0.8[mm/\min]$.

وأيضاً في ذات الوقت يُؤدي انخفاض غزارة الرذاذ إلى ضياعات كبيرة في الطاقة على تشكيله، وإلى زيادة تبخر المياه في الهواء وإلى زيادة فترات السقاية. تُوجد الثوابت التقنية الاقتصادية والتصميمية لأجهزة الرش والرذاذ بالاعتماد على مقارنة البارامترات المختلفة للري بالرذاذ.

بما أنه نفاذية التربة تتناقص مع الزمن، علماً أنه كلما كانت أسرع تتحطم البنية الترابية المروية بصورة أسرع، لذلك يجب إنقاص غزارة الرذاذ بزيادة مُعدل السقاية ومُدتها. تُسمى غزارة الرذاذ التي يجب عندها تحقيق تغذية المياه في التربة بمعدل السقاية المطلوب دون تشكل مستنقعات وجريانات مائية على سطح التربة بالغزارة المسموح بها.

يُنسب إلى متطلبات الاستصلاح أيضاً ضخامة قطرة الرذاذ المسموح بها لأن قياس القطرة يُظهر تأثيراً شديداً على تحطم الوحدات الترابية، وتبعاً لذلك على امتصاص الرطوبة في

التربـة. لـذلك لا تتشـكل جريانـات سـطحية عنـد الـري الموضـعي بـالرذاذ بغـزارة وسـطية: $0.75[mm/\min]$ في التربة جيدة النفاذية وعند قطر للقطرة: $1.4-1.6[mm]$ ومعدل سقاية: $250-300[m^3/hr]$. وأيضاً عند ذات الغزارة لكن قطر القطرة: $0.4-0.6[mm]$ يحدث الامتصاص دون تشكل جريانات سطحية عند معدل سقاية: $400-500[m^3/hr]$ هذا يعني أنـه أكبـر: (1.5-2) مـرة. ينصـح كوسـتياكوف بقطـر القطـرة للـرذاذ وفـق خـواص التربـة والقـدرة البيولوجية للمحاصيل الزراعية بما لايتجاوز: $1-2[mm]$.

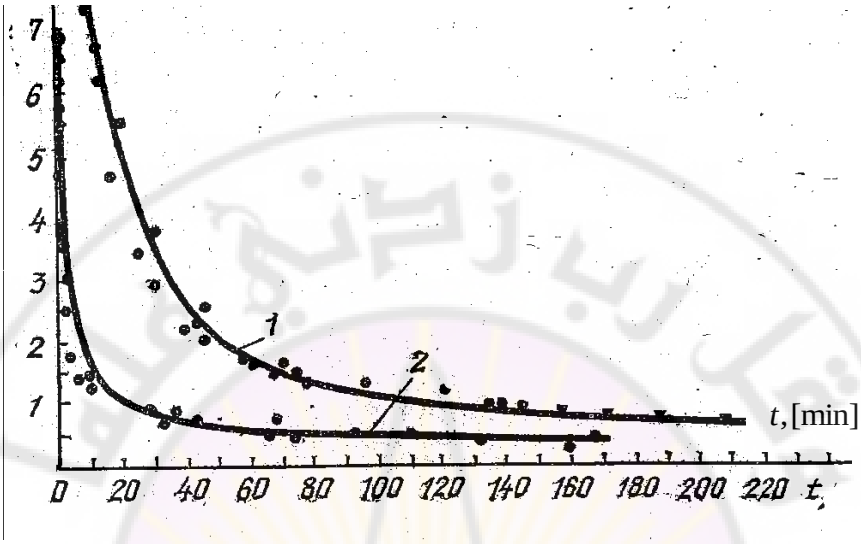
تحقيـق المتطلبـات لضـخامة قطـرة الـرذاذ لا يخـدم المحاصـيل الزراعيـة فقـط بـل يخـدم مراحل نموها أيضاً.

4-4- امتصاص المياه في التربة عند غزارات رذاذ مُختلفة:

تُمتص المياه في التربـة عندما تكون طبقتها على سطح التربـة من: $3-15[cm]$ عند أسـاليب الري بالانسـياب الـذاتي، هذا يعنـي بتـأثير الضـغط الهيدروستاتيكي. سـرعة الامتصـاص دون ضـغط أصـغر بكثير مما عند الضـغط. علماً أن الاختلاف بسرعة الامتصـاص من أجل الشروط الترابية ذاتها يتعلق بدرجة ضغط الامتصاص للطبقة (أكبر في بداية الفترة). يُبين الشكل (4-9) مُنحنيـات سـرعة امتصـاص الميـاه فـي التربـة عنـد الـري بـالرذاذ (دون تشـكل مُسـتنقعات وجريانات سطحية) وعند الغمر. تكون سرعة امتصاص المياه عند الري بالرذاذ أصغر بنسبة: $30-60\%$ ممـا هـي عنـد الـري بـالغمر. لـذلك لا يُمكن تحديـد سـرعة الامتصـاص فـي شـروط التسرب تحت تأثير الضغط عند مقارنة غزارة الرذاذ وقدرة الامتصاص للتربة.

تملك عملية الامتصاص عند الري بالرذاذ ميزاتها وفق العلاقة بغزارة الرذاذ وقدرة تغذية المياه على سطح التربة المُرطب من موضع واحد. تترطب التربة باستمرار على كامل المساحة عند السقاية من الفوهات الموجهة المُستخدمة فيها فوهة واحدة. عند ذلك يُمكن **تمييز حالتين: الأولى:** غزارة الرذاذ أصغر من سرعة امتصاص المياه في التربة، تُمتص المياه دون تشكل البُرك والجريانات السطحية. **الثانية:** حتى انتهاء فترة السقاية من موضع واحد وبلحظة مُعينة تبدأ غزارة الـرذاذ بتجـاوز سـرعة امتصـاص الميـاه فـي التربـة مُشـكلةً البُـرك، أمـا عنـد وجـود ميـل عـام أو موضعي لسطح التربة فإنه تتشكل الجريانات السطحية.

سرعة الامتصاص لغزارة الرذاذ، $[mm/\min]$



الشكل (4-9): منحنيات سرعة امتصاص المياه في التربة، ١ – الري السطحي بالغمر، ٢ – الري بالرذاذ.

عند السقاية باستخدام فوهات الرش التدفقية الدائرة حول محورها الشاقولي تُمتص المياه في التربة على **مرحلتين:** عملية تساقط الرذاذ على السطح المُرطب وبعد ذلك تتدفق المياه إلى القطاع المُجاور. يُمكن أن تتجاوز الغزارة الفعلية للرذاذ قدرة امتصاص التربة للمياه في زمن السقاية. لكن لا بُد من تحقيق شرط أن يكون امتصاص كامل للمياه في التربة حتى لحظة وصول التيار التالي للمساحة المروية بعد سقاية القطاع المُجاور.

عند تصميم أنظمة الري والسقاية بالرذاذ لا بُد من تحليل واضح ودقيق بالتطابق مع الغزارة الوسطية للرذاذ مع سرعة امتصاص المياه في التربة عند الري بالرذاذ حتى نهاية السقاية من موضع واحد. عند مطابقة هذه القيم لسرعة الامتصاص المُحددة بطرق منطقية عند الغمر المتصل لا بُد من تخفيضها بنسبة: 30 – 60%.

تُؤثر بدرجة كبيرة نسبياً جودة الرذاذ من حيث غزارته وحجم القطرة، وأيضاً الخواص الفيزيامائية للتربة ومُعاملة سطحها في السرعة المسموح بها لامتصاص المياه في التربة عند الري بالرذاذ.

تتعلق عملية امتصاص المياه في التربة بالعديد من العوامل. هذا يزيد من صعوبة إيجاد علاقة الغزارة المسموح بها للرذاذ الذي تُمتصه التربة دون تشكل البِرك والجريانات السطحية، وبالخواص الفيزيامائية للتربة والتضاريس.

أظهرت البحوث التجريبية أنه تُوجد العلاقة التجريبية التالية بين غزارة الرذاذ: p واستمراريته: t_{don} حتى بدء تشكل البِرك والجريانات السطحية:

$$p^{\alpha} t_{don} = C \qquad (4\text{-}14)$$

حيث: $\alpha; C$ – البارامترات الناتجة من أجل شروط مُعينة عند تحديد جودة الرذاذ.

تُثبت العلاقة (4-14) أنه بزيادة غزارة الرذاذ يتناقص زمن إمكانية الرذاذ حتى بدء تشكل البرك والجريانات السطحية. بمعرفة كلاً من: $\alpha; C$ الناتجة بطرق تجريبية من أجل شروط معينة وفق الغزارة الوسطية المطلوبة: p_{cp} يُحدد الزمن: t_{don}، ثم يُحدد معدل السقاية الأعظمي المسموح به: $m_{\max don}$ من أجل ذات الشروط والمقدر: $[mm]$ من المعادلة الآتية:

$$m_{\max don} = p_{cp} t_{don} \qquad (4\text{-}15)$$

أو:

$$m_{\max don} = \frac{C}{p^{\alpha-1}} \qquad (4\text{-}16)$$

يتميز البارمتر: α بنفاذية (بمسامية) التربة للمياه المُتزايدة في التربة البُنيوية الكبيرة، وفي التربة المفككة والجافة. تتعلق سرعة امتصاص المياه في التربة وبالتالي البارامتر: C بحجم قطرات الرذاذ.

يتم إيجاد الغزارة المسموح بها للرذاذ عند زمن مُعين للسقاية وبالعكس الزمن المسموح به للسقاية عند غزارة مُعينة (دون تشكل البُرك) بالاعتماد على المعلومات التجريبية الناتجة من أجل شروطٍ معينة.

تتلخص صعوبة الاستخدام العملي والتطبيقي للعلاقات المُبينة أعلاه بمنطيقتها وبضرورة إجراء البحوث التجريبية من أجل تحديد البارامترات: $\alpha; C$.

يُعدّ تغير سرعة امتصاص المياه وفق العلاقة بغزارة الرذاذ ذا أهمية تطبيقية كبيرة. فعليه وبدوره يتعلق مُعدل السقاية الأعظمي الذي يُمكن سقايته دون تشكل البرك والجريانات السطحية.

أظهرت التطبيقات العملية للري بالرذاذ أنه بزيادة ميل المساحات المروية لا بُد من إنقاص الغزارة المسموح بها للرذاذ.

اقترح بيفان حساب الغزارة الوسطية للرذاذ من المعادلة الآتية:

$$p_i = \frac{p}{e^{0.02i}} \qquad (4\text{-}17)$$

حيث: p – الغزارة المسموح بها للرذاذ عند انعدام الميل، أي الميل يُساوي الصفر.

$i;\%$ – الميل.

e – أساس اللوغاريتم الطبيعي.

4–5– الإجراءات والتدابير المُتبعة لزيادة قدرة التربة على امتصاص المياه عند الري بالرذاذ:

أهم متطلباتها عند اختيار أجهزة الرش (والرذاذ) هو الأكثر مُطابقة لشرط معين، وهو ألاّ تتجاوز الغزارة الوسطية للرذاذ القدرة الامتصاصية للتربة عند نهاية السقاية من موضع واحد. ويجب على أجهزة الرش والرذاذ التي تقوم بالسقاية خلال الحركة أن تُحقق الشرط التالي: يجب ألاّ تتجاوز طبقة الرذاذ طبقة المياه التي يُمكن امتصاصها في التربة خلال زمن المرور الأخير لجهاز الرذاذ.

تتجاوز الغزارة الوسطية للرذاذ مراراً سرعة امتصاص المياه لأنواع كثيرة من التربة عند استخدام آلات الري بالرذاذ. إذا كان لا يُمكن تبديل الآلة بأخرى ذات غزارة وسطية أصغر، فإن السقاية بالرذاذ يجب مُطابقتها مع الإجراءات والتدابير التي تُحقق زيادة قدرة الامتصاص للتربة التي تُلغي الجريانات السطحية في مساحة الري.

يُمكن زيادة قدرة الامتصاص للتربة عند ذات جودة الرذاذ على حساب الإجراءات والتدابير التقنية الزراعية والاستصلاحية المُختلفة.

تتلخص **الإجراءات التقنية الزراعية** بتفكيك التربة قبل السقاية وبعدها من أجل الحفاظ على الرطوبة الاحتياطية على حساب انخفاض التبخر من سطح التربة وعلى حساب إمكانية تحطم القشرة السطحية للتربة. وباستخدام نظام مُعاملة التربة وزراعة المحاصيل الزراعية، التي تُحافظ على بنية التربة وتقويتها. تُضيف إجراءات التقنية الزراعية الأسمدة من المُستحضرات الكيميائية للتربة، التي تُساعد على تقوية بنية التربة، ونفاذية جزيئاتها للمياه تبعاً لزيادة قدرة الامتصاص للتربة.

يدخل ضمن **الإجراءات والتدابير الاستصلاحية:** حجز المياه غير المُمتصة في عملية السقاية وهذا يسمح بالتخلص من الجريانات السطحية ومن التعرية المائية أيضاً، ويُحقق انتظام الرطوبة على كامل مساحة الري من موضع واحد. الإنشاءات على المساحة المروية ذات التضاريس الصغيرة (مصبات أو مساكب موضعية على شكل مربع، أو على شكل مثلث أو على

شكل مستطيل)، وحفر وأخاديد مُتقطعة وشقوق. في المساحات المشغولة بالمحاصيل الزراعية الحقلية الأكثر ملاءمة والتقنية المُناسبة هي إجراء السقاية بواسطة الأخاديد المُتقطعة. يُمكن حفر هذه الأخاديد باستخدام معدات حفر أخاديد: المحراث الذي يقلب السطح السفلي للأخدود المحفور إلى الأعلى دورياً. وباستخدام معدات إضافية تُشكل عبر مسافة مُعينة حواجز ترابية للأخاديد. تتعلق قياسات الأخاديد المُقتطعة بدرجة تجاوز غزارة الرذاذ الأكبر من قدرة الامتصاص للتربة، وبمعدل السقاية، وبالخواص الفيزيامائية للتربة، وبالتضاريس الموضعية التي تُميِّز أساساً بميل سطح التربة.

من أجل زيادة قدرة التربة للامتصاص لدرجة كبيرة نسبياً تُسمد التربة بالبوليمير المُطابق لها. بما أنه عند تسميد التربة قبل السقاية بمحلول مائي من البولي أكريلاميد بمعدل: $600[kg/hr]$ تزداد سرعة الامتصاص في نهاية الخمس دقائق للسقاية بخمس مرات، وتزداد بثلاث مرات أكبر في نهاية الساعة الأولى مما هو عليه بدون تسميد البولي أكريلاميد (حُددت قدرة الامتصاص للتربة عند ضغط الامتصاص).

يُمكن زيادة قدرة الامتصاص للتربة عند الري بالرذاذ أيضاً بتغذية مُعدلات السقاية لعدة مرات، هذا يعني السقاية بتقطعات زمنية مُعينة.

4-6- مزايا ومساوئ الري بالرذاذ:

الري بالرذاذ هو أحد أساليب السقاية الأكثر تطوراً وتقدماً. ويُستخدم في الوقت الحاضر في جميع المناطق لري جميع المحاصيل الزراعية. وتُستخدم أنظمة الري بالرذاذ المُغلقة بصورة شائعة في جميع دول العالم المُتقدمة صناعياً وزراعياً.

مزايا الري بالرذاذ:

١- مكننة الري.

٢- الحفاظ على بُنية التربة عندما تُروى بنوعية رذاذ مُتطابقة مع خصائص التربة.

٣- السهولة في الحركة والفاعلية بإعطاء المياه بسقايات كثيرة بمعدلات قليلة.

٤- تنظيم أكثر دقة لعمق ترطيب التربة وبصورة خاصة هذا هام عند التوضع القريب لمنسوب المياه الجوفية من سطح التربة، وعند التربة ذات القدرة الضعيفة، وعند التربة الضحلة.

٥- الري بالرذاذ عندما تكون الميول مُعقدة يُقلل كثيراً من أعمال التسوية.

٦- يسمح ترطيب التربة وترطيب المحاصيل أيضاً، وزيادة الرطوبة لسطح الطبقة الترابية، بإنقاص شدة التبخر ويُؤثر بصورة مُلائمة في نمو المحاصيل.

٧- تشكيل شروط من أجل رفع مستوى أعمال المكننة الزراعية أكثر في الحقول.
٨- الثوابت المُرتفعة لاستخدام الأرض في مساحات الري وثابت التأثير المفيد لأنظمة الري.
٩- ارتفاع مستوى الأتمتة لكامل عملية السقاية.
١٠- تنظيم الري ضد (لمكافحة) الصقيع.
١١- إمكانية استخدامه في أنظمة الري المُغلقة ذات الضغط العالي أو في الأنابيب المُستقلة المتبقية الضغط (الحر)، وهذا يسمح باختصار الوسائل اللازمة لتخفيض الضغط عند المأخذ المائية، وخفض كلفة الري بالرذاذ أيضاً.
١٢- إعطاء الأسمدة مع مياه الري.
١٣- استخدام أجهزة الري بالرذاذ من أجل مُكافحة الأعشاب والنباتات الطفيلية الضارة بالمحاصيل الزراعية.

مساوئ الري بالرذاذ:

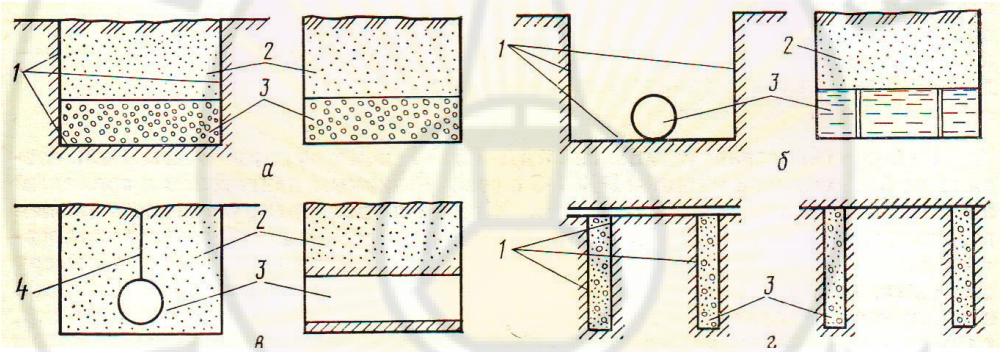
١- تتطلب طاقة ميكانيكية من أجل أجهزة الرش وكمية معادن كبيرة لتصنيع أجهزة الرذاذ، وزيادة في تكاليف الاستثمار.
٢- تأثير كبير للرياح في نوعية الرذاذ وانتظام انتشاره على المساحة المروية.
٣- ضرورة تحريك تقانات الري بالرذاذ خلال عملية السقاية.

الفصل الخامس

الري تحت سطح التربة

5-1- تصميم الري تحت سطح التربة:

الري تحت سطح التربة: هو الأسلوب الذي تتحقق عنده تغذية المياه من معدات ترطيب (مُرطبات) مُختلفة النوع المُثبتة في التربة على عمق: $40...60[cm]$ من سطح الأرض. نسب كوسياكوف أيضاً إلى هذا الأسلوب الري الاصطناعي برفع منسوب المياه الجوفية. يُستخدم الري في الترب التي تتميز بخصائص شعرية جيدة وبنفاذية ضعيفة للمياه، كما أنه لا يُستخدم في الترب التي تكثر فيها الحصى الضخمة، وفي الترب المالحة أيضاً الشكل (5-1) والجدول (5-1).



الشكل (5-1): مُخططات الري تحت سطح التربة: a- بسيط، b- مصرف (دريناج)، c- نفقي (خندقي)، d- صرف شاقولي، 1- قعر وجدار النفق، 2- التربة، 3- المُرطب، 4- شق من سكين النفق.

الجدول (5-1): المُخططات التقنية للري تحت سطح التربة:

سيئات	حسنات	الاستخدام	شرح بسيط للمُخطط
تتطلب: $3...12[day]$ من أجل خفض ygb. لا تكفي لترطيب الطبقة الترابية العلوية.	تهوية جيدة للتربة. والحفاظ على بنيتها الكتلية، وانعدام بعد السقاية، وتحسين الحياة البكترية المكروية (الأحياء الدقيقة) في التربة.	في الترب مُرتفعة النفاذية: $k=1.2...1.7[m/day]$. وعندما: $k=0.5...1.2[m/day]$ يُمكن التحكم من أجل الانتشار الواسع لعدم التحكم بالترطيب السريع للتربة.	تنظيم منسوب المياه الجوفية بطريقة التحكم بالبوابات أو بالتغذية المائية إلى المصارف
حجم أعمال أرضية	الاقتصاد بمياه	في التربة الخفيفة. غالباً عند	الأسلوب الألي للري تحت سطح

كبير، طول قصير لأنابيب الترطيب وترطيب غير مُنتظم للتربة وفق طول الأنبوب.	السقاية، لا تتطلب تخطيط دقيق للحقل.	الري بالانسياب الذاتي للمحاصيل التي تُبذر في خطوط.	التربة. تغذية المياه من أسفل السكين عند الحراثة، وأيضاً بالثقوب الهيدروليكية
أيضاً	بسيطة وكافية. لا تتطلب مواد نادرة.	في جميع أنواع الترب في البساتين والمزارع. عند التسرب المُرتفع تُنشأ بوابة أسفل المُرطب.	نظام الأنابيب للري تحت سطح التربة
متطلبات الحصى من الحساب: $5...8[m^3/hr]$ ، ضرورة حفر الأنفاق دورياً.	أيضاً	في جميع أنواع الترب في البساتين والمزارع. عند التسرب تُثبت ستائر أسفل المُرطب.	١ – البسيط. تُستخدم العيدان اليابسة الطويلة والخبث والقرميد والحصى (بطبقة: $15...20[cm]$) في جودة (نوعية) معدات الترطيب في الخندق. من أجل الحماية من الانسداد يُوضع من الأعلى شريحة من البولي إيتلين أو تُنقل المياه إلى المُرطب من أنبوب الري الشكل (1-5,c).
الانسداد بالردميات. جهد كبير على الإنشاء، ضياعات كبيرة على الجهد اليدوي.	إمكانية السقاية بميل حتى: 0.1.	أيضاً	٢ – الصرف. تُستخدم في نوعية المُرطب مواسير دريناجية بقطر: $35...200[mm]$. تغذية المياه إلى المُرطب من أنبوب الري، أما التغذية إلى التربة فتتم عبر الوصلات التناكبية للمواسير.
النقص بأنبيب من البولي إيتلين. ضياعات كبيرة على الجهد اليدوي.	مكننة عالية لعملية وضع أنابيب الترطيب وكلفة مُرتفعة. تنظيم تغذية المياه إلى التربة. ري بالانسياب الذاتي بالقرب من المدن.	في التربة المعدنية المُتماسكة	٣–النفقية.تُحفر الأنفاق باستخدام معدات خاصة لتشكيل الأنفاق بقطر: $8...15[cm]$ ، تُثبت جدران النفق بمواد بوليميرية مُختلفة. الشكل (1-5,c).

الردمية العميقة. صعوبة الإنشاء، ضياعات كبيرة على الجهد اليدوي.	**إمكانية السقاية في الأراضي ذات الميل حتى: 0.1**	**سقاية البساتين في المُنحدرات الدائرية.**	**٤-الصرف الشاقولي – النفقي. الثقوب أو الحفر الرأسية مع ردميات الصرف مُرتبطة ببعضها البعض بواسطة أنبوب الري. يمتلك ترطيب التربة صفات النفق. الشكل (1-5,d).**
النقص بمواسير البولي إيتلين، ضياعات كبيرة على الجهد اليدوي.	**المكننة العالية لوضع أنابيب الترطيب، والعمر العملي الطويل الآمد. انتظام التغذية المائية في التربة. الري بالانسياب الذاتي بالقرب من المدن.**	**في جميع أنواع الترب.**	**٥-الأنظمة الثابتة للري تحت سطح التربة ذات أنابيب الترطيب البولي إيتيلينية بقطر: [mm]20...50 وبثقوب بقطر: [mm]1...2 أو بشقوق عرضها: [mm]1...2 وطولها: [mm]20...30 . وطول أنبوب الترطيب: [mm]200...250 .**

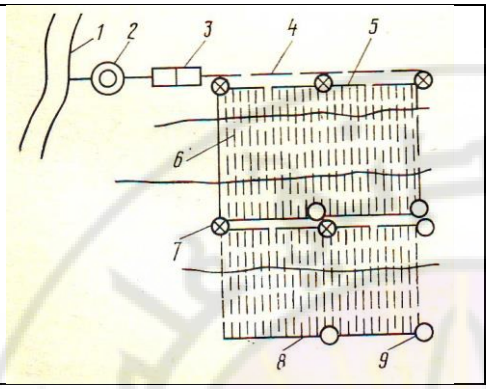
حسنات الري تحت سطح التربة: ثابت استخدام الأرض مرتفع ويتراوح: 0.98...0.99. انخفاض الاستهلاك المائي بنسبة: 15...40%، زيادة الإنتاجية بنسبة: 20...40%.

سيئات الري تحت سطح التربة: لا تترطب الطبقة العليا: [cm]10 من طبقة التربة العلوية وضياعات كبيرة عند إنشاء النظام من أنابيب الترطيب البولي إيتيلينية.

وفق خصائص جريان المياه في التربة يُقسم الري تحت سطح التربة إلى ري بالضغط وري بدون ضغط وري بالتخلخل (بالتفريغ). عند الري بالضغط تجري المياه إلى التربة عند ضغط أكبر، من عمق أنبوب الترطيب: [m]0.6...2 ، أما عند الري دون ضغط: [m]0.1...0.5 وعند الري التخلخلي تجري المياه بفعل القوى الكامنة الموجودة في التربة.

يجب تصميم نظام الري تحت سطح التربة في القطاعات ذات التضاريس المستوية. يُسمح بميل عكسي وفق طول أنبوب الترطيب بما لا يتجاوز: [cm]5...10 . يُجرى التصميم وفق المُخطط الطولي الذي عنده تُثبت أنابيب الترطيب وفق الميل الأعظمي الشكل (5-2). يُصمم أنبوب الري بميل يُحقق فيه توزيع مُنتظم للمياه وفق طول أنبوب الترطيب. عند الوصل الصلب لأنابيب الترطيب مع أنبوب الري فإن أنبوب الري يُثبت بميل حتى: 0.005، ويجب أن

يُثبت أنبوب الري بميل لا يتجاوز: 0.001 في حال الاقتران عبر ردمية مسامية (ري نفقي تحت سطح التربة).

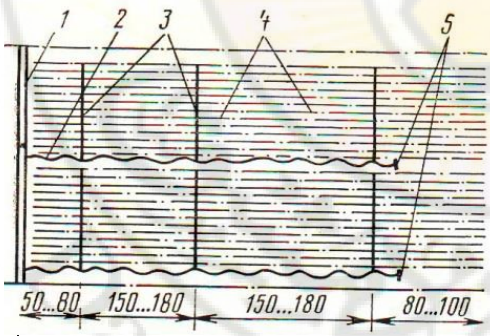


الشكل (5-2): المُخطط المبدئي النموذجي للري تحت سطح التربة: 1- المصدر المائي، 2- محطة ضخ، 3- مُنشأة التصفية، 4- أنابيب التوزيع، 5- أنابيب الري، 6- أنابيب الترطيب تحت سطح التربة، 7- غرف التفتيش، 8- أنابيب التهوية الصرف، 9- أبار – عامودية (حفر رأسية).

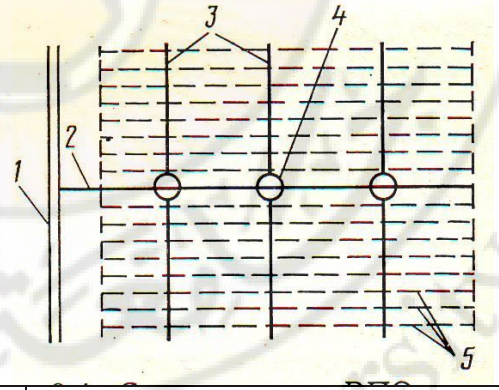
5-2- مكونات شبكة الري تحت سطح التربة:

العناصر الأساسية لشبكة الري تحت سطح التربة: مُنشأة سحب المياه، وشبكة الري، وخطوط الوصل، نظام الأتمتة، الطرق الزراعية.

يُمكن أن يكون المصدر المائي نهراً، أو بحيرة أو حوضاً مائياً أو قناة أو جريانات المياه السطحية الموضعية أو المياه العامة المكررة المُصفاة أولياً والجريانات الناتجة عن المُنشآت الصناعية، وأيضاً المياه الجوفية. ويجب أن تُجهز مُنشآت سحب المياه بواسائل تنقية للمياه.



الشكل (5-3): مُخطط قطاع الري تحت سطح التربة وفق الشبكة المكشوفة: 1- قناة قطاعية، 2- قناة ري مؤقتة، 3- أخاديد الصرف، 4- المُرطبات، 5- حواجز أو ألواح، القياسات بالمتر.

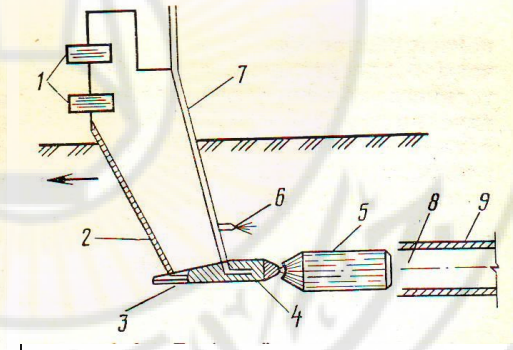


الشكل (5-4): مُخطط قطاع الري تحت سطح التربة وفق الشبكة المُغلقة: 1- أنبوب قطاعي، 2- أنبوب توزيع، 3- أنبوب الري، 4- بئر (حفرة رأسية)، 5- المُرطبات.

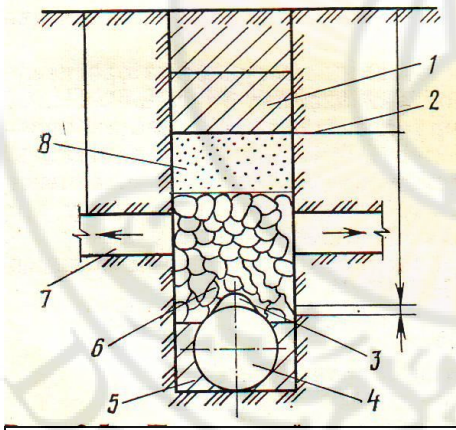
تُصنع الشبكة الرئيسية والتوزيعية من أنابيب الأسبستوس الاسمنتي أو من البولي إيتلين، وتُصنع المُرطبات من أنابيب البولي إيتلين المُقواة أو من الأنابيب العادية.

يُصمم نظام الري بالأنفاق وفق مُخطط مكشوف أو مُغلق. في الحالة الأولى الشكل (3-5) تنتقل المياه من القناة القطاعية إلى قناة الري المؤقتة، وإلى أخاديد الصرف التي تتوزع منها إلى أنفاق الترطيب. يتحقق ضغط المياه في قناة الري المؤقتة بواسطة بوابات الوقائية. تُجرى عادةً السقاية مرة أو مرتين وفق هذا المُخطط. يُمكن السقاية بالانسياب بمياه غير نقية.

عند الشبكة المُغلقة الشكل (4-5) تنتقل المياه إلى الأنفاق من أنبوب الري عبر مسامات الردمية الحصوية الشكل (5-5). تُنظم تغذية المياه إلى أنبوب الري بواسطة صمام بوابي مُنزلق. يُستخدم ميل أنبوب الري بما لا يتجاوز: 0.001. طول أنابيب الري: $100...150[m]$، والمسافة بينهما: $150...180[m]$ ، أما بين أنابيب التوزيع: $200...300[m]$. المسافة بين الأنفاق: $0.8...1.2[m]$ ، والتدفق فيها: $0.2...0.5[m]$. تُحفر أنفاق الترطيب الشكل (5-6) وبذات الوقت تُثبت بمحلول بوليميري باستخدام معدات تشكيل الأنفاق (مُشكل النفق).



الشكل (5-6): الجزء العامل لمُشكل النفق: 1- مفاصل، 2- سكين المُشكل، 3- المثقاب، 4- محقنة لحقن محلول تثبيت على جدران النفق، 5- معدات توسيع، 6- حاقن من أجل تغذية المحلول من سكين مُشكل النفق، 7- ماسورة من أجل تغذية المُثبت إلى الحاقن، 8- النفق، 9- تثبيت جدار النفق بالبوليمير.

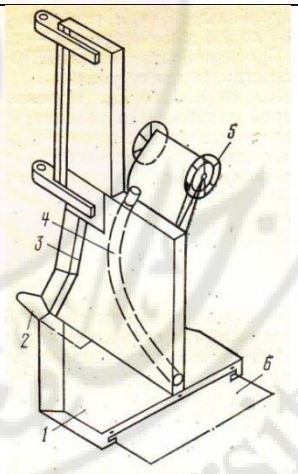


الشكل (5-5): مقطع عرضي في الخندق مع أنبوب الري: 1- ردمية ترابية، 2- شريحة بولي إيتيلينية، 3- سُدادة لسحب المياه، 4- أنبوب الري، 5- السد بالطين، 6- ردمية حصوية، 7- النفق، 8- ردمية رملية.

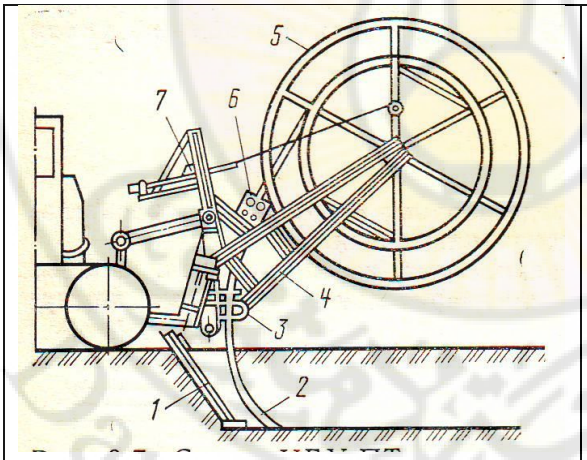
الجدول (5-2): الصفات التقنية لمُشكل الأنفاق (معدات تشكيل الأنفاق):

مُشكل الأنفاق المُعلق مع الجرار	K-701
عدد الأنفاق خلال مرور (شوط) واحد للجرار	2
عمق النفق: $[mm]$	420…600
المسافة بين المثاقب: $[mm]$	
عند جزء عامل وسطي	400
عند جزئين عاملين جانبيين	1300
رطوبة التربة % عند حفر النفق:	
عند الجزء العامل الوسطي	21…31
عند الجزئين العاملين الجانبين	15…21
سعة الوعاء من أجل محلول التثبيت: $[l]$	1200
عدد العمال المستخدمون	شخصين
تتعلق إنتاجية الوردية: $[h]8$ بكمية وبنوع الأجزاء العاملة: $[hr]$.	2…5

يُحقق تثبيت أنابيب الترطيب البولي إيتيلينية بأسلوب اللانفقي بواسطة آلات وضع الأنابيب في التربة الشكل (5-7;5-8).



الشكل (5-8): مُخطط ألة تثبيت أنابيب الترطيب البولي إيتيلينية، 1- سكين أفقي، 2- مثقب، 3- سكين شاقولي، 4- دليل موجه شاقولي، 5- بكرة من أجل الشريحة، 6- شريحة سائرة مسامية نفوذة للمياه.



الشكل (5-7): مُخطط آلة وضع الأنابيب (المواسير) تحت سطح التربة: 1- سكين ذو مثقاب، 2- ماسورة تحكم لوضع الأنبوب، 3- هيكل، 4- حامل تعليق، 5- بكرة، 6- مثقب، 7- ميكانيزم الكبل – الهيدروليكي.

الجدول (5-3): الصفات التقنية لألة وضع (تثبيت)أنابيب الترطيب البولي إيتيلينية مع ستائر وبدون ستائر:

	مع ستائر	دون ستائر
النوع	معلق	معلق
السرعة الفعلية: $[m/s];[km/h]$	0.83 (3)	0.83 (3)
الإنتاجية خلال ساعة واحدة من الزمن الاستثماري: $[m]$	600	900
عدد العمال:		
سائق الجرار	1	1
العامل	1	1
كتلة واضع الأنابيب: $[kg]$	1100	930
عرض الطريق ضو: $[mm]$	350	380
عمق وضع أنبوب الترطيب: $[mm]$	600	600
قطر أنبوب الترطيب: $[mm]$	20…40	20…40
عرض ستائر (شرائح) البولي إيتيلين: $[mm]$	700	-
سماكة ستائر البولي إيتيلين: $[mm]$	1.8…2.2	-

5-3- نظام الري تحت سطح التربة:

العناصر الأساسية لنظام الري: معدل السقاية وزمن السقاية. معدل السقاية الواحدي: كمية المياه المطلوبة من أجل تشكيل محيط الترطيب (كنتور الترطيب) في التربة للبارامترات الحسابية في مجال واحدة الطول للترطيب.

$$m = 0.785\sigma hB(W_{FC} - W_0) \qquad (5\text{-}1)$$

حيث: 0.785- قيمة عددية تُعبر عن الشكل الإهليلاجي (قطع ناقص) لمحيط الترطيب.

$\sigma = 0.8$ - ثابت يأخذ بالاعتبار عدم انتظام توزيع الرطوبة في الطبقة الحسابية للتربة قبل السقاية وبعدها.

$h;[m]$ - العمق الحسابي للترطيب.

$B;[m]$ - العرض الوسطي لخط الترطيب في التربة.

$W_{FC};[m^3/m^3]$ - احتياطي الرطوبة في: $1[m^3]$ من التربة عند السعة الرطوبية الصغرى (السعة الحقلية).

$[m^3/m^3]$ احتياطي الرطوبة في $1[m^3]$ من التربة عند الرطوبة قبل السقاية، $-W_0;[m^3/m^3]$

حيث: $W_0 = (0.7...0.8)W_{FC};[m^3/m^3]$.

يُحدد معدل السقاية من المعادلة الآتية:

$$m = 0.65hB(W_{FC} - W_0)l/n \qquad (5\text{-}2)$$

حيث: $-l;[m]$ طول أنبوب الترطيب.

$-n$ عدد أنابيب الترطيب في الهيكتار الواحد، المحسوب وفق العلاقة بطول أنبوب الترطيب وبالعرض الوسطي لخط الترطيب: B ، هذا يعني: $h = 10^4/(lB)$. يُبين الجدول (4-5) قيم الرموز: $l;h;B$.

الجدول (4-5): مُحيط (كنتور) الترطيب المُقترح:

البارامترات	أنابيب الترطيب البولي إيتيلينية (المُرطبات البولي إيتلينية)				أنفاق الترطيب (المُرطبات النفقية)			
	التكوين الميكانيكي للتربة وفق كاتشينكو							
	تربة حمراء			طينية	تربة حمراء			طينية
	خفيفة	وسطية	ثقيلة		ثقيلة	وسطية	ثقيلة	
عرض خط الترطيب: $B;[m]$	0.8	1.0	1.1	1.3	0.8	0.9	1.0	1.1
عمق خط الترطيب: $h;[m]$	1.5	1.4	1.3	1.2	1.5	1.4	1.3	1.3
المسافة بين أنابيب الترطيب: $l;[m]$	1.0	1.2	1.3	1.5	0.8	0.9	1.1	1.2

ملاحظة: 1- تتغير البارامترات الحسابية في منطقة الترطيب عند استخدام ستائر شريطية أسفل أنابيب الترطيب: يزداد عرض كنتور الترطيب وتزداد المسافة بين أنابيب الترطيب بنسبة: 15...20%، ويتناقص عمق كنتور الترطيب بنسبة: 20%. 2- من أجل المحاصيل الزراعية في خطوط عريضة (البساتين والكرمة وغيرها) يجب تصميم مُسبقاً بوضع أنبوب ترطيب واحد أو اثنين في الخط الواحد. يُسمح بالسقاية بالانسياب الذاتي فقط المحاصيل الحقلية.

زمن (استمرارية) السقاية:

$$t = \frac{h_w}{\sum_1^i v_i} \qquad (5\text{-}3)$$

حيث: $h_w;[m]$ – طبقة المياه الشرطية المطلوبة من أجل إشباع شريحة ترابية للعمق الحسابي.

$\sum_1^i v_i;[m/h]$ – السرعة الوسطية لامتصاص المياه في التربة (خلال الفترة من: 1 حتى: 12[h])، تتحدد وفق منحني الامتصاص المُنشأ وفق مُعطيات البحوث الفيزيا – مائية للتربة عند ضغط المياه حتى: 1[m]، [m/hr].

تتحدد طبقة المياه الشرطية مع اعتبار أن حجم التربة في الشريحة الواحدية للعمق الحسابي يُساوي: $1m^2 \cdot h;[m^3]$ من المعادلة الآتية:

$$h_w = \varphi h(W_{FC} - W_0) \qquad (5\text{-}4)$$

حيث: $\varphi = 1.1...1.15$ – ثابت تتعلق قيمته بالخواص الميكانيكية للتربة عند تصميم أنبوب الترطيب دون ستائر مفروشة تحت السطح: (عند وجود ستائر أو شرائح تُزاد قيمة الثابت بنسبة: 10%).

يُحدد عدد مرات التغذية المائية التي تُحقق إجراء معدل السقاية الحسابي مرة واحدة من المعادلة الآتية:

$$n_T = 24t / d_{mw} \qquad (5\text{-}5)$$

حيث: d_{mw} – النقص الوسطي اليومي بالاحتياج المائي.

المساحة المروية خلال شوط واحد: $[hr]$ تُساوي جزء من تقسيم المساحة المطلوب سقايتها بذات الوقت على عدد مرات التغذية:

$$a_T = A_T / n_T \qquad (5\text{-}6)$$

حيث: $A_T;[hr]$ – مساحة القطاع المُراد سقايته مرة واحدة.

يُحدد تدفق المياه: $[l/s]$ المنقول إلى أنبوب الترطيب من المعادلة الآتية:

$$Q_{nt} = \frac{kmB}{k_2 t \cdot 3.6} l \qquad (5\text{-}7)$$

حيث: $k = 1.05$ – ثابت يأخذ بالاعتبار ضياعات المياه.

$B;[m]$ – العرض الوسطي لخط الترطيب من أجل أنبوب ترطيب واحد.

k_2 – ثابت يأخذ بالاعتبار عدم انتظام في توزيع الرطوبة ويُؤخذ مُساوياً: $k_2 = 1.2...1.3$ من أجل التربة الوسطية ويُساوي: $k_2 = 1.4$ من أجل التربة الطينية.

تُحدد إحداثيات الهيدروموديل الحسابي (الهيدروموديلية الحسابية): $[l/(s.hr)]$ وفق المنحني البياني التكاملي للسقاية من المعادلة الآتية:

$$q = q_t a_T / A \qquad (5\text{-}8)$$

حيث: q_t – تدفق المياه على: $1[hr]$ في السقاية الواحدة المحسوب من المعادلة الآتية:

$$q_t = Q_L \frac{100}{B} \qquad (5\text{-}9)$$

حيث: $Q_L;[l/s]$ – تدفق المياه المنقول إلى أنبوب الترطيب على: $100;[m]$ من طوله.

$100/B$ – عدد أنابيب الترطيب على: $1[hr]$ عند الحساب على هيكتار ذو شكل مربع: $(100\times100);[m]$.

$A;[hr]$ – المساحة الكلية المروية خلال الدورة الزراعية للري.

5-4- الحساب الهيدروليكي لأنابيب الري تحت سطح التربة:

يُحقق الحساب الهيدروليكي للأنابيب الرئيسية والتوزيعية وفق الطريقة العامة عند شرط تحقيق التغذية المائية لأبعد أنبوب ولأكثر توزيع أنابيب غير مُجدٍ. ويجب حساب مواسير الري على انتظام توزيع المياه وفق الطول.

يُحدد الحساب الهيدروليكي القطر، والطول وميل أنبوب الري، الذي يُحقق الضغط البيزومتري في بداية أنبوب الترطيب المُثقب بما لا يتجاوز: $0.8...1.5[m]$، وفي بداية أنبوب الترطيب ذو الثقوب المشقوقة لا يتجاوز: $0.5...0.8[m]$. يُقترح وضع أنبوب الري وفق كامل طوله في التربة بميل يُطابق الضغط البيزومتري من أجل تحقيق توزيع منتظم للمياه في أنابيب الترطيب. يجب ألاّ يتجاوز الضغط البيزومتري في بداية أنبوب الري من أجل أنابيب الترطيب المُثقبة: $2[m]$ ، أما في نهاية أنبوب الري يجب أن لا يتجاوز: $0.3...1[m]$ ، يجب ألاّ يتجاوز الضغط في بداية أنبوب الري من أجل أنابيب الترطيب ذات الثقوب المشقوقة: $0.8...1.2[m]$. كما يجب ألاّ يتجاوز الفرق بالضغط في أنابيب الري وأنابيب الترطيب: 30% من الضغط في بدايتها.

عند الحساب الهيدروليكي لأنبوب الري ذي الردمية المسامية يجب أن يكون الضغط البيزومتري في بداية الأنبوب أكبر من: 1.35[m]، أما في نهايته فيجب أن يكون: 0.85[m]. يُجرى حساب أنفاق الترطيب مع الأخذ بالاعتبار تغير المقطع العرضي للنفق. يُستخدم طول نفق الترطيب وفق البارامترات التصميمية وفق العلاقة بالميل الموضعي الجداول (5-3;4-4).

الجدول (5-3): طول أنابيب الترطيب البولي إيتيلينية (المُرطبات) وفق العلاقة بالميل الموضعي:

الميل	طول الأنبوب: $[m]$	الفرق في المنسوب عند بداية ونهاية الأنبوب: $[cm]$	التدفق في بداية أنبوب الترطيب: $[l/s]$
0.001	200…250	20…25	0.20…0.25
0.002	200…250	40…50	0.20…0.25
0.004	200…250	80…100	0.20
0.006	120…160	72…96	0.10…0.15
0.008	80…160	64…96	0.06…0.10
0.010	60…90	60…90	0.05…0.07

الجدول (5-4): طول نفق الري (المُرطب) وفق العلاقة بالهبوط (بالانخفاض) الموضعي:

طول نفق الترطيب: $[m]$	الفرق في المنسوب عند بداية ونهاية نفق الترطيب: $[cm]$	التدفق في بداية نفق الترطيب: $[l/s]$
200…220	20…22	0.45…0.50
200…220	40…44	0.40…0.45
200…220	80…88	0.40…0.45
150…190	90…114	0.35…0.40
110…140	88…112	0.25…0.35
80…100	80…110	0.15…0.25

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل السادس
الري بالتنقيط فوق سطح التربة

6-1- نظام الري بالتنقيط:

الري بالتنقيط: هو أحد أشكال الري المكروي الموضعي، الذي عنده تتدفق مياه الري عبر ثقوب مكروية خاصة (النقاطات) بمعدلات صغيرة إلى منطقة الجذور للمحاصيل الزراعية.

عند الري بالتنقيط يتم إمداد للمحاصيل الزراعية بشكل مستمر بالمياه وبعناصر التغذية. تسمح مُعايرة غزارة (تغذية) المياه خلال كامل فترة النمو بالتطابق مع الاستهلاك المائي للمحاصيل الزراعية بتشكيل نظام رطوبة مثالي في الطبقة الترابية المُغذية للجذور وبزيادة إنتاجية المحاصيل الزراعية.

الحسنات الأساسية للري بالتنقيط: اقتصاد كبير بمياه الري عند الترطيب الموضعي للتربة. يُمكن بواسطة الري بالتنقيط سقاية المُنحدرات الدائرية، وإضافة الأسمدة والمُبيدات سويةً مع مياه الري. تخفض ضياعات الطاقة المطلوبة لتخطيط الأرض بالمُقارنة مع الري بالرذاذ.

سيئات الري بالتنقيط: تلوث وانسداد الثقوب المكروية (النقاطات)، وتوزيع غير مُنتظم للمياه عبر الثقوب المكروية وأيضاً إمكانية إتلاف الأنابيب البلاستيكية وتآكلها من قبل القوارض.

يُقترح استخدام الري بالتنقيط في المناطق ذات الموارد المائية المحدودة، وفي الأراضي ذات التضاريس الصعبة (جبال، هضاب) حيث يصعب أو لا يُمكن استخدام تقنية سقاية أخرى، وفي التربة الخفيفة غير المالحة، وعندما تكون مياه الري قليلة المعادن.

يتطلب تصميم شبكة الري بالتنقيط كلفة كبيرة نسبياً. ويُناسب اقتصادياً استخدام الري بالتنقيط في الأساس سقاية المحاصيل المُعمرة المُرتفعة الدخل (المحاصيل الحقلية، والكرمة، والثمار وغيرها). أنظمة الري بالتنقيط غالباً أنظمة ثابتة ومُرتفعة التكاليف.

يُقسم الري بالتنقيط وفق نوع النقاطات إلى: نظام ري بالتنقيط ذات موانع التسرب وذات قنوات حلزونية لإخماد الضغط. ونظام ري بالتنقيط ذات عوامة لتنظيم التدفق. ونظام ري بالتنقيط ذات غشاء مرن موازن الذي يُحقق تدفق مستمر عند تغير الضغط في أنابيب الشبكة من: $0.05...0.4[MPa.]$.

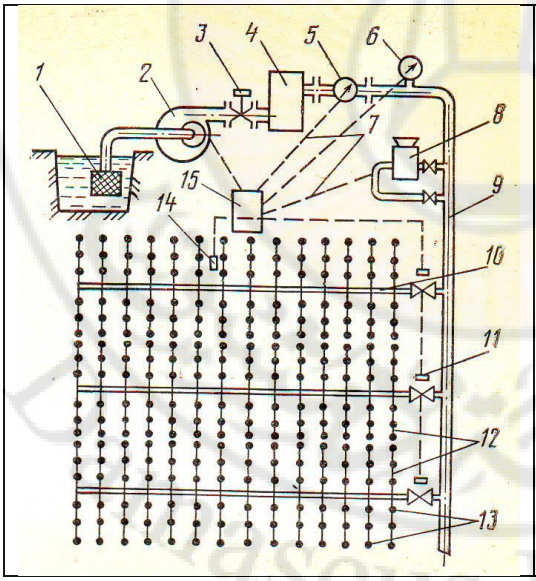
النقاطات الأكثر شيوعاً هي ذات الغشاء المرن المُوازن التي تُستخدم عند ري المحاصيل في الأراضي المُنحدرة. تُستخدم النقاطات العوامة في الأساس عند استخدام المياه

المُلوثة غير النقية. صُمم نظام ري مكروي موضعي بالرذاذ (سبنكلر) حيث يُحقق توزيع مُنتظم للمياه وفق طول أنبوب السقاية على حساب الضغط الثابت في الأوعية الخاصة المُعلقة ذات ثقوب المُعايرة. تملك ثقوب خروج المياه المكروية قطراً يسمح بخفض مُتطلبات لتنقية المياه. يعمل النظام بجودة عالية عند الميل: 0.3…0.05 عند وضع أنابيب السقاية وفق الميل الأعظمي السائد.

يُفضل استخدام مُوزعات مكروية لخروج المياه في التربة الخفيفة من أجل الري بالرذاذ المكروي بنصف قطر تأثير: $[m]$4...1 .

يُناسب أكثر استخدام المرش المكروي (السبنكلر) بنصف قطر تأثير: $[m]$5...4 من أجل الخطوط العريضة لمحاصيل الأشجار.

العناصر (الأجزاء) الأساسية لنظام الري بالتنقيط: محطة الضخ ومركز (مُنشآة) تنقية المياه، وشبكة أنابيب ذات أجهزة مُعايرة وصمامات (صنابير) وأنابيب السقاية ذات النقاطات بثقوب مكروية لخروج المياه الشكل (6-1). تُجهز محطة الضخ بمضخات مُنخفضة الضغط وتُجهز بفلاتر (بمصافٍ) من أجل التنقية الأولية للمياه وبأجهزة لحجز الشوائب.



الشكل (6-1): المُخطط الأساسي لنظام الري بالتنقيط: 1- مركز المأخذ المائي، 2- مركز تشكيل الضغط (محطة الضخ)، 3- صنبور رئيسي، 4- مصفاة، 5- عداد المياه، 6- مانومتر، 7- أسلاك الوصل (قنوات)، 8- المُسمدة (جهاز إضافة الأسمدة)، 9- أنبوب رئيسي، 10- أنبوب توزيعي، 11- صمام منزلق للتحكم عن بُعد، 12- أنابيب الري، 13- ثقوب مكروية لخروج المياه (النقطات)، 14- حساس ضرورة السقاية، 15- لوحة التحكم.

تُصنع الأنابيب الرئيسية والتوزيعية من مواسير الأسبستوس الاسمنتي بماركات مُختلفة ومن مواسير البولي إيتلين. عمق تثبيت شبكة الأنابيب تحت سطح التربة:[m]1…0.7.

يُمكن وضع أنابيب السقاية لنظام الري بالتنقيط على سطح التربة أو تحت سطح التربة. عند التثبيت تحت السطح تنتقل المياه إلى النقاطات بواسطة أجهزة التغذية (المُغذيات). يجب أن لا يقل عمق توضع أنابيب السقاية عن: 0.5[m] . تُوزع أنابيب السقاية على السطح على طول خطوط الأشجار والكرمة وتُثبت إلى الخط السفلي بأسلاك مُعلقة على ارتفاع: 0.5…0.7[m] فوق سطح التربة أو تُوضع على سطح التربة مباشرةً في الخط بصورة حرة.

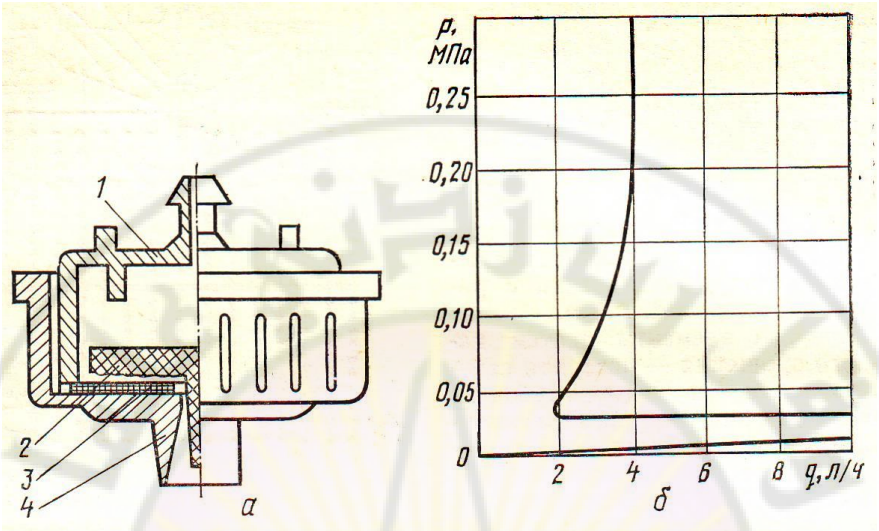
تُصنع أنابيب السقاية من البولي إيتلين مُنخفض الضغط، والمُتصلة بأجهزة من صفائح عامودية هوائية، وأيضاً البولي إيتلين المضغوط (مُرتفع الضغط).

يتوقف على النقاطات ذات الثقوب المكروية لخروج المياه والتي تُثبت على أنبوب السقاية كل من جودة العملية التكنولوجية، وكفاءتها. وهي مُزودة بأجهزة من أجل إعطاء تدفقات ثابتة من المياه عند تغير الضغط في أنابيب الشبكة ومن أجل التنقية الذاتية للقنوات المكروية في النقاطة من الشوائب العالقة. يُبين الجدول (6-1): الصفات التقنية لبعض النقاطات شائعة الاستخدام.

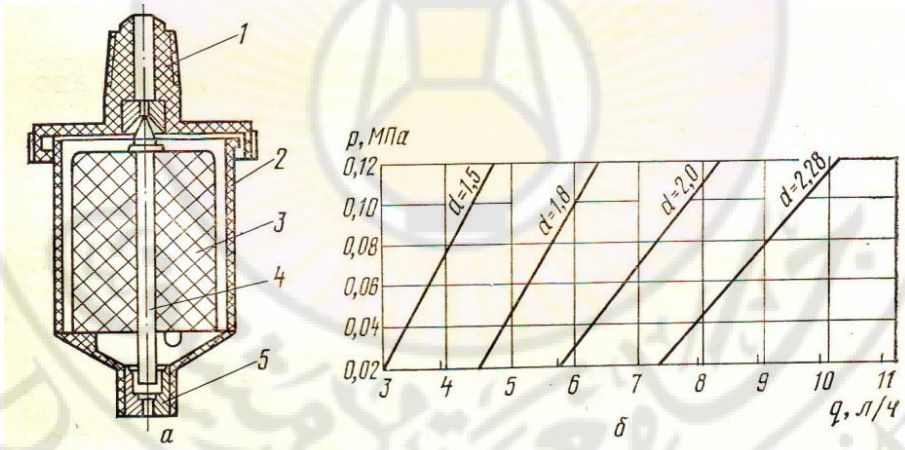
الجدول (6-1): الصفات التقنية للنقاطات:

كتلة: $[g]$	مادة النقاطة	الضغط الفعلي: $[MPa.]$	التدفق الفعلي: $[l/s]$	نظام الجريان		الحل التقني لأخماد الضغط ولتثبيت التدفق.
				الغسل	العامل	
15	بوليمر بلاستيكي حراري، ومطاط	0.1…0.4	4…8	رذاذ	نقاطة	مجرى خانق ذو قناة حلزونية وغشاء مرن للمُعايرة
15	بوليمر بلاستيكي حراري، ومطاط	0.1…0.3	5	رش	نقاطة	قناة مُعايرة مُتدرجة ذات مُعاير غشائي مرن
40	بولي إيتلين	0.04…0.08	7…10	–	رش	مجرى خانق ذو إبرة عائمة للمُعاير
10	بولي إيتلين، ومطاط	0.1…1	1.5…2.5	رش	نقاطة	مُعاير غشائي مرن ذو قناة قطرية
25	بوليمر بلاستيكي حراري	0.1…0.6	4	رش	نقاطة	غشاء مطاطي لمُعايرة التدفق
10	بوليمر بلاستيكي، ومطاط	0.1…06	5.5	رش	نقاطة	مُعاير غشائي حر المُعايرة

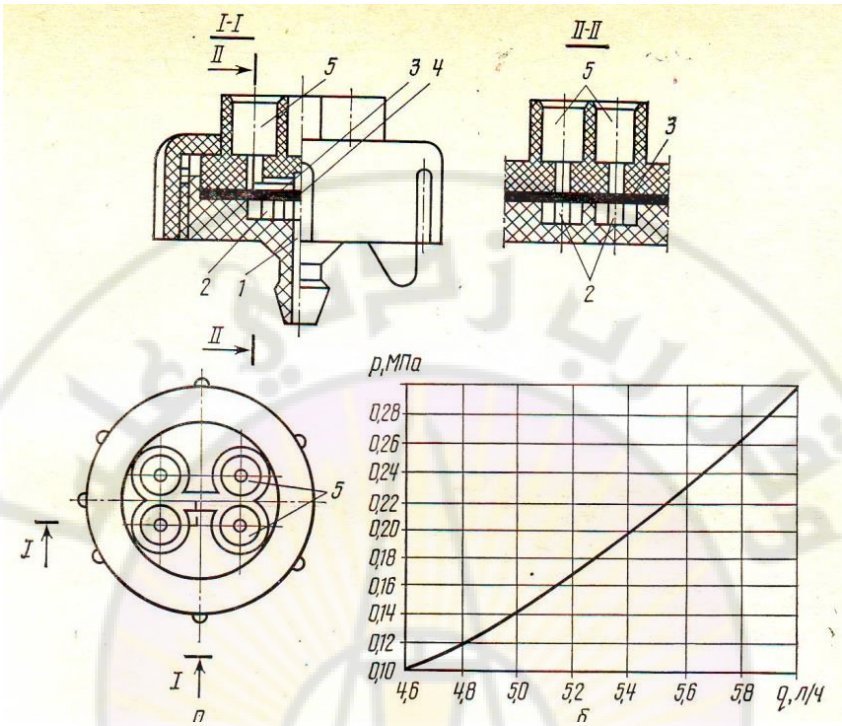
وتُبين الأشكال (6-2,…,6-6) تصميم النقاطات وصفات التدفق – الضغط لها.



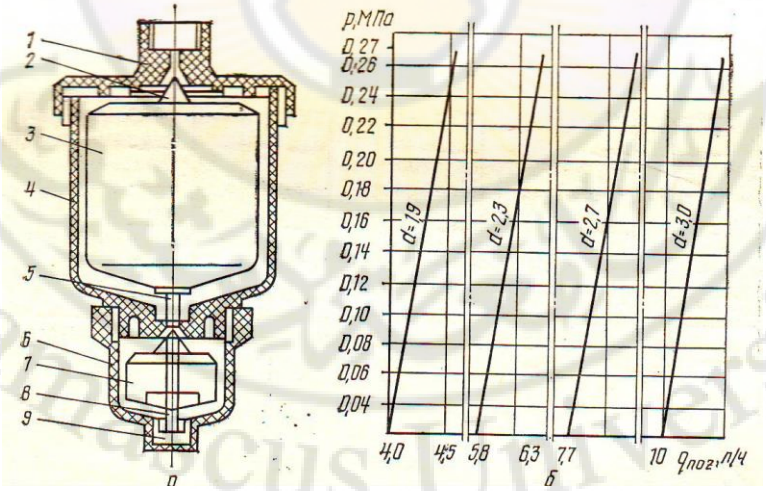
الشكل (6-2): a– النقاطة ذات مجرى خانق ذات قناة حلزونية وغشاء مرن للمُعايرة، b– صفات التدفق – الضغط: 1– الهيكل، 2– مجرى خانق، 3– حلقة إحكام منع التسرب، 4– غطاء (سُدادة).



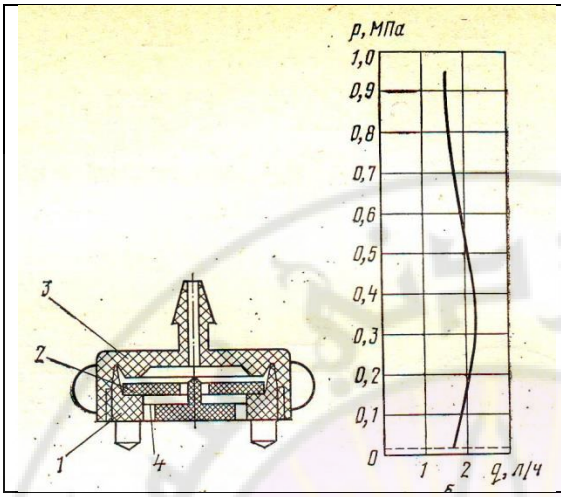
الشكل (6-3): a– النقاطة ذات قناة مُعايرة مُتدرجة وذات مُعاير غشائي مرن ، b– صفات التدفق – الضغط: 1– سُدادة، 2– هيكل، 3– عوامة أو فواشة، 4– إبرة، 5– ثقوب الخروج، d– قطر ثقب الخروج: $[mm]$.



الشكل (4-6):a – النقاطة ذات مجرى خانق ذات إبرة عائمة للمُعاير، b– صفات التدفق – الضغط: 1– وصلة أنبوبية (قارنة)، 2– حجرة الضغط، 3– قناة مُعايرة، 4– حلقة إحكام غشائية مرنة، 5– ثقوب الخروج.



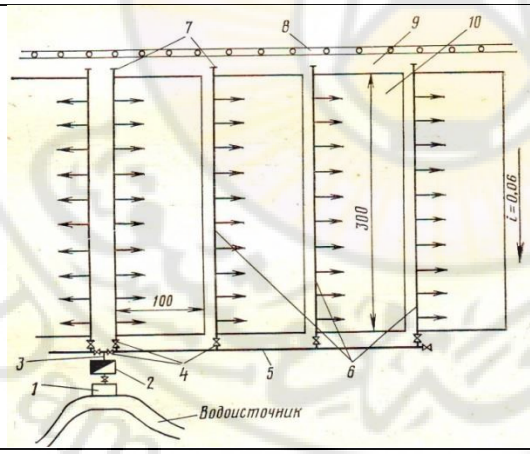
الشكل (5-6):a – النقاطة ذات مُعاير غشائي مرن ذو قناة قطرية، b– صفات التدفق – الضغط: 1– سُدادة علوية، 2,5,8– أبر، 3– عائم – مُخمد للضغط، 4– هيكل الحجرة العلوية، 5– هيكل الحجرة السفلية، 7– عائم – مُثبت للتدفق، 9– وصلة ملولبة الطرفين، d– قطر ثقب الوصلة الملولبة الطرفين: $[mm]$.



الشكل (6-6):a – النقاطة غشاء مطاطي لمُعايرة التدفق، b– صفات التدفق – الضغط: 1– هيكل، 2– غشاء، 3– سُدادة، 4– نتوء قطري.

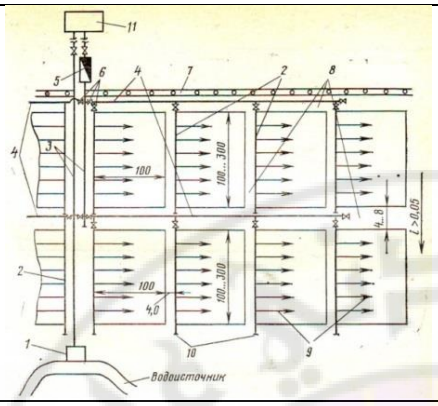
6-2- أتمتة أنظمة الري بالتنقيط:

تُقسم أنظمة الري بالتنقيط من أجل تحسين تجهيزاتها بالكامل إلى قطاعات نموذجية (موديلات) بمساحة: $[hr]$9...12 ، تتكون من حقول المساحات المروية بذات الوقت، من واحد حتى ثلاثة هكتارات الشكلين (6-7;6-8). يتحقق التحكم بتغذية المياه إلى القطاع عن بُعد بواسطة أجهزة السحب المُثبتة في بداية الأنبوب القطاعي.



الشكل (6-7): المُخطط المبدئي للقطاع النموذجي لنظام الري بالتنقيط على سطح التربة بميل: 0.05 . 1– محطة ضخ، 2– مُنشآة تنقية (مصفاة)، 3– أنبوب رئيسي، 4– معدات السحب – المُعايرة، 5– أنبوب توزيع، 6– أنبوب قطاعي، 7– سُدادات (سقاطات) نهائية، 8– خط أشجار، 9– طريق، 10– المساحة المروية، القياسات بالمتر.

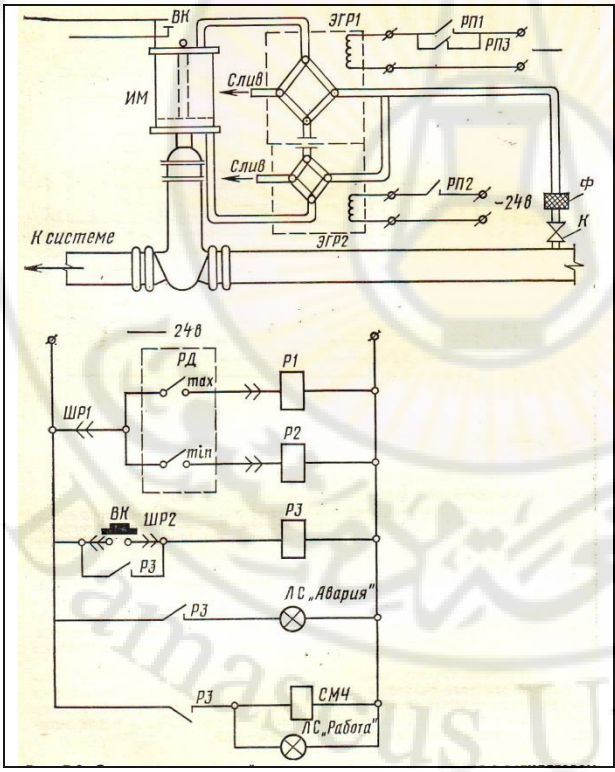
يسمح مُخطط توزيع المياه بتحديد موضع العطل (الخلل) للنظام في قطاعات (أجزاء) مُنفصلة، دون انقطاع السقاية في الأجزاء الباقية. تُستخدم من أجل ذلك السقاطات وسلك النقل الكهربائي أو تُستخدم الصمامات الكهراهيدروليكية. تُستخدم كوابل خاصة من أجل نقل الإشارة للتحكم ولتغذية الصمامات الكهراهيدروليكية.



الشكل (6-8): المُخطط المبدئي للقطاع النموذجي لنظام الري بالتنقيط في المُنحدارات بميل أكبر: 0.05

. 1- محطة ضخ، 2- أنبوب قطاعي، 3- أنبوب رئيسي، 4- أنبوب توزيع، 5- مُنشآة تنقية (مصفاة)، 6- معدات السحب - المُعايرة، 7- خط أشجار، 8- طريق، 9- مساحات السقاية، 10- سُدادات (سقاطات) نهائية، 11- حوض (خزان) مائي، القياسات بالمتر.

تتحقق أتمتة التحكم بأنظمة الري بالتنقيط بواسطة جهاز برمجة الذي يُحقق بالتسلسل السقاية المطلوبة للقطاعات النموذجية وفق العلاقة بالمُتطلبات التقنية الزراعية للمحاصيل ولرطوبة التربة الشكل، (6-9).



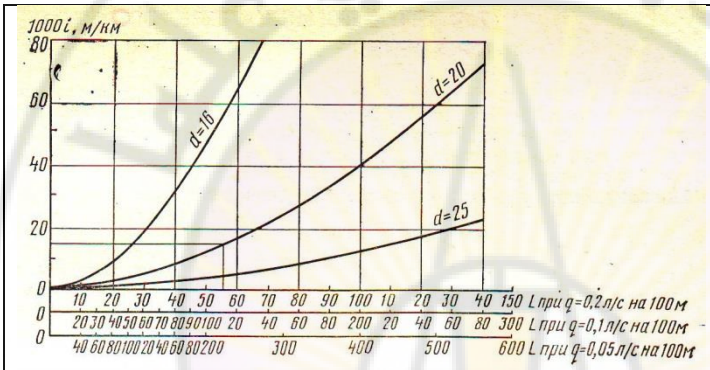
الشكل (6-9): مُخطط الأتمتة لنظام الري بالتنقيط وتنظيم التدفق على المخرج عند التغذية من شبكة الري المُغلقة: UM- ميكانيزم التشغيل، agp- مرحل (مُتابع) كهراهيدروليكي، P1-P3- مراحل بينية، F- مصفاة، K- صنبور قارنة، PD- مرحل الضغط، BK- مفتاح نهائي، WP- قابس (أصبع توصيل)، CMCh- عداد ساعي، LC- لمبة إشارة.

يتحدد توضع شبكة الأنابيب في المُخطط الأفقي بالشكل العام للقطاع وبالتضاريس الموضعية وبنوع المحاصيل. تُصمم شبكة أخاديد الري صماء (مسدودة). تُحدد المسافة بين

أنابيب السقاية بالعلاقة مع عرض الخطوط: $[m]4...2.5$ من أجل الكرمة، و: $[m]8...3$ من أجل الأشجار المُعمرة.

6-3- الحساب الهيدروليكي لأنابيب الري بالتنقيط:

يُحدد قطر أنابيب السقاية بالحساب الهيدروليكي وفق العلاقة بالميل وبالتدفق النوعي. الطول المثالي للأنابيب الصماء الملساء من البولي الإيتلين بقطر داخلي: $[mm]32...12$ ذات الثقوب المكروية عند التدفق النوعي: $[l/s]0.2...0.05$ لكل: $[m]100$ يُمكن تحديده من المُنحني البياني الشكل (6-10).



الشكل (6-10): الطول المثالي: L للأنابيب الصماء البولي إيتلينية ذات الثقوب المكروية لخروج المياه عند قيم مُختلفة للتدفق النوعي: d- القطر الداخلي للأنبوب. 1000i- الميل البيزومتري المسموح به.

يتغير طول الأنبوب وفق العلاقة النسبية عكسياً عند قيم أخرى للتدفق النوعي. من أجل استخدام المُخطط البياني يُحسب الميل البيزومتري المسموح به: $[m/k.m]$ من المعادلة التالية:

$$1000i = H_{\max} - H_{\min} + \Delta H_{gd} / L \qquad (6\text{-}1)$$

حيث: $[m]; H_{\min}; H_{\max}$ - الضغط الأعظمي والأصغري المسموح به.

$[m]; \Delta H_{gd}$ - الفرق بين المنسوب عند بداية الأنبوب ونهايته.

$[k.m]$ - طول الأنبوب.

يُطابق الضغط الأعظمي الضغط الحدي النهائي، الذي تُحسب عليه النقاطات، والضغط الأصغري في بداية الأنبوب في اللحظة المطلوبة (المُعتبرة).

يُحسب أنبوب التوزيع وفق ذات الطريقة أيضاً، وأيضاً أنبوب السقاية ذو الثقوب المكروية. تُصمم أنابيب التوزيع تلسكوبية أي مُتغيرة المقطع. يُستخدم المُخطط البياني في الشكل (6-11) من أجل الحساب الذي يسمح وفق الميل البيزومتري المسموح به ووفق التدفق النوعي بتحديد قطر الأنابيب وطول كل قطاع (منها) عند طول كلي معلوم للأنبوب.

يُحدد التدفق النوعي: $[l/s]$ لكل: $[m]100$ من المعادلة الآتية:

$$g = g_{dr} / l \qquad (6\text{-}2)$$

حيث: g_{dr};$[l/s]$ – التدفق من ثقب خروج المياه المكروي (من النقاطة).

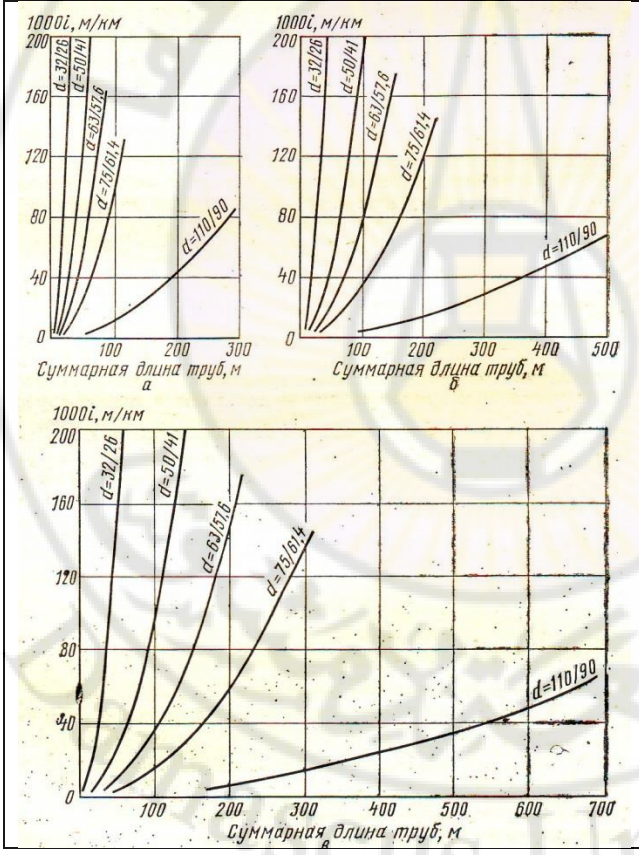
l;$[m]$ – المسافة بين الثقوب المكروية أو النقاطات.

تُدقق أو تُصحح المعادلة (6-1) عند كمية كبيرة من مواضع تغير القطر مع الأخذ بالاعتبار ضياعات الضغط على التقلص المفاجئ وهي تأخذ الشكل التالي:

$$1000 l_{cat} = 1000 i_{adm} + \zeta H_f / l \qquad (6\text{-}3)$$

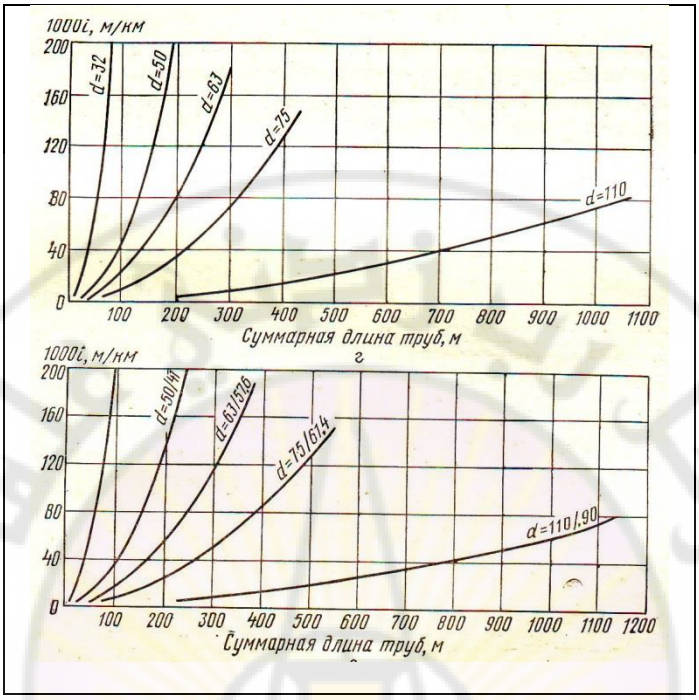
حيث: ζH_f;$[m]$ – ضياعات الضغط على التغير (التقلص) المُفاجئ بالمقطع.

يُصحح طول القطاعات الحسابية (أطوال المواسير) وفق العلاقة: $1000 i_{cat}$.



الشكل (6-11): أطوال قطاعات (مواسير) الأنبوب التلسكوبي من أنابيب البولي إيتلين وفق العلاقة بالضغط البيزومتري وبالتدفق النوعي: a- $a/q = 10$ ، b- $a/q = 20$ ، c- $a/q = 30$ ، d- $a/q = 40$ ، e- $a/q = 50$ ، d,[mm]- قطر الماسورة، (في البسط – القطر الخارجي، وفي المقام – القطر الداخلي).

تابع الشكل (6-11)



6-4- تقنية الري بالتنقيط:

تتضمن تقنية الري بالتنقيط نظام تغذية (غزارة) المياه بالعلاقة مع الاستهلاك المائي للمحاصيل الزراعية ومع تقنية السقاية. يتعلق نظام تغذية المياه بمعدل السقايات وبمدُدها وبزمنها خلال مدّة الري، وبمنطقة الترطيب، وبتدفق النقاطات وبعددها، وبمُخطط توزيعها وبالخواص الفيزيا – مائية للتربة.

يُحدد معدل السقاية: $[m^3 / hr]$ من المعادلة الآتية:

$$m_{nt} = 100\gamma h A_{nt}(w_{FC} - w_{PW}) \qquad (6\text{-}4)$$

حيث: $h;[m]$ – عمق طبقة التربة الحسابية.

$\gamma;[ton / m]$ – الوزن الحجمي للتربة.

$A_{nt};[m^2]$ – مساحة الترطيب.

$w_{FC};[\%]$ – السعة الحقلية الرطوبية الصغرى كنسبة من الكتلة المطلقة للتربة الجافة.

wpw – رطوبة التربة قبل السقاية التي تُطابق الحد السفلي للترطيب المثالي للتربة (بأجزاء من الواحد).

زمن تغذية المياه:

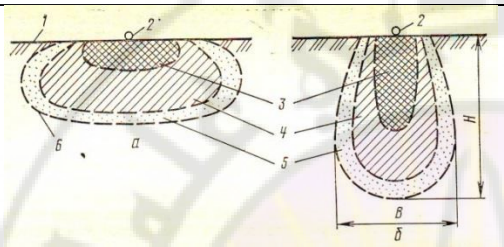
$$t = m_{nt} / E_f q_{dr} \qquad (6\text{-}5)$$

حيث: $E_t = 0.96...0.98;[m]$ – ثابت استخدام المياه.

$q_{dr};[l/s]$ – تدفق النقاطة.

n – عدد النقاطات في الهيكتار الواحد.

يُبين الشكل (6-12) كنتورات (مُنحنيات) توزع الرطوبة من أجل التربة الثقيلة والخفيفة.



الشكل (6-12): مُنحنيات توزع الرطوبة عند الري بالتنقيط، a– في التربة الثقيلة وفق التكوين الميكانيكي، b– في التربة الخفيفة وفق التكوين الميكانيكي، 1– سطح التربة، 2– النقاطة (فوهة الخروج المكروية)، 3– مركز تكرار ترطيب التربة، 4– محيط الترطيب الطبيعي للتربة، 5– محيط الترطيب الجزئي، 6– حدود انتشار الرطوبة.

يتشكل مركز الترطيب بالتطابق مع الثوابت البيولوجية الزراعية للمحاصيل الزراعية وبالتطابق مع الخواص الفيزيا – مائية للتربة تبعاً لتدفق الثقوب المكروية أو النقاطات ولزمن السقاية.

تُحسب إحداثيات الهيدرومودول البياني: $[l/s]$ من المعادلة الآتية:

$$q = m_{nt} / 86.4 t_{adm} \qquad (6\text{-}6)$$

تُحدد مساحة السقاية بذات الوقت: $[hr]$ وفق قيمة المدّة الصغرى بين السقايات من المعادلة التالية:

$$A_{mt} = A / \Delta t_{\min} \qquad (6\text{-}7)$$

حيث: $A;[hr]$ – مساحة القطاع النموذجي.

$\Delta t_{\min};[day]$ – أصغر مدّة فاصلة بين السقايات.

يتعلق عدد ومُخطط توزيع نقاط التغذية ومساحة الترطيب بنوع المحصول الزراعي وبالخواص الفيزيا – مائية للتربة.

تُحسب مساحة الترطيب من النقاطات من المعادلة الآتية:

$$A_{dr} = n_{dr} A_i / (a \times b) \qquad (6\text{-}8)$$

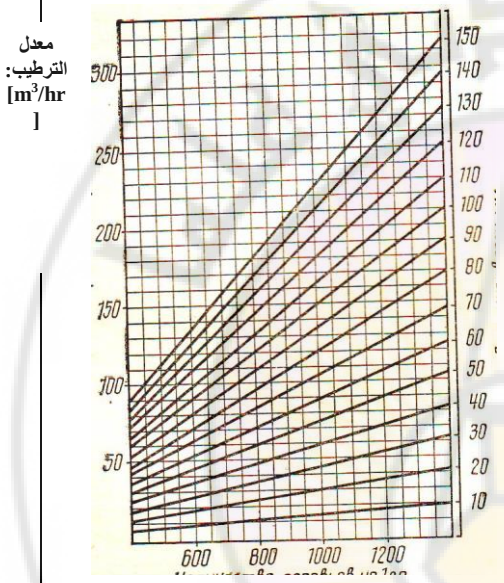
حيث: n_{dr} – عدد النقاطات على مسافة واحدة.

$A_i;[m^2]$ – مساحة الترطيب من فوهة واحدة (ثقب مكروي).

$[m^2]$;$a \times b$ – مُخطط توزع المحاصيل. (المخطط الزراعي).

يُحسب نظام الري بالتنقيط باحتمال تجاوز: لتجاوز النقص بالاستهلاك المائي95%.

يُبين الشكل (6-13) المُخطط البياني لتحديد معدل السقاية وفق العلاقة بعدد النباتات وبنقص الرطوبة.



الشكل (6-13): المُخطط البياني لتحديد معدل السقاية وفق العلاقة بنقص الرطوبة والمسافة بـ الأشجار.

6–5– الوسائل التقنية لتنقية مياه السقاية ولتسميد الأسمدة:

تُستخدم وسائل تقنية وتكنولوجية مختلفة من أجل تنقية المياه مع التدفق الحسابي وتصميم النقاطات وبمبدأ عملها، وأيضاً بالعلاقة مع الخواص البكترية والهيدروبيولوجية والفيزيا – المائية للمياه الجدول (6-2).

الجدول (6-2): مُتطلبات الجودة في مياه الري وفق العلاقة بتصميم النقاطات.

قطر الجزيئات الوزنية: [mm]	المحتوى المسموح به من الجزيئات الوزنية: [mg/l]	قطر ثقب الفوهة: [mm]	النقاطة
0.01…0.5	30.0	1.0	مجرى خانق ذو قناة حلزونية وغشاء مرن للمُعايرة
0.1	30.0	1.5	قناة مُعايرة مُتدرجة ذات مُعاير غشائي مرن
0.1	30.0	1.5	مجرى خانق ذو إبرة عائمة للمُعاير

مُعاير غشائي مرن ذو قناة قطرية	**1.5**	**30.0**	**0.25**
غشاء مطاطي لمُعايرة التدفق	**1.0**	**100.0**	**0.05**

المحتوى المسموح به من الأحياء الدقيقة: [mg/l]10.

يجب حل مُشكلة اختيار مُنشأة التنقية (المصافي) في كل حالة مُعينة بالاعتماد على الحسابات التقنية الاقتصادية وعلى مُقارنة النماذج الحسابية المُختلفة.

تُستخدم أحواض ترسيب أرضية من أجل تنقية المياه المُلوثة، وتُصمم مصافٍ من الحصى – الرمل من أجل التنقية الإضافية، ومن الحجارة المُكسرة، ومصافٍ رغوية، ومصافِ هيدروليكية دوارة، وأيضاً تُصمم محطات تعقيم المياه لإبادة الجراثيم فيها.

تُستخدم المصافي الشبكية من أجل عزل الجزيئات الرملية وجزيئات الطمي (الغرين) الضخمة من المياه، والمصافي الشبكية المكروية الدقيقة والأسطوانية – من أجل عزل الجزيئات الصغيرة والضخمة الوزنية العالقة، والمصافي الشبكية الحبيبية من أجل عزل الجزيئات الوزنية الصغيرة والضخمة ذات المنشأ المعدني والعضوي. وتُصمم محطات تنقية المياه المعدنية بالمعالجة بالفلور عند عزل الأملاح المعدنية والعضوية.

يُصمم الحوض – الخلاط الثابت من أجل تغذية (إدخال) الأسمدة إلى شبكة أنابيب الري. تُجهز نسب محاليل الأسمدة مُسبقاً. تُدخل محاليل الأسمدة المُركزة إلى النظام بأسلوبين: إما بطريق تشكيل التخلخل (هبوط في الضغط) في النظام في موضع التشغيل (أسلوب الشفط) أو بحقن الأسمدة مباشرةً في النظام باستخدام مضخة مُعايرة.

عند استخدام الأسمدة يجب الأخذ بالاعتبار احتمال التأثير المُشترك للمُركبات الكيماوية للأسمدة مع الشوائب الموجودة في مياه الري. على سبيل المثال: تسميد الأسمدة الفوسفورية في مياه طبيعية بصلابة مُرتفعة يُمكن أن يُؤدي إلى انخفاض الرطوبة في أنابيب الشبكة.

يُبين الجدول (6-3) مُنشآت التنقية (المصافي) وفق العلاقة بالإنتاجية وبجودة مياه السقاية.

الجدول(6-3): الصفات التقنية لمُنشآت تنقية المياه (المصافي):

الثابت	فلتر نابذي	فلتر شبكي	فلتر مكروي وأسطوانة شبكية	فلاتر للجزيئات الضخمة	فلتر ذو جسم عائم	محطة تنقية المياه
تصميم المصفاة	–	–	شبكة بمساحة ثقوب: $0.025[mm^2]$	رمل، قرميد	حمولة عائمة	رملية
الكتلة: $[kg]$	80	20	-	-	12207	-
كتلة المعدن: $[kg]$	2	1	-	-	9267	6000
التلوث الأولي للمياه: $[mg/l]$	$5\cdot10^3$	$5\cdot10^3$	$5\cdot10^3$	150…300	500	1000
الإنتاجية: $[l/s]$	15	11	30	10…25	42	3.8
الضغط الفعلي: $[KPa.]$	600	600	-	-	600	350
ضياعات الضغط: $[KPa.]$	5	2	-	10…15	6	-
تلوث المياه عند الخروج من المصفاة: $[mg/l]$	50	50	$5\cdot10^3$	0	50…100	30
استمرارية الغسل: $[\min]$	3	10	-	-	3…5	-
عدد العمال	شخص واحد					

الفصل السابع
الصرف في الأراضي المروية

تُعدّ المحاليل الملحية المحتواة في التربة لدرجة كبيرة نسبياً أحد أهم المؤشرات المُميزة لها في المناطق الجافة. فهي لا تُغسل من الطبقات العُليا للتربة إلى الطبقة السفلية بسبب كمية الأمطار القليلة. يتغير الانتشار الطبيعي للأملاح في الطبقة الترابية عند الري – يظهر كما يُسمى التملح الثاني، الذي يتميز بتجمع الأملاح مُباشرةً في طبقة نمو للجذور. يظهر التملح الثاني عند ارتفاع منسوب المياه الجوفية المعدنية، وعندما تنتقل الرطوبة في المنطقة الشعرية إلى سطح الأرض وتبدأ عملية الحركة الشعرية للرطوبة من منسوب المياه الجوفية باتجاه سطح الأرض. حيث تتبخر المياه عند ذلك وتتراكم الأملاح المحتواة فيها على سطح التربة. يُسمى عمق توضع منسوب المياه الجوفية الذي عنده تبدأ التربة بالتملح بشدة بالعمق الحرج. وهو يتعلق بخواص التربة وبخواص المياه الجوفية. تُلاحظ الملوحة المستمرة الشديدة في المناطق الجافة عند عمق توضع منسوب المياه الجوفية: $H'_{kp} = 1.5 - 2[m]$، وتُلاحظ الأملاح على عمق: $H''_{kp} = 2 - 3[m]$ في المناطق الضخمة المُستقرة التي لا تعكس الملوحة، وتُلاحظ الملوحة على عمق: $H'''_{kp} = 3 - 4[m]$ في المناطق الصغيرة التي تعكس الملوحة. يكون العمق الحرج: $H_{kp} = 1[m]$ عندما تكون ملوحة المياه الجوفية: 1[g/l]، ويُساوي العمق الحرج بالتناسب: 2,3,4[m] عندما تكون ملوحة المياه الجوفية المعدنية تحوي أملاح: 5,8,24[g/l].

يرتفع منسوب المياه الجوفية المعدنية عند الري بسبب ضياعات المياه على التسرب من القنوات ومن الأرض (الحقل). تحدث هذه العملية بصورة خاصة بسرعة عند انعدام التيارات المائية السفلية تحت سطح التربة. يُؤدي ارتفاع منسوب المياه الجوفية أيضاً إلى ترطيب القطاعات الموضعية السفلية. تُظهر الأملاح تأثيراً ساماً في المحاصيل وتُحطم خلايها وأنسجتها. الأملاح الأكثر ضرراً هي: $Na_2Co_3; NaHCo_3; NaCl; Na_2SO_4; MgCl_2; MgSO_4; CaCl_2$.

تُقسم الترب المالحة وفق كمية الأملاح المُحتواة فيها إلى ضعيفة ومتوسطة وشديدة الملوحة وسبخات ملحية. تُنسب إلى السبخات الترب الحاوية أملاحاً أكثر من: 3% أملاح (وفق نسبة الكتلة المطلقة للعينة الجافة) أو الحاوية 3%-2 أملاح وأكثر من: 0.1% كلور. يُنسب أيضاً إلى الترب شديدة الملوحة السبخات التي من أجلها تتميز بانعدام أملاح الصوديوم. غالباً

يظهر نوع أخر للملوحة: تختلف الملوحة وفق المحتوى المميز من الشوارد: $Cl^-; SO_4^{--}$ الكلور والكبريت أملاح الكلور، كلور – السلفات والسلفات. عند أملاح الكلور محتوى: Cl^- أكبر من: 0.44 من محتوى الكبريت: SO_4^{--}.

الحدود المسموح به لمحتوى الأملاح المُرتفع الذي يُظهر تأثير التلف في المحاصيل الزراعية يُسمى بدرجة السمية (عتبة السم). تتحقق عتبة السم من أجل أملاح الكلور بمحتوى أملاح: 0.25-0.3% ومحتوى كلور: 0.049-0.095%، أما عند أملاح السولفات فبالتطابق: 0.4-0.5% و: 0.03-0.06%. تُنسب القيم الأولى إلى التربة الخفيفة، وتُنسب القيم الثانية إلى التربة الثقيلة. يُسمح بمحتوى أعظمي للأملاح في التربة حتى: 0.005%.

مكافحة الملوحة هي أحد أهم المسائل الأساسية في الأراضي المروية. حتى في الأراضي ضعيفة الملوحة تظهر إنتاجية المحاصيل الزراعية لدرجة كبيرة نسبياً أصغر مما في الأراضي غير المالحة، أما عند الملوحة الشديدة فهي تنعدم بالكامل من الدورة الزراعية.

تُوجد بالإضافة إلى مجموعة الأساليب التي تسمح بتأخير ارتفاع منسوب المياه الجوفية وبخفض خروج الأملاح إلى طبقة التربة المُغذية للجذور، لكن النظام الجذري يتغير بالنظام المائي، وزيادةً على ذلك يُمكن خفض النظام الملحي لكامل السماكة الترابية فقط بواسطة الصرف. الصرف في أراضي الري هو مجموعة مُنشآت هيدروتقنية (مواسير، قنوات، أبار، ومحطات ضخ وغيرها)، التي بواسطتها يتحقق انخفاض منسوب المياه الجوفية وانخفاض الجريانات السطحية للمياه الجوفية وصرفها إلى خارج حدود مساحة الري (أحياناً تُستخدم مياه الصرف من أجل السقايات ومن أجل غسل الأملاح من الأرض). يُوجد نوعان أساسيان للصرف: الأفقي والشاقولي والصرف المركب أيضاً، علماً أن الصرف الأفقي يُقسم إلى مكشوف ومُغلق (مُغطى). الصرف الأفقي عبارة عن نظام القنوات (مصارف مكشوفة) أو عبارة عن أنابيب خزفية أو من الإسبستوس الإسمنتي، أو من البلاستيك وغيرها من الأنابيب (الصرف المُغطى)، أما الصرف الشاقولي فهو عبارة عن مجموعة من الآبار، التي تُسحب المياه منها بواسطة المضخات باستمرار أو دورياً. الأكثر شيوعاً الصرف الأفقي.

7-1- الإجراءات الاستثمارية لمكافحة تملح الأرض:

يرتفع منسوب المياه الجوفية مع الزمن في جميع أنظمة الري وفي المناخ الجاف، وفي المواضع ذات الصرف الطبيعي المُنخفض، ، وتتعرض التربة في حدود نظام الري للملوحة أو للرطوبة. أما في الأراضي ذات الصرف الكافي (عادةً في مناطق الهضاب) يرتفع منسوب المياه

الجوفية أيضاً بعد إنشاء نظام الصرف، لكنه يستقر على منسوب جديد، الذي عنده أهداب المياه الشعرية لا تصل إلى سطح الأرض ولا تنتظم عملية التملح. يتعلق احتمال التملح الضعيف للأرض ذات الصرف لدرجة كبيرة نسبياً بالتجهيزات التقنية للأنظمة وشروط استثمارها. تُوجد بالإضافة إلى الإجراءات التي لا يُمكن أن تُغير النظام الملحي للتربة، لكن تسمح بالحفاظ على ارتفاع منسوب المياه الجوفية وتُنقص شدة التملح. أحياناً هي كافية كي تحمي التربة من التملح.

رفع ثابت التأثير المفيد (مردود) القنوات: تسرب المياه من القنوات هو السبب الرئيسي للارتفاع السريع أو لارتفاع منسوب المياه الجوفية في الأراضي المروية. يُمكن تحقيق إنقاص الضياعات على حساب استخدام إجراءات مُضادة للتسرب، وباستبدال القنوات الأرضية بالقنوات الحوضية أو بالأنابيب والمواسير، وباختصار طول القنوات وبإدخال الدورة المائية.

تخطيط أراضي الري: يُلاحظ في الأراضي غير المُخططة سقايات مُتكررة للمواضع المُنخفضة، المُترافقة بأعماق كبيرة للتسرب، ويتم تجاوز عدم التغذية المُنتظمة للمياه في المواضع العليا في حالة ارتفاع منسوب المياه الجوفية في مركز خروج الأملاح ويشترط ملوحة سامة.

التوزيع الصحيح لزراعة الرز: يرتفع منسوب المياه الجوفية بصورة حادة في الأراضي المُجاورة لحقول الرز نتيجةً لجريان المياه تحت سطح التربة منها، لذلك للتخلص منها يجب توزيع مزارع الرز في المواضع الأكثر انخفاضاً.

اختصار فترات عمل الأنظمة: تُستخدم غالباً أنظمة الري في أوقات الشتاء من أجل تغذية المياه إلى المُنشآت المائية. يُشكل تدفق المياه في القنوات في هذه الفترة بما لا يتجاوز: 5-10% صيفاً. إذا أُستخدمت مصادر أخرى من أجل المُنشآت المائية، فعندها يُمكن خروج النظام من العمل تقريباً على كامل فترة النمو وهذا بذاته يُنقص لدرجة كبيرة نسبياً ضياعات التسرب السنوية.

تجهيز الأنظمة بمُنشآت مائية رئيسية ومُعايرة: يُؤدي انعدام المُنشآت المائية الرئيسية إلى سحب مياه فائضة في النظام وإلى صرف كبير، ويصعب التحكم باستخدام المياه في المزارع بدون مُنشآت مُعايرة في مراكز التوزيع.

إنشاء شبكة جمع المياه – الصرف ومُنشآت الصرف: يُمكن صرف المياه السطحية بما في ذلك المياه الجارية من المُجمعات المائية العلوية، وبسرعة تتفرغ القنوات من المياه عند وجود شبكة الصرف في الفترات الضاغطة. وتسمح أيضاً مُنشآت الصرف بحماية النظام من جريان المياه الفائضة إليه.

استخدام الصرف البيولوجي: تستهلك الأشجار على طول القنوات وأيضاً النباتات في أراضي الري كامل الحجم الكبير للمياه الجوفية، وتؤدي دوراً جوهرياً في مُعايرة توازنها. يُمكن امتصاص حتى: 20-10 ألف متر مكعب من المياه الجوفية في العام عند زراعة واحد هيكتار من مزروعات الأشجار. زراعة خطين أو ثلاثة خطوط من مزروعات الأشجار على طول القنوات (كما يُسمى بالصرف البيولوجي) يستهلك حتى ثلث حجم المياه المُتسربة من القنوات، وهذا بذاته يختصر تغذيتها إلى المياه الجوفية. يُحقق الصرف البيولوجي أيضاً تكراراً للمحاصيل التي تنقل كمية كبيرة نسبياً من المياه الجوفية وبذات الوقت تُضلل التربة وتُنقص التبخر من سطحها.

الاختيار الصحيح لنظام الري واستخدام تقنية سقاية مُتطورة: يجب أن تُختار عدد السقايات ومُعدلات السقاية بحيث تُحسب ضياعات المياه على عمق الترطيب وعلى التبخر بحيث تكون أصغرية. تزداد الضياعات على التبخر عند عدد كبير للسقايات وبمُعدلات قليلة، وعند عدد قليل للسقايات وبمُعدلات كبيرة تزداد الضياعات على عمق التسرب. يجب أن تُجرى السقايات بحيث تُحقق رطوبة مُنتظمة لكامل الحقل. تُلغى الضياعات على التسرب العميق تقريباً بالكامل عند الري بالرذاذ وبصورة خاصة عندما يُجرى الري بغزارة ضعيفة للرذاذ.

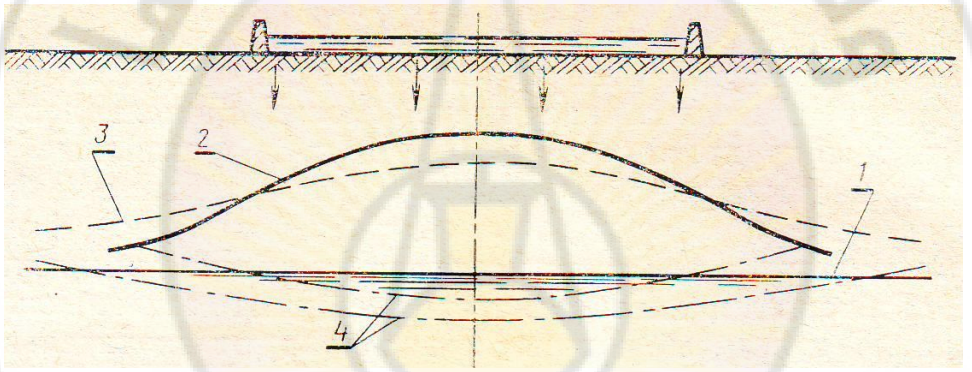
إجراء حراثة للتربة بذات الوقت: تسمح الحراثة بتحويل التربة إلى بُنية كتلية ناعمة (جزيئات صغيرة). يختصر تفيكيك التربة بذات الوقت لدرجة كبيرة نسبياً التبخر من السطح حتى: 30% ويُضعف حركة الأملاح إلى الطبقة العلوية للتربة.

استخدام سقايات احتياطية إضافية: يُزيل الري بالسقايات الاحتياطية مثل هذه السيئة للسقايات النامية، كالتبخر الشديد من سطح التربة الرطب. وهو يُشكل في التربة فقط تيارات غير صاعدة تغسل الأملاح في الطبقة السفلية، وبهذا الشكل يظهر تأثير انتشار الأملاح.

7-2-غسل الأملاح من الأرض:

الغسل هو أحد الأساليب الأساسية لانتشار الأملاح في التربة. يتلخص جوهر الغسل بالتغذية المائية العذبة بكمية كبيرة على سطح الأرض التي تتسرب في التربة، التي تحل الأملاح فيها، وتنقلها إلى إلى الأفق السفلي. عند انضمام مياه الغسل إلى المياه الجوفية تتشكل القبب نسبةً للمياه العذبة، أما المياه المالحة فتجري إلى الجهات المُختلفة. وبالتتالي باستمرار تشكل قبب مياه الغسل تتلاشى تدريجياً الشكل (7-1).

تُغسل عادةً الترب المالحة في الأراضي عديمة الصرف كل عام، لأن ملوحة التربة تتوقف حتى بداية الخريف وحتى إنها تزداد. يرفع غالباً الغسل للأرض في أي قطاع منسوب المياه الجوفية في الأراضي المُجاورة. للتخلص من الملوحة في فترة الصيف تُجرى السقاية عدة مرات وبمعدلات سقاية كبيرة، هذا يعني استخدام ما يُعرف بنظام الغسل بالسقايات. يتحقق الغسل عادةً بأسلوب الغمر. تُحدد للغسل المساحة بأمشاط ترابية مؤقتة تُقسم في مساحات مُستقلة إلى مُستنقعات. تُختار مقاسات المستنقعات بحيث يكون الحساب كي يكون الفرق في عمق الغمر في المجال لكل منها لا يتجاوز: [m]1. تُعمل الأمشاط الترابية المُحددة بارتفاع: [m]0.25-0.3. تُنقل المياه إلى المُستنعات بواسطة قناة دائمة أو مؤقته. تُجرى حراثة عميقة قبل تشكيل الأمشاط الترابية في الحقل.



الشكل (7-1): مُخطط غسل الأراضي المالحة: 1و2- المياه الجوفية السطحية قبل وبعد الغسل، 3- امتداد منسوب مياه الغسل، 4- الحدود بين المياه المعدنية والعذبة.

كمية المياه المنقولة إلى مساحة واحد هيكتار من الحقل خلال سقاية واحدة (الغسل الواحد) للمُستنقعات، تُسمى معدل الغسل لمرة واحدة، الذي يُحسب من المعادلة التالية: $[\frac{m^3}{hr}]$

$$\Pi = 10^4(h_{cp} + \omega_{tcp}t) \qquad (7\text{-}1)$$

حيث: $-h_{cp}; [m]$ الارتفاع الوسطي للغمر.

$-t;[day]$ زمن (استمرارية) غمر المُستنقع.

$-\omega_{tcp}; [\frac{m}{day}]$ السرعة الوسطية لامتصاص المياه في حدود المُستنقع خلال زمن الغسل.

إذا أخذنا بالاعتبار معادلة كوستياكوف أن: $\omega_t = \frac{k_1}{t^\alpha} \approx \frac{k_1}{\sqrt{t}}$ فإنه نجد: $\omega_{tcp} = \frac{\omega_1}{\sqrt{t}}$.

حيث: $-\omega_1; k_1; \omega_t$ سرعة الامتصاص بالتطابق في اللحظة الزمنية: t في نهاية الزمن الواحدي الأول (في نهاية الساعة الأولى) والسرعة الوسطية خلال واحدة الزمن الأولية.

α– الثابت الأسي.

خلال مُدّة الغمر طبقة المياه المُمتصة في التربة:

$$h_B = \omega_{tcp} t = \omega_1 \sqrt{t} \qquad (7\text{-}2)$$

ونجد زمن غمر المُستنقع من المعادلة التالية: [day]:

$$t = \frac{\Pi F}{8.64Q} = \frac{(h_{cp} + \omega_1 \sqrt{t})}{8.64} \qquad (7\text{-}3)$$

حيث: F;[hr]– مساحة المُستنقع.

$Q; [m^3/s]$– تدفق المياه إلى المُستنقع.

تُستخدم مُعدلات الغسل لمرة واحدة غالباً في المجالات: 1500-2500[m3/hr] عند عمق وسطي: $h_{cp} = 0.1 - 0.15[m]$. يُستخدم ما يُعرف مُعدل الغسل العام لنقل كمية المياه المطلوبة إلى واحد هيكتار من أجل الانتشار الكامل في الطبقة المُغذية للجذور (كي محتوى الأملاح فيها لا يتجاوز درجة السمية).

يُحسب ارتفاع منسوب المياه الجوفية بعد الغسل دون الأخذ بالاعتبار امتداد التيارات المائية إلى الجهات خلال الزمن: t من المعادلة التالية:

$$H_0 = \frac{\Pi - (W_{HB} - W_{HA})}{10^4 \delta} = \frac{\Pi - z_0(\beta_{HB} - \beta_{HA})n}{10^4 \delta} \qquad (7\text{-}4)$$

حيث: $\Pi; [m^3/hr]$– مُعدل الغسل.

$W_{HB} - W_{HA}; [\frac{m^3}{hr}]$– كمية المياه المطلوبة من أجل إشباع الطبقة الترابية بارتفاع: $z_0 = z + H_0; [m]$ حتى السعة الرطوبية الصغرى.

$\delta \approx 0.05 - 0.15$– ثابت عدم الإشباع بالنسبة المئوية من حجم التربة.

$\beta_{HA} - \beta_{HB}$– الرطوبة الوسطية للتربة قبل الغسل والسعة الرطوبية الصغرى لها % من الكاملة.

n– المسامية الوسطية للتربة % من الحجم.

من المُناسب إجراء الغسل في فترة الخريف – الشتاء لأنه في هذا الوقت منسوب المياه الجوفية أكثر انخفاضاً ويمتلك كمية مياه كافية. فضلاً عن ذلك كلما سبقنا بإجراء الغسل فإنه يبقى الزمن أكبر من أجل انخفاض منسوب المياه الجوفية إلى العمق المطلوب للنظام: 0.5-1[m] من سطح التربة حتى بداية الأعمال الحقلية الربيعية. يُفضل غسل أملاح السلفات في وقت الصيف لأن الأملاح الكبريتية تنحل بصورة أفضل عند الحرارة المُرتفعة أكثر.

وفق العلاقة بدرجة الملوحة ووجود المياه وأيضاً المُستنقعات يُمكن ملؤها مرة واحدة أو عدة مرات، لكن في جميع الحالات يجب أن يُختار عدد مرات الغسل مع الأخذ بالاعتبار مُعاملة منسوب المياه الجوفية حتى بداية فترة النمو. عند ذلك يُؤخذ بالاعتبار أنه خلال الفترة خارج النمو يُمكن أن يجري إلى التربة حتى: $2000[\frac{m^3}{hr}]$ وأكثر من المياه بسبب الأمطار.

تُحفر شبكة قنوات مؤقتة في الحقول بعمق حتى: 1[m] وبمسافة: 50-100[m] عن بعضها البعض بهدف رفع كفاءة الغسل (خاصة في التربة الثقيلة) ولتسريع خفض منسوب المياه الجوفية.

7-3- المُوازنة المائية الجوفية:

نُحدد الإجراءات المُتبعة لمكافحة تملح التربة كي نجد أسباب ارتفاع منسوب المياه الجوفية بصورة صحيحة، يُجرى مراقبة نظامية لتذبذب منسوب المياه الجوفية في قطاعات الري أو في القطاعات المُحددة للري. انطلاقاً من هذا الهدف يُشكل كما يُسمى المُوازنة المائية الجوفية من أجل تقسيم قطاعات الأرض إلى مساحات: $F = F_{no} + F_{he}$ ومن أجل فترة زمنية مُحددة. البحوث السابقة للتوازن (الدخل): مياه التسرب، ومياه السقاية ومياه الغسل، ومياه الأمطار المُضافة، والجريانات السطحية من الجهات المُختلفة. الاستهلاكات (الخرج) أي التدفقات المصرفة: تيارات المياه الجوفية إلى الجهات المختلفة والاستهلاك على التبخر والنتح. وبشكل عام معادلة المُوازنة المائية الجوفية تأخذ الشكل التالي:

$$\pm\Delta W_{gr} = (1-\eta)O_{op} + \alpha P + \beta M + \gamma\Pi - (U + T_p) + (\Pi_{np} - O) + (W_H - W_K) \quad (7\text{-}5)$$

حيث: $-\Delta W_{gr}; [\frac{m^3}{hr}]$ تغير احتياطي المياه الجوفية.

$-O_{op}; [\frac{m^3}{hr}]$ كمية مياه الري المنقولة إلى القطاع المُعين المُحدد.

$-\eta$ ثابت التأثير المُفيد (المردود) لنظام القنوات.

$-P; [\frac{m^3}{hr}]$ الأمطار الجوية.

$-M; \Pi; [\frac{m^3}{hr}]$ كمية مياه السقايات والغسل.

$-U; T_p; [\frac{m^3}{hr}]$ كمية المياه الجوفية المُستهلكة خلال الفترة الزمنية المُعينة على التبخر والنتح.

$-\Pi_{np}; O; [\frac{m^3}{hr}]$ جريان المياه الجوفية من الجوانب (التيارات المنُسابة ناقص التيارات الصاعدة) (الداخل ناقص الخارج).

$\alpha;\beta;\gamma$– ثوابت تُظهر باالتناسب نسبة الأمطار، ومياه السقاية ومياه الغسل الجارية إلى المياه الجوفية.

$W_H - W_K; [\frac{m^3}{hr}]$– تغير احتياطي الرطوبة في التربة أعلى من منسوب المياه الجوفية عند الارتفاع أو الانخفاض الأخير.

عند التوازن الإيجابي لتغير احتياطي المياه الجوفية القيمة: $+\Delta W_{gr}$ يرتفع منسوب المياه الجوفية إلى القيمة: [m]:

$$\Delta H = \frac{\Delta W_{cp}}{10^4 \delta} \qquad (7\text{-}6)$$

حيث: δ– ثابت صرف المياه (عند ارتفاع منسوب المياه بتأثير: δ الاستخدام الصحيح للمسامية الحرة للتربة أو عدم كفاية الإشباع).

إذا تبين أنه بحساب إجراءات مكافحة الملوحة لا يُمكن إيقاف ارتفاع منسوب المياه الجوفية المعدنية أو تثبيته عند العمق الحرج، فإنه يُمكن منع تملح الأرض فقط بالصرف.

7–4– الصرف الأفقي:

تُستخدم مُدتان في فترة عمل الصرف: الفترة الاستصلاحية والفترة الاستثمارية. مسألة الصرف في الفترة الاستصلاحية هي: خفض منسوب المياه الجوفية حتى القيم التي لا تمنع نمو المحاصيل الزراعية وتطورها. وإلغاء عميلة تحلل الأملاح المتراكمة وانتشارها في الطبقة المغذية للجذور حتى المحتوى الملحي فيها أصغر من درجة السُمية. وانتشار أملاح المياه الجوفية المعدنية: 1-3[g/l]. لا تتعلق عملية تملح التربة بعمق منسوب المياه الجوفية عند مثل هذا المحتوى من الأملاح ويتوقف التملح عملياً.

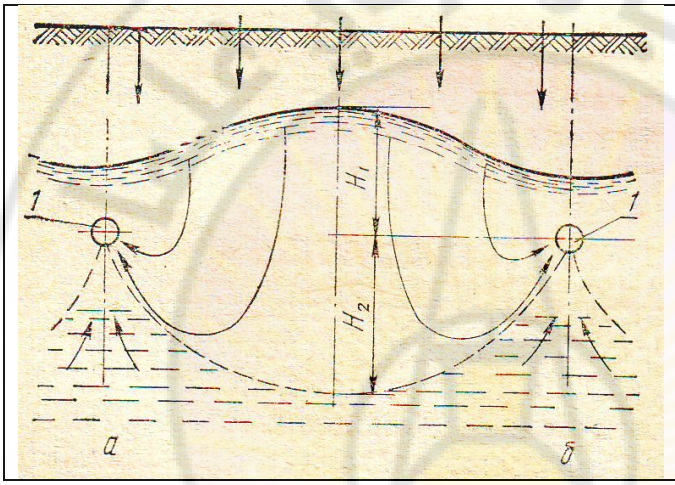
يُبين الشكل (7-2) مُخطط إزالة الأملاح من التربة ومن المياه الجوفية عند الصرف النظامي، عندما تتوزع المصارف في قطاع الري على مسافات مُتساوية تقريباً تتحول المياه الجوفية المعدنية عند وجود تغذية بالتسرب والصرف تدريجياً إلى مياه عذبة. بالتطابق مع المُخطط المُبين في الشكل (7-29) يُمكن تحديد عمق المياه الجوفية العذبة: H_2 عبر فواصل زمنية كبيرة تقريبياً من معادلة التوازن التالية:

$$(H_1 + H_2)\rho_n \approx H_2 \rho_M \qquad (7\text{-}7)$$

حيث: $\rho_n; \rho_M$ الكثافة الوسطية للمياه العذبة والمعدنية: $\rho_M = 1.01 - 1.04[\frac{ton}{m^3}]$.

تتشكل إزالة الملوحة للمياه الجوفية وجريانها على حساب تغذية المياه الجوفية بالمياه العذبة عند التغذية بمعدلات سقاية زائدة (عند الري وفق نظام الغسل)، إجراء سقايات الغسل وجريان المياه المُتسربة ومياه الأمطار الجوية.

يُمكن أن يتحقق تسريع إجراء الغسل بتغذية معدلات الغسل الكلية فقط عند وجود الصرف. يتعلق معدل الغسل الكلي بنوع الأملاح وبدرجته، وبخواص التربة، وبالعمق الحسابي لطبقة إزالة الملوحة، وبزمن الغسل، وبغزارة صرف مياه الغسل بالمصارف.



الشكل (7-2): مُخطط إزالة الملوحة من التربة ومن المياه الجوفية عند الصرف النظامي: a– مياه عذبة، b– مياه معدنية، 1– مصارف

يُمكن تحديد مُعدل الغسل الصافي الكلي عند عمق مُنتظم للملوحة الأولية وفق معادلة أفرياناف الآتية:

$$N_H = \left(2A\sqrt{D^* t} + x\right)m \qquad (7\text{-}8)$$

حيث: N_H; $[m]$– معدل الغسل الصافي في شكل طبقة مياه.

D^*; $[\frac{m^3}{day}]$– ثابت الانتشار بالحمل.

t;[day]– زمن الغسل.

x;[m]– عمق طبقة الغسل.

m– مسامية التربة بالنسبة المئوية من الحجم.

A– بارامتر يتعلق بدرجة التملح المطلوبة في نهاية عملية الغسل:

$$\ddot{C} = \frac{C - C_n}{C_0 - C_n} \cong \frac{C}{C_0} \qquad (7\text{-}9)$$

C_0; [%]– محتوى الأملاح الأولي %.

C;[%]– محتوى الأملاح المسموح به %.

C_n; [%]– مياه السقاية المعدنية %.

يُحدد ثابت الانتشار بالحمل وفق مُعطيات الغسل التجريبية.

يتغير معدل الغسل الكلي من: 4000 حتى: 35000; [$\frac{m^3}{day}$]– وفق العلاقة بنوع الملوحة وبدرجته من أجل سماكة واحد متر للتربة. يُنصح عند الغسل إعطاء مُعدل الغسل الكلي عدة مرات مُنفصلة وليس مرة واحدة، حيث تنحل الأملاح بصورة أفضل عند الأسلوب المُتقطع للغسل. من أجل تسريع صرف المياه في فترة الغسل بالإضافة إلى الغسل الدائم يُنصح بإنشاء الصرف المؤقت على شكل قنوات مكشوفة بعمق: 0.8-1.2[m] وبمسافة: 50-100[m] فيما بينهما.

يُمكن انتشار الأملاح في الطبقة المُغذية للجذور خلال عام إلى ثلاثة أعوام بعد إنشاء الصرف المؤقت، ويُمكن أن تصل فترة استمرار الفترة الاستصلاحية حتى: عشرين إلى خمس وعشرين عاماً.

يُحقق الصرف في الفترة الاستثمارية تهوية ملحية للمساحة المروية بطريقة الحفاظ على جريان المياه الجوفية كي تُزال المحاليل الملحية. يُمكن الصرف أن يتحول إلى معدات للري تحت سطح التربة إذا أُنشئ في شبكة الصرف مُنشآت مساند مائية أو آبار مُعايرة،. عند ذلك في فترة النمو تعمل المصارف في المسند المائي على حفظ منسوب المياه الجوفية على عمق: 0.5-1[m] من سطح التربة وتُحقق تغذية مياه جوفية للنظام الجذري للمحاصيل، أما في الفترة خارج فترة النمو يُحافظ على منسوب المياه الجوفية في المصارف قدر الإمكان أكثر انخفاضاً من الإشارات المُبينة.

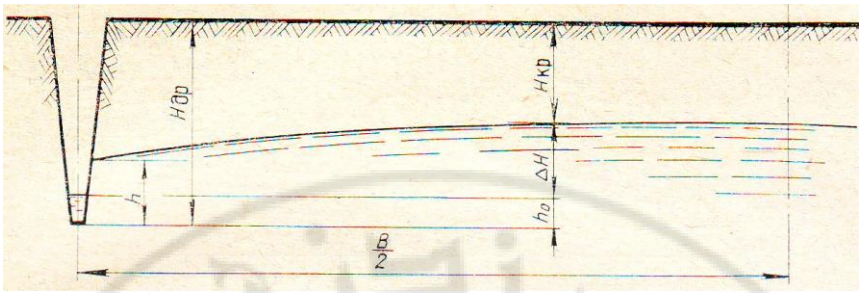
عمق المصارف والمجاري: يُنصح بتحديد عمق المصرف انطلاقاً من الشرط أن يكون منسوب المياه الجوفية بالوسط بين المصارف في الفترة الأكثر شدةً للتبخر والنتح والواقعة على عمق يُساوي العمق الحرج أو أكبر منه بعض الشيئ. بهذا الشكل يُحدد عمق تثبيت المصرف الشكل (7-30) من المعادلة الآتية:

$$H_{DP} = H_{KP} + h_0 + \Delta H \qquad (7\text{-}10)$$

حيث: H_{KP}– العمق الحرج.

h_0– عمق المياه في المصرف.

ΔH– ارتفاع منسوب المياه الجوفية في الوسط بين المصارف فوق منسوب المياه فيها.



الشكل (7-3): مُخطط تحديد عمق المصرف.

توجد قيمة: ΔH بالتطابق مع الحساب المطلوب لمنسوب المياه الجوفية حتى العمق: H_{KP} أو بالتناسب مع الحساب على الحفاظ على منسوب مُعين لها في فترة النمو، وتتحدد قيمة: h_0 وفق التدفق الجاري إلى المصارف عند الضغط الفائض: ΔH . تُستخدم عادةً: $h_0 = 0.25 - 0.5[m]$ (من أجل المصارف المكشوفة) و: $\Delta H = 0.5 - 1[m]$. عندها عندما: $H_{KP} = 1.5 - 2.5[m]$ فإن: $H_{DP} = 2.5 - 4[m]$.

بافتراض أنه فقط عند مثل هذا العمق للمصارف لا يكون هناك تملح للطبقة المُغذية للجذور في فترة النمو. يُحدد عمق المصارف وفق العلاقة بالشروط الموضعية بالاعتماد على الحسابات التقنية الاقتصادية مع الأخذ بالاعتبار التطبيقات العملية المُعينة.

منسوب المياه في المجرى في مواضع التلاقي مع المصارف وللتخلص من التدفئة يُنصح بتوضع المصارف أقل بمقدار: 0.05[m] أسفل من منسوب المياه في المصارف. لذلك العمق الأصغري للمجرى يُحدد من المعادلة التالية:

$$H_{KO} = H_{DP} + h_{0KO} = h_{0DP} + 0.05 \qquad (7\text{-}11)$$

حيث: $H_{KO}; [m]$ – العمق الأصغر للمجرى.

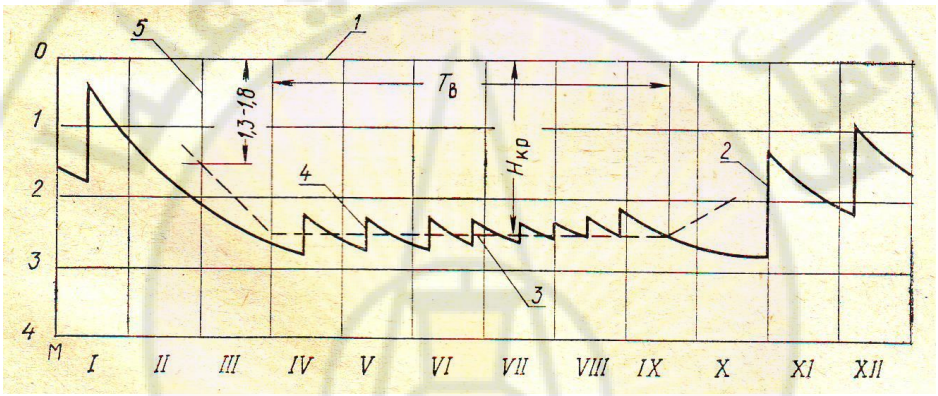
$H_{DP}; [m]$ – عمق المصرف.

$h_{0KO}; [m]$ – منسوب المياه في المجرى.

$h_{0DP}; [m]$ – منسوب المياه في المصرف.

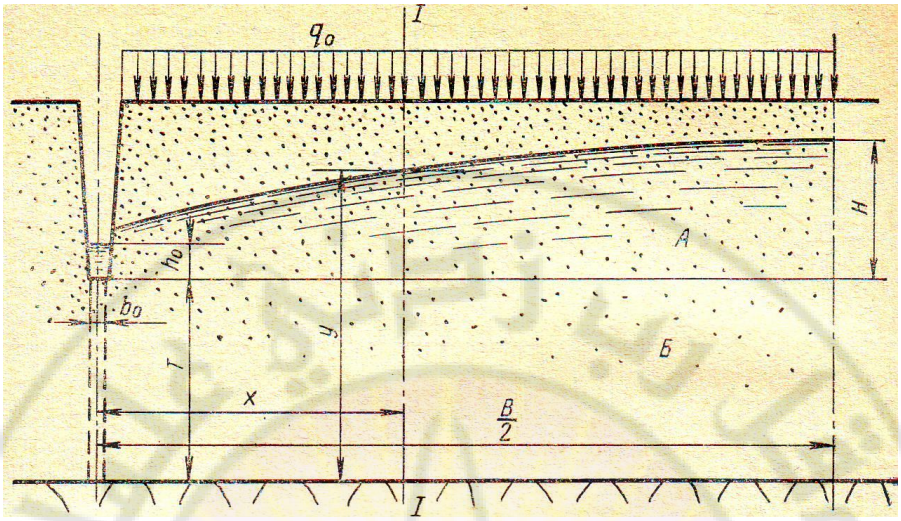
المسافة بين المصارف: تُختار المسافة بين المصارف بحيث يُحقق الصرف الحفاظ على منسوب المياه الجوفية على عمق لا يقل عن العمق المطلوب. يُمكن منسوب المياه الجوفية وقتياً أن يرتفع في المصارف الأرضية نتيجةً لجريان مياه الغسل ومياه السقاية، والأمطار الجوية، والجريانات من الخارج. مثال يُبين الشكل (7-4) المُخطط البياني لتغير منسوب المياه الجوفية وفق الزمن.

يُنصح بإيجاد المسافة بين المصارف من أجل الشروط الوسطية لعمل الصرف في فترة النمو بفرض وضعية حركة المياه الجوفية والتحقق في فترة الغسل. هذا يعني أن الصرف يجب حسابه على صرف المياه الجوفية عند تغذية مستمرة ومنتظمة وفق الزمن وعند الحفاظ على عدم تغير منسوبها في فترة النمو. تتحدد القيمة الوسطى للجريان من واحدة المساحة في واحدة الزمن (مودول الجريان للدريناج:q_0) بالاعتماد على حسابات التوازن. هذه الطريقة لدرجة كبيرة نسبياً مُشترطة. نجد المسافة الأصح بين المصارف من شرط الزمن المسموح به لمُعاملة منسوب المياه الجوفية بعد ارتفاعه المؤقت عند الغسل، والسقاية والمطر وذوبان الثلوج وغيرها.



الشكل (7-4): مثال لمُخطط تغير منسوب المياه الجوفية: 1- سطح الأرض، 2- ارتفاع المنسوب عند الغسل، 3- الانخفاض المطلوب لمنسوب المياه الجوفية، 4- ارتفاع المنسوب عند السقايات، 5- بداية الأعمال الزراعية، – زمن فترة النمو.

لندرس مسألة جريان المياه إلى المصرف من مُجمع (حوض) مائي خاص في شروط النظام المستقر. نفترض أن المصرف غير مُعلق (وهي الحالة الأكثر شيوعاً)، لكن شرطياً عمقه حتى المسند المائي. بالتطابق مع الشكل (7-5) يُمكن كتابة أن التدفق الجاري عبر المقطع I-I يُساوي:



الشكل (7-5): مُخطط تحديد جريان المياه إلى المصرف من المُجمع (الحوض) المائي.

$$q_0\left(\frac{B}{2}-x\right)=k_\varphi y\frac{dy}{dx} \qquad (7\text{-}12)$$

بعد إجراء التكامل نحصل على أن الجريان من جهتين إلى المصرف يُساوي:

$$Q'=\frac{4k_\varphi\left(H^2-h_0^2\right)}{B}+\frac{8k_\varphi T(H-h_0)}{B} \qquad (7\text{-}13)$$

يُعدّ الحد الأول في الجزء الأيمن لهذه المعادلة الجريان من المجال (المنطقة) A منطقة أعلى المصارف، أما الحد الثاني فيُعدّ من المجال b منطقة أسفل المصارف. سيكون الجريان الحقيقي أي الفعلي أصغر من المحسوب في المعادلة (7-96) بسبب ضياعات الضغط الإضافية في المجال b. يُحسب تأثير هذه الضياعات على التدفق بإدخال الثابت:$\propto'$ في المعادلة (7-96)، وعندها الجريان من جهتين إلى المصرف المُعلق:

$$Q'=\frac{4k_\varphi\left(H^2-h_0^2\right)}{B}+\frac{8k_\varphi T(H-h_0)}{B}\propto' \qquad (7\text{-}14)$$

ووفق أفرياناف عندما: $\frac{B}{T}\geq 3$ فإن:

$$\propto'=\frac{1}{1+\frac{8T}{\pi B}ln\frac{1}{sin\frac{\pi d}{2T}}}\cong\frac{1}{1+5.88\frac{T}{B}log\frac{2T}{\pi d}} \qquad (7\text{-}15)$$

حيث: d– قطر المصرف.

من أجل المصارف المكشوفة يُنصح باستخدام: $d=0.5b_0'+h_0$. لأن المصارف الأنبوبية المُغلقة عادةً تُجهز بمصافٍ (بمرشحات)، هذا يعني من أجلها في المعادلة (7-98)

يجب وضع ليس قطر المصرف: d وإنما: $d' = 0.5b'_0 + h'_0$، حيث: b'_0– عرض النفق، h'_0– الارتفاع من قعر النفق حتى أعلى الأنبوب (الماسورة).

يُمكن تحديد المسافة بين المصارف B عند معرفة معدل الصرف: q_0 من المعادلة (7-98).

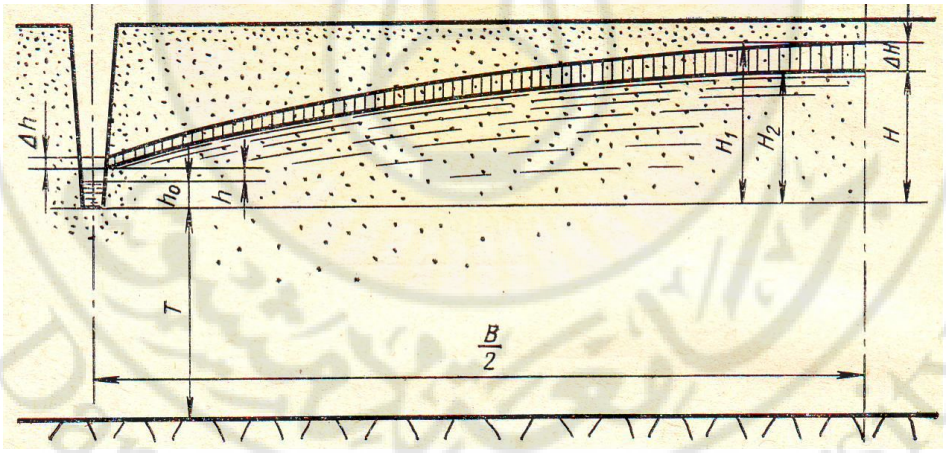
من أجل المصارف المُستندة على الطبقة الكتيمة (عندما: T=0) الجريان من جهتين يُساوي:

$$Q = q_0 B = \frac{4k_\varphi(H^2 - h_0^2)}{B} \qquad (7\text{-}16)$$

أو المسافة بين المصارف تُساوي:

$$B = 2\sqrt{\frac{k_\varphi}{q_0}(H^2 - h_0^2)} \cong 2H\sqrt{\frac{k_\varphi}{q_0}} \qquad (7\text{-}17)$$

عند مُعاملة منسوب المياه الجوفية (هذا يعني عند النظام غير المُستقر) يحدث جريان المياه إلى المصرف أيضاً ذاتياً من المُجمع المائي، لكن في هذه الحالة هو غير مُنتظم وفق المساحة ومُتغير حسب الزمن. يكون الارتفاع الأعظمي لمنسوب المياه الجوفية في الوسط بين المصارف، ويكون الارتفاع الأصغري مُباشرةً عند المصرف الشكل (7-6). يُمكن حل المسألة القريبة عن مُعاملة منسوب المياه بالشكل التالي. الجريان إلى المصرف خلال الزمن: Δt.



الشكل (7-6): مُخطط مُعاملة منسوب المياه الجوفية.

$$Q_H \Delta t = \psi Q_Y \Delta t = \zeta \Delta H B \delta \qquad (7\text{-}18)$$

حيث: $Q_H; Q_Y$– التدفق الجاري إلى المصرف عند النظام غير المُستقر وعند النظام المُستقر عند ذات الضغط فوق المصرف: H.

ψ– ثابت يتميز بالعلاقة بين التدفقات: $Q_H; Q_Y$ (وسطياً: $\psi = 0.9$).

ΔH– منسوب المياه الجوفية في وسط المسافة بين المصارف خلال الزمن: Δt.

B– المسافة بين المصارف.

δ– ثابت صرف المياه.

ζ– ثابت يتميز بعدم انتظام منسوب المياه الجوفية وفق العرض: B $(\zeta = 0.8 - 0.85)$.

يُمكن وفق المعادلة (7-18) تحديد زمن مُعاملة منسوب المياه الجوفية (عند قيم معلومة: $H_1; H_2; B$)، أو المسافة بين المصارف، أو ارتفاع المنسوب أيضاً.

حل الباحث بوسينسكي مسألة مُعاملة منسوب المياه الجوفية عند توضع المصرف على الطبقة الكتيمة. المُطابقة للحل التالي:

$$B = 2.11\sqrt{\frac{k_\varphi t H_1 H_2}{\delta(H_1 - H_2)}} \qquad (7\text{-}19)$$

عند حساب ارتفاع منسوب المياه الجوفية أو مُعاملتها لا بُد من الأخذ بالاعتبار أن ثابت صرف المياه أو عدم كفاية الإشباع: δ حتى من أجل أحد، ولا يُعدّ النوع ذاته من التربة ثابتاً. وهو يتعلق بمنسوب المياه الجوفية البدائي، وبعمق انخفاضه أو ارتفاعه، وبسرعة الانخفاض أو الارتفاع ... الخ. عند التوضع العميق للمياه الجوفية يُساوي ثابت صرف المياه للتربة الفرق بين السعة الرطوبية الكاملة: W_N والسعة الرطوبية الصغرى: W_{HB}:

$$\delta = W_N - W_{HB} \approx n - W_{HB} \qquad (7\text{-}20)$$

حيث: n– مسامية التربة.

من أجل التربة الرملية الخفيفة والتربة المتوسطة: $\delta = 0.1 - 0.2$، أما من أجل التربة الثقيلة: $\delta = 0.1 - 0.2$.

بسبب المقاومة عند مدخل تيار المياه الجوفية إلى المصارف المكشوفة تبتعد إلى جوانب القناة لأعلى من منسوب المياه، أما في المصارف المُغلقة غالباً تعمل كمُعلقة. الفرق بالمناسيب بين نقطة الخروج لمنسوب المياه الجوفية إلى جوانب المصرف ومنسوب المياه فيها يُسمى ارتفاع الفلطحة الجانبي أو الارتفاع الجانبي، الفرق بين تيار المياه الجوفية مُباشرةً فوق المصرف ومنسوب المياه في المصرف المُغلق يُسمى ارتفاع التعليق. المياه المُستقبلة بصورة خاصة في المصارف المُغلقة حتى الأن دراستها ضعيفة، كما أن البحوث عن حركة المياه في المناطق الشعرية غير كافية.

تُعدّ العوامل الأساسية التي تُحدد المسافة بين المصارف ثابت التسرب للتربة وعمق المصرف. بيّن أفرياناف القيم التقريبية التالية B عندما: $H_{DP} = 3[m]$. من أجل التربة الثقيلة $(k_\varphi < 0.5\left[\frac{m}{day}\right]300)$، من أجل التربة المتوسطة: 300-500[m] ومن أجل التربة الخفيفة والرملية: 500-800[m].

التدفقات الحسابية للمصارف وللمجاري: تتغير تدفقات المصارف والمجاري من القيم العُظمى عند الغسل حتى القيم الصُغرى في نهاية فترة النمو. يُنصح باستخدام تدفقين التدفق النظامي (الطبيعي) والأعظمي من أجل الحسابات:

$$Q_{HO} = q_{0cp}F; \dots; Q_{max} = q_{0max}F \qquad (7\text{-}21)$$

حيث: q_{0cp}– القيمة الوسطية لمعدل الصرف خلال فترة النمو المُحددة بالاعتماد على الحسابات المُعينة وعلى حسابات التوازن.

q_{0max}– القيمة العُظمى لمعدل الصرف المُحددة حسابياً أو نتيجةً لتحليل المُعطيات وفق تشابه تماثل الحجوم.

F– المساحة التي يخدمها المجرى أو المصرف.

عند الصرف النظامي:

$$q_0 = \frac{Q}{B} \qquad (7\text{-}22)$$

حيث: Q– الجريان من جهتين في واحدة الطول للمصارف.

B– المسافة بين المصارف.

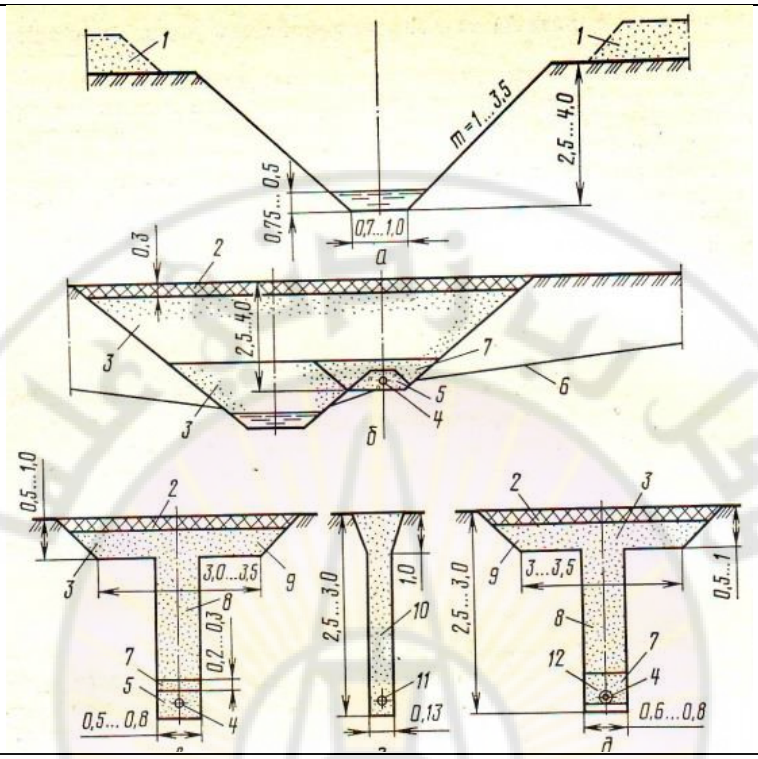
يزداد تدفق المصارف والمجاري وفق الاتجاه من البداية إلى المصب. يُساوي تدفق المجرى في أي مقطع مجموع تدفقات المصارف التي تصب فيه، المُتوضعة أعلى المقطع المدروس (إذا لم يُؤخذ بالاعتبار تيار المياه الجوفية، الجاري مُباشرةً إلى المجرى، والصرف الأصغري). يُؤخذ بالاعتبار أن الغسل في كامل المساحة: F يُمكن أن لا يكون بذات الوقت عند تحديد التدفقات العُظمى.

تتغير قيمة: q_{0cp} تقريباً في المجال:[0.05-0.15[l/s.hr]، أما قيمة: q_{0max} يُمكن أن تصل حتى: [0.3-0.6[l/s.hr]. يُستخدم التدفق من أجل الحسابات إذا حققت المجاري أو المصارف وشبكة جمع المياه وصرفها الوظيفة المطلوبة منها، يُساوي مجموع تدفق الصرف النظامي وتدفقات الصرف المُطابقة لقنوات الري من أجل فترة النمو.

تصميم المصارف والمجاري والفرضيات الأساسية لحساباتها الهيدروليكية:

تملك المصارف والمجاري المكشوفة عادةً مقطع عرضي على شكل شبه منحرف الشكل (7-7). يُحدد عرض المصرف من الأسفل في المجال: [m]1-0.7 وفق العلاقة بنوع الآلات المُستخدمة عند الإنشاء. تُستخدم جوانب المصرف أيضاً بحيث تكون كما لجوانب قنوات الري، هذا يعني تُساوي: 3.5-1. يتحدد عمق امتلاء المصارف والمجاري وفق معادلات الحركة المُنتظمة عند ثابت خشونة: 0.035-0.03. يُنصح بتحديد الميل الأصغري للمصرف: 0.0005 وللمجرى: 0.00003. يتم التحقق من شبكة قنوات الصرف فقط على الانجراف أو التعرية (لا يتم التحقق منها على الانسداد) عند وُضع المصارف أو المجاري في تربة رملية ناعمة أو طينية بحيث لا تقل السرعة الوسطية عند التدفق النظامي عن: [m/s]0.4..

الصرف المُغلق (الأنبوبي المُغطى) يُصنع أو يُنشأ من أنابيب الخزف، أو من أنابيب القرميد، أو من الأسبستوس الإسمنتي، أو من البيتون، أو من البيتون المسلح، أو من البلاستيك. تُستخدم أنابيب الخزف الأكثر شيوعاً بطول [cm]60-33 وبقطر: [cm]20-5. تجري المياه إلى المصرف عبر شقوق بعرض: [mm]3-1 بين المواسير (الأنابيب). تُوضع حول الأنبوب مصفاة (مُرشحات) رملية (غالباً بطبقة وحيدة وبسماكة ردمية: [cm]20-10) أو من مواد ليفية معدنية كي لا تُسد المصارف. تُستخدم في الأساس مواد ألياف معدنية (صوف زجاجي، خيش أو جنفيص وغيرهم) من أجل الحماية من انسداد المصارف البلاستيكية. يُنصح بإرجاع الردمية الترابية إلى النفق بطبقة مكبوسة كي نمنع جريان المياه الملوثة نهائياً إلى المصرف. يُبين الشكل (7-7) بعض المقاطع العرضية للمصارف المُغلقة. يُلاحظ انسداد المصارف من أنابيب الخزف بشكل عام أقل مما عند الأنابيب القابلة للفك والتركيب السريع. يسمح احتمال استخدام أنابيب عادية من البلاستيك في مُعظم الحالات بالكامل بعدم إنشاء المُرشحات، وفي حالات أخرى تُعمل لها المُرشحات بسهولة.



الشكل (7-7): المقاطع العرضية للمصارف: a–مكشوف، b– مُغلق مُصمم في التربة المُشبعة بالمياه، c– مُغلق مع مصفاة رمل – حصى، d– بلاستيكي دون نفق، e– مُغلق مع مصفاة معدنية – أسطوانية، 1– مشط ترابي، 2– طبقة ردمية خصبة، 3– إرجاع الردمية باستخدام المكننة، 4– ماسورة خزفية، وأسبستوس أو بلاستيكية بقطر: [*mm*];200...100 ، 5– مصفاة رملية حبيبية، 6– شريحة داعمة في فترة وضع المصارف، 7– إرجاع الردمية يدوياً، 8– نفق، 9– منحدر، 10– شق، 11– ماسورة بلاستيكية بقطر: [*mm*];100...80 مع مصفاة من الصوف الزجاجي، 12– صوف زجاجي. القياسات بالمتر.

يجب ألاّ يقل ميل أنابيب المصارف بقطر: [mm]100-50 عن: 0.002، ويجب أن لا يقل عن: 0.015 بقطر:[mm]200-125 . ويكون الميل الأصغري: 0.001 من أجل المجاري الأنبوبية عنماد قطرها أكبر من: [mm]200.

يُجرى الحساب الهيدروليكي للمصارف المُغلقة وللمجاري أيضاً وفق معادلات الحركة المُنتظمة، علماً أن التدفق المُنتظم للأنبوب يُدرس كما دون ضغط عند الامتلاء الكامل أو الامتلاء الجزئي، أما عند الخروج الأعظمي للتدفق فهي تعمل كما عند الضغط. يُفترض أن

التدفقات الحسابية غالباً عند حساب قطر الأنبوب تُجرى فيها عند الامتلاء الكامل وعند الميل الهيدروليكي، المُساوي ميل الأنبوب، وعندها:

$$\frac{Q}{\sqrt{i}} = \omega C\sqrt{R} = \frac{\pi d^2}{4}\frac{1}{n}\left(\frac{d}{4}\right)^{y+0.5} \qquad (7\text{-}23)$$

تزداد أقطار المصارف والمجاري تدريجياً وفق معيار زيادة التدفقات. من أجل الأنابيب من الخزف والقرميد ثابت الخشونة: n=0.012-0.015، ولأنابيب الأسبستوس: n=0.011-0.012، ولأنابيب البيتون: n=0.012-0.016 وللأنابيب البلاستيكية: n=0.01 .

يتغير طول المصرف المُغلق كما المكشوف أيضاً وفق العلاقة بالشروط الموضعية من: 200[m] حتى: 1000[m].

تُستخدم آلات الحفر (إكسكافاتر) بمجرفة وحيدة من أجل إنشاء المصارف المكشوفة، ويُستخدم إكسكافاتر مُتعدد المجارف من أجل حفر الأنفاق أو الخنادق لوضع المصارف المُغلقة فيها. وتُستخدم بصورة شائعة آلات خاصة لوضع أنابيب الصرف على عدة مراحل عند إنشاء الصرف المُغلق. تسمح آلات وضع أنابيب الصرف ليس فقط بالكامل مكننة العمل عند إنشاء الصرف، ولكن تُخفض كلفة العمل بصورة ملموسة. تُجرى أعمال تجريبية وفق وضع الصرف البلاستيكي بإسلوب سريع وتثبيت المصارف في الشقوق أو في الأنفاق الدهليزية.

مُخططات توزيع المصارف:

يُمكن تخطيط المصارف: عرضياً وطولياً. في الحالة الأولى تتوزع المصارف بزاوية حادة على الأفق، أما في الحالة الثانية تتوزع على طول الميل الموضعي. بافتراض أن المصارف مُتوضعة عرضياً على الميل فإنها بصورة أفضل تلتقط تيارات المياه الجوفية وفعاليتها أكثر تأثيراً. لذلك المُخطط العرضي المبدئي لتوزيع المصارف هو فقط عند الميل الموضعي الصغير، وعندما لا يُمكن تحقيق الميل الطبيعي الأصغري المسموح به للمصارف عند حفرها بزاوية حادة على الأفق، يتم التحول لاستخدام المُخطط الطولي. إذا أُعطيت المصارف ميلاً اصطناعياً فإن ذلك دائماً مُتعلق بزيادة حجم أعمال الإنشاء ليس فقط المصارف وإنما المجاري أيضاً.

اختيار نوع المصارف:

تتطلب المصارف المكشوفة في كل عام تنظيفها من الرواسب والنباتات، فهي تستهلك حتى: 8-10% من مساحة السقاية، وتزداد صعوبةً أعمال المكننة الزراعية، وتُؤدي لضرورة إنشاء عدد كبير من الجسور ومن المعابر الماسورية (العبارات) عند الإنشاء. بالإضافة لذلك

بصعوبة تتوافق شبكة الصرف المكشوفة مع توضع قنوات الري. ويجب توزيع المصارف والمجاري وفق حدود قطاعات السقاية بجانب قنوات الري وربطها مع قنوات جمع المياه – الصرف. وتزداد الضياعات على التسرب من قنوات الري عند ذلك، وتزداد سوءاً شروط جودة قنوات الصرف، وتمتلئ المصارف والمجاري غالباً بمياه الصرف وتتوقف عن تحقيق وظيفتها.

يمتلك الصرف المُغلق **سيئاته الخاصة:** صعوبة أكبر لشروط إجراء الأعمال (خاصةً عند الأعماق الاصطناعية الكبيرة نسبياً للمصارف وللمجاري وعند وضع المصارف في التربة المُشبعة بالمياه) وكلفة إنشاء مُرتفعة.

يُنصح أن تكون المصارف الدائمة مُغلقة. ويُسمح بالمصارف المكشوفة فقط عندما المسافة بينهما لا تقل عن: [m]1000. ويُمكن أيضاً ربطها أو اقترانها مع الكشوفة والمُغلقة. تُنشأ المجاري عادةً مكشوفة ومُغلقة من أجل صرف المياه المُجمعة ومياه الصرف. يُفضل عدم ربط شبكة الصرف مع شبكة جمع – صرف المياه.

المُنشآت المائية على شبكة الصرف:

الأكثر شيوعاً على شبكات الصرف المكشوفة هي مُنشآت الطرق: الجسور ومُنشآت العبور (العبّارات). تُنشأ مُنشآت إسناد المياه عند ضرورة مُعايرة منسوب المياه الجوفية، غالباً ماسورية (عبّارة). ويُمكن إنشاء انخفاضات لتسريع التدفق عند وجود انحدارات كبيرة على المجاري. تُجمع جميع المُنشآت عادةً (عناصر من البيتون المُسلح) وتُنجز وفق نوع تصميم المشروع، وهي لا تختلف عن المُنشآت العادية على قنوات الري وفق التصميم.

يجب حفر الأبار (حفر رأسية) في المُنشآت على الشبكة المُغلقة قبل كل شيئ: غرف مراقبة، حفر مُنخفضة، غرف مُعايرة، غرف تنظيف. تُنشأ غرف التفتيش أو المراقبة من أجل مراقبة عمل المصارف والمجاري وتنظيفها في حالة انسدادها. تُوزع الحفر في القطاعات المستوية عند ذات الميل كل: [m]200-150. بالإضافة إلى ذلك تُثبت عند مُنعطفات المصارف أو المجاري في المُخطط الأفقي. تُجمع الحفر من البيتون المُسلح الحفرة بقطر: [m]1 وبارتفاع: [m]0.7. تُسمى الحفر المُنخفضة بالحفر التي فيها ثقوب الدخول للمصرف أو للمجرى يقع أعلى من ثقوب الخروج، أما المُعايرة هي الحفر المُجهزة بتجهيزة خاصة من أجل حجز تيار مياه الصرف أو حفظه. تُنشأ حفر الغسيل عند بداية المصارف من أجل غسلها. تُشكل مصبات مائية في مواضع هبوط المصارف وانخفاضاتها إلى المجاري إذا كانت المصارف مُغلقة والمجاري مكشوفة. ويجب تثبيت محطة ضخ على المجاري عند عدم صرف المياه بالانسياب الذاتي.

المصارف اللاقطة:

يُفسر منسوب المياه الجوفية المُرتفع في أراضي الري في بعض الحالات أن التيارات المائية قادمة من الهضاب ومن جهات الأنهار ومن جهات القنوات الضخمة. يُمكن منع جريان المياه الجوفية من جميع الجهات بطريقة إنشاء مصارف لاقطة عميقة.

المصارف في الأراضي الغدقة

إن وظيفة إنشاء الصرف عند استصلاح الأراضي الغدقة هي خفض منسوب المياه الجوفية حتى القيم التي تُحقق تهوية نظامية للطبقة المغذية للجذور وتشكيل شروطٍ من أجل صرف المياه الجوفية في هذه الطبقة خلال فترة النمو. يتطلب منسوب المياه الجوفية تحت سطح الأرض أن يكون خلال فترة النمو بمقدار: 0.6-1.2[m] (وفق العلاقة بنوع المحاصيل وبخواص التربة) من أجل مُعظم المحاصيل الزراعية. يُسمى هذا العمق بمعدل الصرف. تُنشأ المصارف في الأراضي الغدقة بعمق: 1-1.5[m] وعلى مسافة فيما بينها: 50-100[m].

7-5- الصرف الشاقولي:

يتحقق غالباً الصرف الشاقولي بإنشاء الأبار الأنبوبية أي من المواسير. لا بُد من شروط طبيعية مُحددة لإنجاح عمل المصارف الشاقولية: وجود أفق عميق حاوٍ للمياه ذي نفاذية كافية، ووجود رابطة بين المياه الجوفية لكامل سماكة التربة بدأً من السطح حتى الأفق الحاوي للمياه. إذا الأفق العلوي للمياه الجوفية يستند على الطبقة الكتيمة، فإن سحب المياه باستخدام المضخات من الأفق السفلي لا يُؤدي لانخفاض منسوب المياه الجوفية. يُمكن بالطبع استخدام الصرف الشاقولي أيضاً عند طبقات التربة المُتجانسة. إذا إنشئ الصرف الشاقولي في طبقة التربة المتجانسة ذات النفاذية الضعيفة، فإن تأثير الأبار المُستقلة سيظهر فقط على كامل مساحة صغيرة مُحددة. من المناسب استخدام الصرف الأفقي في هذه الحالة اقتصادياً.

يتعلق توزيع الآبار بالتضاريس الموضعية، وبتوضع المياه الجوفية وبمصادر تغذيتها. تُوزع الآبار تقريباً بانتظام أو بالتساوي وفق المساحة عند التضاريس المستوية وعند ذات العمق لتوضع منسوب المياه الجوفية. تُوزع الأبار بشكل رئيسي في المُنخفاضات إذا الموضع مُقتطع وامتلك انخفاضات مُغلقة. وتُوزع في خط أو خطين على حدود المساحة المحمية ناظمياً على اتجاه تيار المياه الجوفية عند وجود تيارات للمياه الجوفية من الجهات المُختلفة أيضاً.

نظام عمل الآبار:

تُسحب المياه باستخدام المضخات من الآبار باستمرار خلال كامل العام أو أيضاً بانقطاعات بفترات مُحددة. تعمل الآبار في الأساس في فترة النمو عند استخدام المياه الجوفية للري. وتضخ الآبار المياه على مدار اليوم عند صرف المياه أيضاً. تعمل الأبار اللاقطة باستمرار في مُعظم الحالات عملياً. يتعلق نظام عمل الأبار لدرجة كبيرة نسبياً بشروط التغذية بالمياه الجوفية. من أجل المصارف اللاقطة المُميزة بالتغذية الخارجية – تيارات المياه الجوفية من مُختلف الجهات. لذلك على سبيل المثال: كي لا يُسمح بارتفاع منسوب المياه الجوفية إلى مساحة الري، ضخ المياه من أبار الصرف الشاطئي يجب أن يكون أكثر غزارة عند مناسيب مُرتفعة أكثر في النهر. لا تملك الجريانات من الجهات المُختلفة أهمية ملموسة كحقيقة عند الصرف النظامي. يحصل إشباع إضافي من المياه الجوفية في هذه الحالة ويتذبذب منسوبها على حساب التغذية الداخلية: كالأمطار الجوية، وجريانات مياه الغسل، ومياه السقاية والمياه المُتسربة.

يُمكن حساب الصرف النظامي إما على الحفاظ على منسوب المياه الجوفية عند مناسيب مُحددة (هذا يعني على صرف المياه الفائضة فقط)، أو أيضاً على المعاملة التدريجية للجريانات الاحتياطية السابقة لها (عند استخدام المياه الجوفية للري).

يجب أن يُجرى الضخ بغزارة أكبر عند الغسل وفي الفترة من الغسل حتى بداية النمو من أجل الحفاظ على منسوب المياه الجوفية عند مناسيب مُرتفعة بصورة كافية.

حركة المياه الجوفية في منطقة تأثير الآبار غالباً غير معلومة. هذا يُفسر عدة عوامل: دورية إجراء الضخ، وعدم انتظام التغذية بالمياه الجوفية وفق الزمن، وتغير منسوب المياه الجوفية في الأبار وغيرها. لكنه عند حساب الأبار تُفترض حركة المياه الجوفية معلومة وهذا التسامح مقبول به بالكامل.

جريان المياه الجوفية إلى بئر واحد عند التغذية من مُجمع مائي ذاتي:

سنفترض أن التغذية بالمياه الجوفية ستحدث بانتظام وفق المساحة، والمياه الجوفية السطحية تبقى ثابتة. عند ذلك التدفق إلى البئر:

$$Q = q_0 \pi R^2 \qquad (7\text{-}24)$$

حيث: q_0– معدل الصرف.

R– نصف قطر تأثير البئر، أي المسافة من محور البئر حتى المقطع الذي فيه الميل الحر لسطح التيار المائي يُساوي الصفر.

بالتطابق مع الشكل (7-8) من أجل البئر في تربة متجانسة يستند على الطبقة الكتيمة (كما يُسمى المكشوف بالكامل)، يُمكن كتابة:

$$Q_r = q_0\pi(R^2 - r^2) \qquad (7\text{-}25)$$

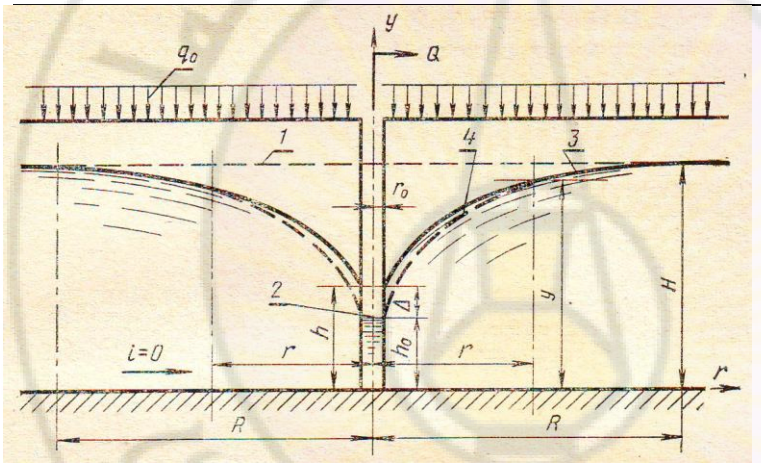
أو:

$$Q_r = 2\pi r y k_\varphi \frac{dy}{dr} \qquad (7\text{-}26)$$

حيث: Q_r– التدفق المار عبر جدران الأسطوانة، بنصف قطر: r وبارتفاع: y.

k_φ– معامل النفاذية.

$\frac{dy}{dr}$– ميل منحني الخمول على مسافة: r من محور البئر (المسافة الهيدروليكية).



الشكل (7-8): مخطط جريان المياه إلى البئر الكامل في طبقة التربة الحاوية للمياه اللاضاغطة: 1- المنسوب الستاتيكي (السكون)، 2- المنسوب الديناميكي، 3- منحني الحمول الفعلي، 4- منحني الخمول الحسابي.

بمساواة الأطراف اليمنى للمعادلتين (7-25) و (7-26) نجد أن:

$$Q_r = q_0\pi(R^2 - r^2) = 2\pi r k_\varphi y \frac{dy}{dr} \qquad (7\text{-}27)$$

بإجراء التكامل وبالتعويض في المجال: R,y نجد أن:

$$q_0\pi\left(R^2 ln\frac{R}{r_0} - \frac{R^2 - r_0^2}{2}\right) = \pi k_\varphi (H^2 - h_0^2) \qquad (7\text{-}28)$$

بالأخذ بالاعتبار المعادلة (7-111) وبإهمال القيمة: r_0^2 بالمقارنة مع: R^2 نحصل على:

$$Q = \frac{\pi k_\varphi (H^2 - h_0^2)}{ln\frac{R}{r_0} - \frac{1}{2}} = \frac{1.36 k_\varphi (H^2 - h_0^2)}{log\frac{R}{r_0} - 0.22} \qquad (7\text{-}29)$$

حيث: H– عمق المياه فوق الطبقة الكتيمة على مسافة: R من البئر.

h_0– عمق المياه في البئر مع اعتبار ضياعات الضغط في المصفاة.

r_0– نصف قطر البئر.

معادلة منحني الخمول (الهبوط):

$$y^2 = h_0^2 + \frac{Q}{\pi k_\varphi}\left(ln\frac{r}{r_0} - \frac{r^2 - r_0^2}{2R^2}\right) \qquad (7\text{-}30)$$

ويكون تدفق البئر في حالة التغذية الخارجية (الجريان من الجهات المختلفة):

$$Q = \frac{1.36k_\varphi(H^2 - h_0^2)}{log\frac{R}{r_0}} \qquad (7\text{-}31)$$

المعادلات المبينة أعلاه هي صالحة فقط على مسافة: $r \geq 1.5H$. وعندما: $r \leq 1.5H$ يُفترض أكبر من الحسابي المنحني الفعلي بسبب انخفاض المنسوب نتيجةً للضخ في البئر وعند جدرانه. تُحسب مناسيب الضخ من ارتفاع السحب البيني وضياعات الضغط عند حركة المياه عبر المصفاة. من أجل الآبار الكاملة اقترح أبروماف العلاقة التجريبية التالية:

$$\Delta = a\sqrt{\frac{QS}{k_\varphi F}} \qquad (7\text{-}32)$$

حيث: $\Delta[cm]$;- قيمة الضخ.

Q; $[\frac{m^3}{day}]$- تدفق البئر.

$S = H - h_0$; $[m]$- انخفاض المنسوب أو عمق الضخ.

$F = \pi dl$; $[m]$- المساحة الفعلية للمصفاة.

d- قطر المصفاة.

l- طول المصفاة.

k_φ; $[\frac{m}{day}]$- معامل النفاذية.

a- ثابت يتعلق بنوع المصفاة وبنوع البئر. وهو يتغير من: 6 حتى: 8 (عند المصافي المشقوقة و) ومن: 15 حتى: 25 (عند المصافي الشبكية والمصافي الرملية).

يكون سحب المياه باستخدام المضخات من الأبار غير الكاملة ب: 1.5-1.25 أكبر مما في الآبار الكاملة. ثبت نظرياً أنه عند تحديد تدفق الأبار وفق المعادلات (7-112) و (7-114) لا يؤخذ بالاعتبار ارتفاع السحب البيني. وعادةً لا تُؤخذ بالاعتبار ضياعات الضغط في المصافي بسبب انعدام المعطيات التجريبية.

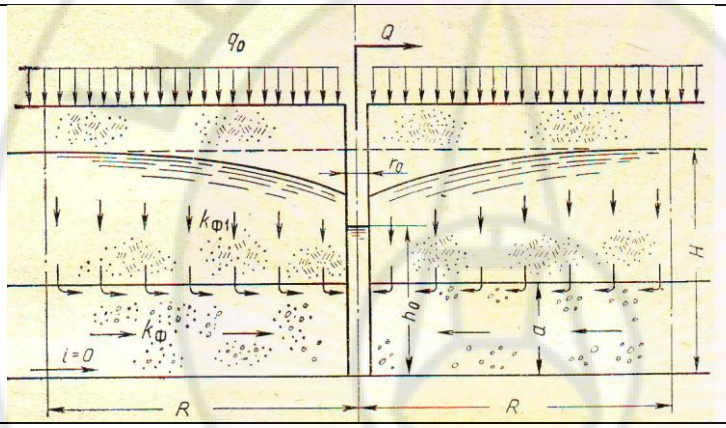
إذا كانت قيمة نصف قطر التأثير غير مُحددة من أجل الآبار ذات التغذية الخارجية بالجريانات، فإنه من أجل الآبار ذات التغذية الداخلية هو يمتلك قيمة مُحددة بالكامل وتُحسب من المعادلة الآتية:

$$Q = q_0\pi R^2 = \frac{1.36k_\varphi(H^2-h_0^2)}{log\frac{R}{r_0}-0.22} \qquad (7\text{-}33)$$

أو:

$$R^2\left(log\frac{R}{r_0}-0.22\right) = \frac{0.43k_\varphi(H^2-h_0^2)}{q_0} \qquad (7\text{-}34)$$

تتوزع الأبار مراراً في ترب غير مُتجانسة، عندما تكون الطبقة جيدة النفاذية تُغطي الطبقة بحيث تُغطي التربة ضعيفة النفاذية. يحصل جريان المياه إلى البئر في الأساس في الطبقة السفلية عند فرق كبير في ثوابت التسرب. ويجري التيار في الطبقة العلوية تقريباً بالاتجاه الشاقولي الشكل (7-9).



الشكل (7-9): مخطط جريان المياه إلى البئر الكامل في طبقات ترابية غير مُتجانسة.

بإهمال الضياعات بالتسرب الشاقولي يُمكن كتابة:

$$Q_r = q_0\pi(R^2-r^2) \qquad (7\text{-}35)$$

أو:

$$Q = 2\pi r y k_\varphi a\frac{dy}{dr} \qquad (7\text{-}36)$$

حيث: a– سماكة الطبقة النفوذة للمياه.

بحل المعادلتين وبعد التكامل نحصل على تدفق البئر:

$$Q = \frac{2\pi k_\varphi a(H-h_0)}{ln\frac{R}{r_0}-\frac{1}{2}} = \frac{2.73k_\varphi a(H-h_0)}{log\frac{R}{r_0}-0.22} \qquad (7\text{-}37)$$

معادلة منحني الخمول:

$$y = h_0 + \frac{Q}{2\pi k_\varphi a}\left(ln\frac{r}{r_0}-\frac{r^2-r_0^2}{2R^2}\right) \qquad (7\text{-}38)$$

يُمكن تقريباً تحديد التدفق الوسطي للبئر وفق معامل النفاذية الوسطي الموزون في الطبقة الحاوية للمياه المكونة من عدة طبقات للتربة بنفاذيات مختلفة وبثوابت تسرب للطبقات المُنفصلة نسبياً قليلاً تختلف عن بعضها البعض:

$$k_{\varphi cp} = \frac{k_{\varphi 1}h_1 + k_{\varphi 2}h_2 + \cdots + k_{\varphi n}h_n}{\sum h_i} \qquad (7\text{-}39)$$

حيث: $k_{\varphi 1}; k_{\varphi 2}; \ldots; k_{\varphi n}$ – معامل النفاذية للطبقات المنفصلة.

$h_1; h_2; \ldots; h_n$ – سماكة الطبقات المنفصلة.

من أجل المقارنة مع المعادلات (7-39) (7-37) المُبينة بصورة شائعة في علاقات إمداد المياه من أجل حساب تدفق البئر الكامل المتوضع على مسند الطبقة الحاوية للمياه (يُسمى هذا البئر بالارتوازي):

$$Q = \frac{2.73k_{\varphi}a(H-h_0)}{log\frac{R}{r_0}} \qquad (7\text{-}40)$$

جريان المياه إلى البئر غير الكامل (هذا يعني غير مُستند على الطبقة الكتيمة) أصغر مما للبئر الكامل. تُستخدم معادلة فورخغيمار التالية من أجل حساب تدفق الأبار غير الكاملة في الطبقة دون ضغط:

$$Q_H = Q\sqrt{\frac{l}{h_1}}\sqrt[4]{\frac{2h_1 - l}{h_1}} \qquad (7\text{-}41)$$

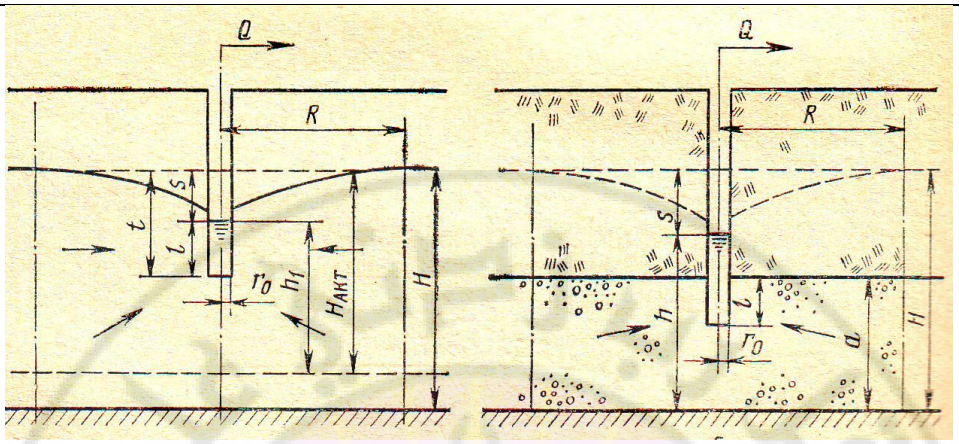
حيث: Q_H – تدفق المياه إلى البئر غير الكامل.

Q – التدفق إلى البئر الكامل بما في ذلك الطبقة.

l – عمق المياه في البئر غير الكامل أو طول الجزء الفعلي للمصفاة.

h_1 – قدرة الطبقة المُعتبرة بدأ من منسوب المياه في البئر.

تُعطي المعادلة (7-41) نتائج جيدة عند عمق بئر في الطبقة: $t \geq 0.5H$ الشكل (7-10). عند الأعماق الأصغر يستخدم في الحساب ليس كامل سماكة الطبقة الكاملة، وإنما فقط ارتفاع المنطقة الفعالة: H_{akt} المتعلق ب: t وبعمق السحب (الضخ) S.



a b

الشكل (7-10): مخطط الأبار غير الكاملة: a– في الطبقة غير المضغوطة، b– في الطبقة المضغوطة.

تملك معادلة ماسكيتا من أجل تحديد تدفق البئر غير الكامل في الطبقة الحاوية للمياه الضاغطة الشكل (7-37) الشكل التالي:

$$Q_H = \frac{2.73k_\varphi aS}{\frac{a}{2l}\left(2kog\frac{4a}{r_0}-A\right)-log\frac{4a}{R}} \qquad (7\text{-}42)$$

حيث: $A = f\left(\frac{l}{a}\right)$

عندما: $a \geq (3-4)l$ يُمكن إيجاد تدفق البئر وفق علاقة أكثر بساطة لبابوشكين:

$$Q_H = \frac{2.73k_\varphi lS}{log\frac{1.32l}{r_0}} \qquad (7\text{-}43)$$

معادلات ماسكيتا وبابوشكين هي من أجل جريان المياه إلى البئر من الخارج أي بالتغذية الخارجية، لكن يُمكن استخدامها أيضاً من أجل التدفق التقريبي للبئر عنما تكون التغذية من المُجمع المائي الذاتي، إذا قبلنا أن العلاقة بين تدفقات الأبار الكاملة وتدفقات الأبار غير الكاملة ستكون واحدة أي مُتساوية كما عند التغذية الخارجية أيضاً عند التغذية الداخلية.

اختيار المسافة بين الآبار عند الصرف النظامي:

تُوزع الأبار عند الصرف النظامي على مسافات كبيرة عن بعضها البعض. يتحدد منسوب المياه الجوفية في أية نقطة من سطحها بصورة رئيسية من شروط التغذية وبنظام العمل فقط لبئر واحد. ويظهر تأثير الآبار الأخرى غير كبير.

لندرس مسألة اختيار المسافة بين الأبار بافتراض أن كل بئر يخدم ذات المساحة: F. يُمكن توزيع الأبار إما على مسافات مُختلفة في الخطوط وبين الخطوط، أو على مسافات مختلفة

بين الآبار (هذا يعني في رؤوس مثلث متساوي الأضلاع). في الحالة الأولى المسافة بين الأبار في الخطوط وبين الخطوط تُساوي: $a\sqrt{F}$، ونصف قطر تأثير البئر:

$$R = \sqrt{\frac{F}{\pi}} = 0.56a \qquad (7\text{-}44)$$

عند توزع الآبار على رؤوس مثلث متساوي الأضلاع المسافة بين الأبار في الخطوط: $a = \sqrt{\frac{2F}{\sqrt{3}}} = 1.075\sqrt{F}$، والمسافة بين الخطوط: $b = \frac{\sqrt{3}}{2}a = 0.93\sqrt{F}$، ونصف قطر التأثير: R=0.5a=0.61b.

يتم إيجاد المسافة بين الأبار انطلاقاً من التدفق الثابت (الدائم): Q المُطابق لمعدل الصرف الوسطي: q_0:

$$Q = \frac{q_0 \pi R^2}{k_H} \qquad (7\text{-}45)$$

حيث: k_H- ثابت استخدام المضخة حسب الزمن، مجموع الزمن الفعلي للمضخات في العام يُشكل تقريباً من ثمانية إلى عشرة أشهر، لذلك: $k_H = 0.67 - 0.84$.

يُمكن أن تتغير وضعية منحني الخمول بالربط مع عدم انتظام الزمن لجريان المياه المُتسربة، لكن في هذه الحالة هذا لا يملك أهمية خاصة، بقدر ما يتغير منسوب المياه الجوفية يُمكن أخذها بالاعتبار عند تحديد الإشارات التصميمية. إذا على سبيل المثال لم يتحقق انخفاض المنسوب حتى العمق الحرج حتى بداية فترة النمو، فإن الإشارة الحسابية يجب أن تنخفض.

تُساوي مساحة الصرف عند استخدام مضخة إنتاجية مُحددة لبئر واحد:

$$F = \pi R^2 = \frac{k_H Q}{q_0} \qquad (7\text{-}46)$$

في الحالة العامة أيضاً تتحدد المسافة بين الأبار أو نصف قطر التأثير لها شرطياً وفق الضياعات الحسابية الأصغرية لكل عام:

$$U + E_H K = min \qquad (7\text{-}47)$$

حيث: U- الاحتياطات السنوية.

K- رأس المال الإنشائي.

E_H- ثابت انتظام بالمُقارنة مع ثابت العامل الاقتصادي.

أعطى مينايف حلاً لهذه المسائل من أجل أنظمة الأبار الكاملة وغير الكاملة في الطبقة اللاضاغطة، وأعطى بارون حلاً لهذه المسائل من أجل أنظمة الآبار المُشكلة في الطبقة الضاغطة.

في مُعظم الحالات المودول الوسطي لجريان الصرف بالانسياب وفق الزمن يتناقص، بقدر ما تسقط مثل هذه العناصر للجريان، باعتبارها عملاً احتياطياً للمياه الجوفية وجريان مياه الغسل. يتطلب اختيار المسافة بين الأبار إضافياً حسابات تقنية اقتصادية أكثر صعوبةً عند مودول الجريان المُتغير.

تتغير مساحة الصرف لبئر واحد في المجال من: 24 إلى 28 هيكتار (R=275-640[m])، وعمق البئر (الثقب) من: 32 حتى 100[m]، ويتغير التدفق: من: 25…120[l/s]. ويُمكن إيجاد المسافة بين الأبار وتدفق الأبار أكثر أو أقل دقة فقط بطريقة السحب التجريبي وبملاحظة تغيرات منسوب المياه الجوفية. تُنشأ الأبار عادةً بمصافي رملية. قطر الثقب: 900-1000[mm]، أما قطر الماسورة: 400-600[mm].

٧-٦- الصرف المركب:

يُسمى بالصرف المركب التي فيها المياه الجوفية تُستقبل عن طريق الثقوب، وتُنقل بواسطة مصارف – مُجمعات مكشوفة أو مُغلقة. تُستخدم آبار ذاتية الانسياب في الصرف المركب. تجري المياه منها إلى المُجمع بفعل الضغط بين المصارف فوق منسوب المياه في المصارف. ويُمكن للأخيرة فقط نقل المياه أو أيضاً استقبالها. في الحالة الأولى تُنشأ المصارف المُغلقة بدون ثقوب استقبال المياه ودون مصافٍ.

يُناسب استخدام الصرف ذات الثقوب ذاتية الانسياب في تلك الحالات عندما تكون الطبقة ضعيفة النفاذية متوضعة جيداً على تربة جيدة النفاذية الشكل (7-11). تزداد قدرة المُجمعات على الصرف عند إنشاء الأبار إذا حُسبت المصارف ليس فقط على نقل المياه ولكن على استقبال المياه الجوفية، وبالربط مع أن المسافة بين المصارف يمكن أن تكون أكبر. تُسمى الأبار عند ذلك بالأبار المُقواة.

يتعلق عمق الأبار بعمق الطبقة النفوذة جيداً وعادةً لا تتجاوز: 15-25[m]. تُستخدم المسافة بين الأبار في المجالات: 50-150[m]. تُثبت الثقوب أو الأبار بأنابيب معدنية، أو من الأسبستوس الإسمنتي أو من البلاستيك. يُثقب جزء التصفية للأنابيب ويُغطى بالصوف الزجاجي. وتستخدم أنواع أخرى من المصافي بقطر المواسير: 100-200[mm].

تُستخدم معادلة بابوشكين وكيريانسكي من أجل تحديد تدفق الأبار $[m^3/s]$:

$$Q = \frac{k_{\varphi 1} H}{log\frac{\alpha l}{r_0}} \qquad (7\text{-}48)$$

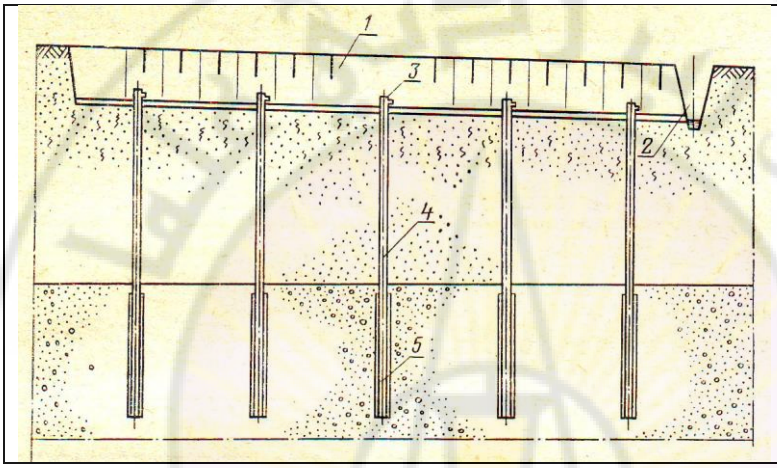
حيث: H;[m]– الضغط.

L;[m]– طول المصفاة.

r_0; $[m]$– نصف قطر المصفاة.

$k_{\varphi 1}$; $[\frac{m}{s}]$– معامل نفاذية التربة جيدة النفاذية.

ثابت يُساوي: 0.66.



الشكل (7-11): مخطط الصرف المركب: 1– مصرف مكشوف، 2– مجرى، 3– بئر ذاتي الانسياب، 4– ماسورة تصفية علوية، 5– الجزء المُستقبل للمياه للبئر مع المصفاة.

يُمكن بالتخلخل المُتغير تقوية تأثير الفعالية للصرف المُركب. يُقترح استخدام مصارف مُغلقة من أجل تغذية مياه الري فيها، هذا الاقتراح يعني اقتران شبكة الري المُغلقة مع شبكة الصرف.

Damascus University

الفصل الثامن
رطوبة التربة وطرق قياسها

8-1- الخواص الفيزيائية للتربة. ورطوبتها:

يُنسب إلى الخواص الفيزيائية كثافة التربة، وكثافة مرحلتها الصلبة ومساميتها.

كثافة المرحلة الصلبة للتربة (الكثافة الحقيقية): هي نسبة كتلة التربة في المرحلة الصلبة إلى الكتلة المُساوية لحجم المياه عند درجة حرارة: $4;[C^o]$. تتعلق قيمتها بنوع المواد المعدنية وبكمية المواد العضوية الداخلة في التربة. تتراوح في المجال: $2.4....2.8;[gr/cm^3]$، وفي التربة الطُحلبية في المجال: $1.4....1.7;[gr/cm^3]$ وفق العلاقة بدرجة انتشارها. تُستخدم كثافة المرحلة الصلبة من أجل تحديد مسامية التربة وتحديد سعتها الرطوبية الكاملة (المُشبعة).

الكثافة (الكتلة الحجمية) (الكثافة الظاهرية): هي كتلة واحدة الحجم المُطلقة للتربة الجافة المأخوذة في البُنية الطبيعية. ويُعبر عنها: $[gr/cm^3]$. كثافة التربة دائماً أقل من الكثافة في المرحلة الصلبة وتتعلق بكثافة المواد المُركبة منها، وببُنيتها ومساميتها. وهي تُحدد النظام المائي والهوائي والحراري للتربة، وتُحدد الشروط الفيزيائية لنمو المحاصيل ولنمو النظام الجذري لها وإنتاجيتها. تُشكل كثافة التربة المعدنية: $0.9....1.8[gr/cm^3]$، وتُشكل في المُستنقعاتُ حساب السعة الرطوبية الكاملة للتربة.

المسامية (النفاذية): هي المجموع الحجمي لجميع المسامات في التربة، التي يُعبر عنها بالنسبة المُئوية من الحجم الكلي للتربة. تتغير المسامية للتربة المعدنية في الأفاق المُختلفة في مجال كبير: 90%.....25%، يُشكل عادةً: 60%.....5% من أجل الأفق الترابي الرطب ويُشكل من أجل مُستنقعات التربة الطحلبية: 90%.....80%.

تُميز المسامية الشعرية والمسامية غير الشعرية. تُساوي المسامية الشعرية حجم المسامات الشعرية البينية في التربة، وتُساوي المسامية غير الشعرية حجم المسامات الضخمة. يُشكل مجموع أنواع المسامات المسامية الكلية للتربة التي تُحسب من المعادلة التالية:

$$A = \left(1 - \frac{\gamma}{m}\right) \times 100 \qquad (8\text{-}1)$$

حيث: γ – الكتلة الحجمية (كثافة التربة).

m – كثافة المرحلة الصلبة للتربة.

لا بُد من تحديد مسامية التربة من أجل مُواصفات الشروط الفيزيائية لنمو المحاصيل ومن أجل حساب السعة الرطوبية الحقلية للتربة.

تقع المياه في التربة في شكل بخار ورطوبة ماصة (هيجروسكوبية) وغشائية وشعرية وتجاذبية وفق تصنيف لبيدوف.

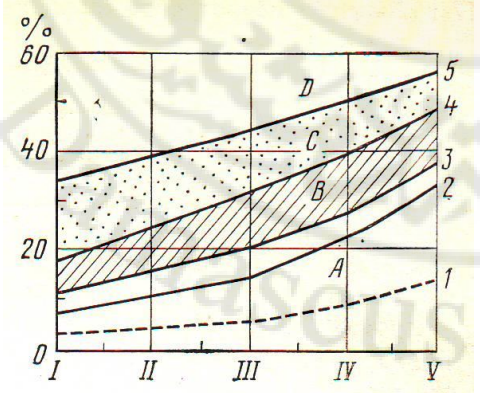
تتحرك **المياه البخارية** كالغاز من موضع مرونة البخار الأعلى إلى موضع مرونة أقل وتتحول ذاتياً إلى أشكال أخرى. وهي غير كافية للنظام الجذري للمحاصيل الزراعية.

تتشكل **الرطوبة الماصة** على سطح الجزيئات عند امتصاص التربة بخار الماء من الهواء. الرطوبة الماصة العظمى للتربة الرملية حوالي: 1% وللتربة الوسطية: 8%....5 وللتربة الطينية: 12%....10 من كتلة التربة الجافة ولا تكفي المحاصيل الزراعية.

تُحيط أو تُغلف **المياه الغشائية** الجزيئات الترابية بطبقة رقيقة من الأعلى بالرطوبة الماصة (الهيجروسكوبية)، وتُحافظ على القوى الجزيئية ولا تكفي للمحاصيل الزراعية.

تملأ **الرطوبة الشعرية** جميع المسامات الشعرية وتتحرك بأي اتجاه من موضع أكثر ارتفاعاً للرطوبة إلى موضع أقل رطوبةً بتأثير قوى التجاذب السطحية، ولا تُلاحظ قوى الجاذبية وهي تكفي المحاصيل الزراعية.

تملأ **الرطوبة الحرة** المسامات والفرغات الضخمة في التربة وتُلاحظ قوة الجاذبية. وتُحفظ في التربة بعد السقاية وبالمطر الغزير ثم تترطب في العمق، إلى خارج مجال توضع النظام الجذري، أو تتحول إلى حالة الرطوبة الشعرية. وهي تكفي المحاصيل الزراعية. يُبين الشكل (8-1) الأشكال الأساس للرطوبة الترابية.



الشكل (1-17): المحتوى الرطوبي في التربة بالنسبة المئوية من حجم التربة عند سقايات مُختلفة: 1- قابلية الامتصاص الأعظمية، 2- ثابت مُقاومة الذبول، 3- الرطوبة الحرجة، 4- السعة الرطوبية الصُغرى، 5- السعة الرطوبية التامة (المُشبعة)، A- رطوبة غير كافية، B- قابلية الامتصاص للرطوبة، C- الهواء، D- هيكل التربة، I- تربة رملية، II- تربة خفيفة، III- تربة متوسطة وثقيلة، IV- طينية، V- طينية ثقيلة.

السعة الرطوبية: هي قدرة التربة على الامتصاص والاحتفاظ بكمية مياه مُعينة. ويُعبر عنها بكمية الرطوبة بالنسبة المئوية لكتلة التربة الجافة أو لحجمها، وأيضاً $[mm]$ طبقة مياه (احتياطي الرطوبة في التربة). تُستخدم كثافة التربة عند حساب السعة الرطوبية $[mm]$. تُميز السعة الرطوبية العُظمى (المُشبعة) والسعة الرطوبية الصغرى والسعة الرطوبية الشعرية والسعة الرطوبية الجزيئية العُظمى.

السعة الرطوبية الترابية المُشبعة (أو السعة الرطوبية الكاملة): هي كمية الرطوبة التي يُمكن أن تتسعها التربة عند شرط الإملاء التام لجميع مساماتها بالرطوبة.

السعة الرطوبية الصغرى (السعة الرطوبية الحقلية الحدية): هي كمية المياه العُظمى التي يُمكن الحفاظ عليها في التربة بعد الترطيب الغزير والانسياب الحر عند التوضع العميق للمياه الجوفية وبنية التربة مُتجانسة. تملك هذه القيمة أهمية زراعية عُظمى لأنها تتصف بالحد العلوي للرطوبة المثالية للتربة. ويُعبر عنها بالنسبة المئوية من المسامات أو من الكتلة الحجمية للتربة.

السعة الرطوبية الشعرية: هي كمية الرطوبة الشعرية العُظمى التي يُمكن الحفاظ عليها في التربة. تتعلق قيمتها بارتفاع الطبقة المدروسة فوق منسوب المياه الجوفية.

رطوبة التربة: هي محتوى المياه في واحدة الحجم للتربة، التي يُعبر عنها بالنسبة المئوية لكتلة التربة الجافة المُطلقة (الرطوبة المُطلقة)، وحجم التربة والمحتوى الرطوبي المُطابق للسعة الرطوبية (غالباً الصغرى أو المُشبعة). يُحدد وفق رطوبة التربة احتياطي الرطوبة في طبقتها في اللحظة المُعتبرة، واحتياطي الرطوبة الكافي للمحاصيل، وأيضاً نجد زمن السقايات الدورية، وزمن مُعاملة التربة وتقييم تأمين الرطوبة للمحاصيل.

يُمكن التعبير عن رطوبة التربة بالنسبة المُئوية من كتلة التربة الجافة:

$$w_0 = \frac{m_f - m_d}{m_d} \times 100 \qquad (8\text{-}2)$$

حيث: $w_0;[\%]$ – الرطوبة الوزنية % من العينة التُرابية الجافة.

m_f – كتلة التربة الرطبة.

m_d – كتلة التربة الجافة.

تُعطى الرطوبة الحجمية: $w = w_0 \cdot \gamma$

حيث: $\gamma;;;[g/cm^3];[ton/m^3]$ – الكتلة الحجمية للتربة.

المسامية بالنسبة المئوية: $w_A = \frac{w_0 \cdot \gamma}{A} \times 100$ حيث: A – المسامية %.

الجدول (8-1): الحد الأدنى لرطوبة التربة من أجل محاصيل زراعية مختلفة %.

محاصيل زراعية	التربة			
	رملية	خفيفة	وسطية	ثقيلة
القمح:				
الشتوي	60…65	65…70	70…75	75…80
الربيعي	60…65	65…70	70…75	75…80
الذرة	60…65	65…70	70…75	75…80
الرز	100	100	100	100
الحمص	65…75	70…80	70…80	75…80
فول الصويا	65…70	70…80	75…80	
القطن	65…70	60…70	65…75	70…85
الشوندر:				
المائدة	75…80	75…80	70…80	70…80
السكري	60…65	65…70	70…75	75…80
العلفي	65…70	70…75	70…75	75…80
ميال الشمس	65…75	65…75	70…80	70…80
الفصة	65…70	65…70	70…75	75…80
أعشاب زراعية	65…75	65…75	70…80	70…80
أعشاب سودانية	65…70	70…75	70…75	70…75
نبات طُفيلي	55…60	65…75	65…70	75…80
كرسنة	70	70	75…80	75…80
ملفوف، خيار	75…80	75…80	80…85	80…85
بصل	70…75	70…75	75…80	75…80
جزر	65…80	70…80	70…80	75…85
فليفلة، باذنجان	65…75	70…75	70…80	70…80
بطاطا	65…80	65…80	75…80	75…85
بطيخ	70…75	70…75	70…75	70…75
أشجار مُثمرة، كرمة	70…75	70…75	70…75	70…75

تُميز الرطوبة المُستقرة لذبول المحاصيل والرطوبة الشعرية المُتغيرة (المُتقطعة) بالإضافة إلى الرطوبة المُطلقة والرطوبة الحجمية.

رطوبة الذبول: هي كمية المياه في التربة التي عندها تظهر مُؤشرات تعكس ذبول المحاصيل ويُعبر عنها: $[mm]$ طبقة مياه.

الرطوبة الشعرية المُتقطعة: هي الرطوبة التي عندها ارتفاع الرطوبة في التربة يفقد الاتصال والقدرة على التحرك إلى سطح التبخر في عملية التبخر. الجدول (8-1).

وفق درجة قابلية المحاصيل للرطوبة تُقسم إلى الرطوبة الكافية – جزء التربة الرطبة التي يُمكن أن تُمتص بالمحاصيل في العمليات النشطة الحيوية. تُقسم الرطوبة الكافية للمحاصيل إلى رطوبة إنتاجية ورطوبة فعالة.

الرطوبة الإنتاجية: الرطوبة الإنتاجية في المجال بدأً من الرطوبة المُستقرة للذبول حتى الرطوبة الصغرى الكافية من أجل المحاصيل. وهي تُساوي احتياطي المياه الفعلي ناقص احتياطي المياه عند الرطوبة المُستقرة للذبول.

الرطوبة الفعالة: هي مجموع كمية الرطوبة الترابية المُحتواة في طبقة ترابية مُحددة في الفترة المُدروسة المُشكلة للتوازن المائي ويُعبر عنها: $[mm]$ لطبقة المياه أو $[m^3/hr]$. يُحدد احتياطي المياه في الطبقة الترابية من المعادلة التالية:

$$W = 10 \times h \times w \qquad (8\text{-}3)$$

حيث: $h;[m]$ – العمق الحسابي لطبقة التربة.

$w;[\%]$ – الرطوبة الحجمية.

يُحدد احتياطي المياه في الطبقة الترابية الفعالة: $[m^3/hr]$ من المعادلة التالية:

$$W = 100 \times h \times w;...;W = 100 \times \gamma \times w \qquad (8\text{-}4)$$

يُمكن مُناقشة تحقيق الرطوبة وفق احتياطي الرطوبة الإنتاجية في الطبقة المترية للتربة في فترة النمو للمحاصيل الزراعية.

تُقسم التربة وفق العمق إلى أفاق إنشائية (طبقات) التي تختلف بخواصها عن بعضها البعض. يُساوي احتياطي المياه مجموع حجموم المياه المُحتواة في الطبقة الحسابية للتربة عندما تتكون من عدة طبقات. عادةً يُحدد احتياطي المياه في الطبقة الترابية الفعالة في شروط الري، حيث تتوضع الكتلة الأساسية لجذور المحاصيل حتى: $90;[\%]$. تزداد قدرة الطبقة الترابية

الحسابية بدءاً من البذار حتى النضوج والجني. يُبين الجدول (8-2) القيم الوسطية لاحتياطي الرطوبة من أجل أنواع مُختلفة من التربة.

الجدول (8-2): تقييم احتياطي المياه في الطبقة الترابية الفعالة:

احتياطي الرطوبة: $[mm]$	60	61…90	91…130	131…160	160
تقييم الاحتياطات	سيئ جداً	سيئ	مقبول	جيد	جيد جداً

يُستخدم عمق الطبقة الحسابية من أجل التربة ضعيفة القدرة المُتوضعة أسفل الحصى وفق الجدول (3-8)، لكن لا يتجاوز العمق عمق توضع الحصى أو الحجارة.

الجدول (8-3):عمق الطبقة الحسابية للتربة من أجل محاصيل زراعية مُختلفة: $[cm]$.

المحاصيل الزراعية	بذر (زراعة) بدء النمو	النضوج – نهاية النمو
القمح:		
الشتوي	60	80
الربيعي	50	80
الذرة	60…70	75…80
الحمص	50	70
فول الصويا	70	80
القطن	50…60	60…100
الشوندر:		
العلفي	70	80…90
السكري	50	80
المائدة	50	60…80
ميال الشمس	70	80
الفصة	80	100
أعشاب زراعية	50…70	50…70
أعشاب سودانية	35…40	35…40
كرسنة	60	60
بندورة	40	80
ملفوف، خيار	20…30	30…60
جزر	50	60
فليفلة، باذنجان	50	50
بطاطا	40…50	60…70
بطيخ	50…60	70
أشجار مثمرة	100…120	100…120
الكرمة	80	100

يُستخدم عمق الترطيب في تربة المروج من أجل القطن والفصة والشوندر السكري: عند عمق مياه جوفية: $[m]3...2$ ولا يتجاوز: $[m]1...0.7$، وعند عمق: $[m]2...1$ لا يتجاوز: $[m]0.8...0.7$، وعند عمق مياه جوفية: $[m]1$ لا يتجاوز: $[m]0.5...0.4$.

8-2- أساليب قياس رطوبة التربة باستخدام الأجهزة والمعدات:

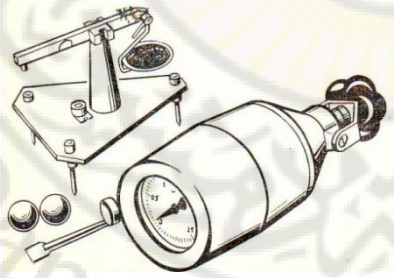
8-2-1- الأساليب الدقيقة:

تُقاس الرطوبة بالأساليب الدقيقة بالحجم بدأً من عدة سنتيمترات مُكعبة حتى عدة ديسمترات مُكعبة وتُجرى المُراقبة أيضاً أي تُسجل المُلاحظات لتغيراتها في مثل هذه الحجوم.

تُستخدم الأساليب الدقيقة الشائعة التالية في التطبيقات العملية لقياس الرطوبة ووسائلها المنطقية.

الترموستات الوزني: يُعدّ نموذجياً وهو معروف بصورة شائعة. يُستخدم المثقب من أجل اختيار العينة من التربة. تُختار العينات من الأفق في المجالات التالية: $[cm]30...20;20...10;10...5;5...0$ ويتم وزن العينات قبل التجفيف وبعده. تُحدد رطوبة التربة بالنسبة المُئوية من الكتلة. تُصمم الوسائل التقنية من أجل إخراج العينات وتُؤثر القدرة الفردية للعامل عند أخذ العينات في دقة النتائج. **سيئات الأسلوب:** جهد كبير وانعدام الفعالية، وعدم إمكانية تحقيق تكرار القياس في ذات الحجوم.

مقياس رطوبة التربة السريع: يتحقق في مقياس الرطوبة السريع التحكم بالكتلة الفعالة للرطوبة الوزنية للتربة في الشروط الحقلية الشكل (8-2).



الشكل (8-2): مقياس رطوبة التربة السريع.

يتكون مقياس رطوبة التربة السريع من حجرة مُغلقة مُنجزة في شكل وعاء مخروطي مع مانومتر. تتسع الحجرة للعينة الترابية الوزنية بكتلة: $[gr]13$ أو $[gr]26$ وتتسع للعامل الكيميائي المُنشط (الكاشف). تُخلط العينة مع المُنشط الكيميائي بطريقة الهز أو الرج في الحُجرة المُغلقة. تُحدد رطوبة العينة وفق مقياس المانومتر المُحددة بتدريجة أجزاء من الواحد للرطوبة الوزنية.

يدخل في تكوين مجموعة مقياس الرطوبة الحجرة والمانومتر، وميزان، وكرتين فولاذيتين من أجل تحريك أو خلط العينة مع المُنشط الكيميائي في الوعاء، وملعقة للمُنشط وفرشاة سلكية.

يُشكل استهلاك المُنشط الكيميائي عند شدة استخدام مقياس الرطوبة 40 مرة في اليوم حوالي: $50[kg]$ خلال فترة النمو. يُنتج مثل هذا المقياس تقريباً في جميع دول العالم. الجدول (4-8).

الجدول (4-8): المُواصفات التقنية لمقياس رطوبة التربة السريع:

مجال قياس الرطوبة (الوزنية)، %	$[0...42]$
مجال درجة حرارة الهواء: $[C^o]$.	$[1...45]$
زمن تحديد واحد: $[\min]$.	**لا يتجاوز: 5**
التقريب المُطلق لا يتجاوز مجال القياس:	
من الرطوبة الوزنية $[0...20\%]$	$[\pm 2\%]$
من الرطوبة الوزنية $[20...42\%]$	$[\pm 4\%]$
كتلة الحجرة والمانومتر $[kg]$	**لا تتجاوز: 3**
كتلة مجموعة مقياس الرطوبة مع الغطاء (الغلاف، العلبة) $[kg]$	**لا تتجاوز: 6.5**
استهلاك المُنشط الكيميائي لتحديد واحد $[g]$	**7 أو 14**
فترة خدمة مقياس الرطوبة وتُقدر سنوياً	**8**

المقاييس الكهربائية: تُنجز هذه الأجهزة في شكل مجس بدائي وتُشكل الكتلة الكلية حوالي: $4[kg]$، ومجال القياس: $[30....100\%HB]$ من الرطوبة الأولية، وعمق القياس حتى: $50[cm]$، والتقريب: $[\pm 5\%HB]$. تُؤثر أقطاب الالكترودات المُلامسة للتربة في المجس (المسبار)، وعدم ثبات المُقاومة بين التربة والمجس، وملوحة التربة على ما يُظهره مقياس الرطوبة. يرتفع تقريب القياس للرطوبة في التطبيقات العملية بالربط مع ذلك: $[15...25\%]$. طُورت تصاميم حديثة لمقايس مجال الرطوبة الحقلية (السعة الحقلية) وغيرها.

يعتمد أسلوب العزل الكهربائي على علاقة عزل نفاذية التربة عن الرطوبة إلى ترددات (ذبذبات): $1.4....19.4[MHr]$. تُؤثر الحرارة والتكوين الميكانيكي والأملاح وكثافة التربة على النفاذية بالعزل الكهربائي. يُصمم الجهاز على هذا المبدأ ويسمح بتحقيق القياس حتى عمق: $0.7[m]$.

يتكون مقياس مجموع المقاومة المُحققة في حساس الرطوبة للتربة المُخصص من أجل قياس رطوبة التربة في منطقة الجذور للمحاصيل من عنصر الحساس وزوج من الالكترودات

مُثبتون في السلك. عند تلامس عنصر حساس الرطوبة للحساس مع التربة يتحول إلى موازن حراري رطب، وتُطابق المُقاومة الكهربائية للحساس رطوبة التربة.

يُؤثر تركيز المحاليل الملحية في الرطوبة الترابية على عمل مقياس الرطوبة الكهربائي لدرجة كبيرة نسبياً. تتغير التدريجة نسبةً للموضع قيد الدراسة ويُمكن مُلاحظة تغير الرطوبة في التربة غير المالحة بواسطة الوسط البيني (عوارض جبسية) الموضوعة في الحساسات.

الجدول (8-5): المواصفات التقنية للحساس الكهربائي:

مجال قياس الرطوبة: %	**50….90**
تغير المقاومة الكهربائية: $[k.OM]$	**1….20**
التقريب المطلق: %	$[\pm 10]$
المقاسات الحجمية: $[mm]$	$29 \times 15 \times 3$
الكتلة: $[kg]$	**10**

تُستخدم علاقة المُقاومة الكهربائية بالعنصر الماص للرطوبة بالرطوبة في بعض مقاييس الرطوبة. يُثبت الحساس بثبات في التربة وتكون لوحة التحكم مُتنقلة. مجال القياس: [%]50...10 ومجال التقريب: ± 2.5[%] .

يُدخل القطران بالتبادل الأيوني يُفصل بينها بالقطران من أجل إنقاص تأثير المحاليل الملحية في الأوساط البينية. يتغير تركيز المحاليل الملحية ويُؤثر بضعف في المُقاومة الكهربائية للوسط البيني باستخدام القطران بالتبادل الأيوني.

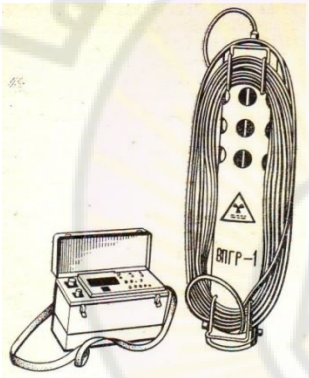
المقاييس الاشعاعية: يعتمد الأسلوب النيتروني على تعريض التربة لنيترونات سريعة وقياس كثافة التيار البطيئ للنترونات بالقرب من مصدر الإشعاع (المُشع). يُعدّ الافتراض من أجل استخدام هذا الأسلوب أن حركة النترونات البطيئة فقط هي نتيجةً للتأثير المُشترك مع النوى الهيدروجينية المُحتواة غالباً في الرطوبة. لذلك تتحقق العلاقة بين كثافة التيار للنترونات البطيئة والرطوبة الحجمية. نجد رطوبة التربة عادةً في التطبيقات العملية إما حسب تدريجة المُخطط البياني – علاقة تجريبية لكمية النترونات البطيئة المُسجلة في راديو القياس المتري لجزء مقياس الرطوبة في واحدة الزمن من الرطوبة الحجمية، أو حسب ما يُظهره المُؤشر السهمي أو الرقمي في المُبين.

العلاقة التدريجية عملياً واحدة من أجل مُعظم الترب المُؤثرة في أي تكوين حبيبي ميكانيكي (التكوين الفيزياميكانيكي للتربة) وفي أي تكوين كيميائي. يُمكن إظهار نيترونات

مقاييس الرطوبة أن يبدو في بعض الحالات: عند امتصاص شديد للنترونات البطيئة (إذا تركيزها تجاوز لدرجة كبيرة سعتها) وبصورة حادة التربة المالحة حسب تكوينها الفيزيا ميكانيكي في مجالات تنظيم قياس الرطوبة في السماكة الترابية.

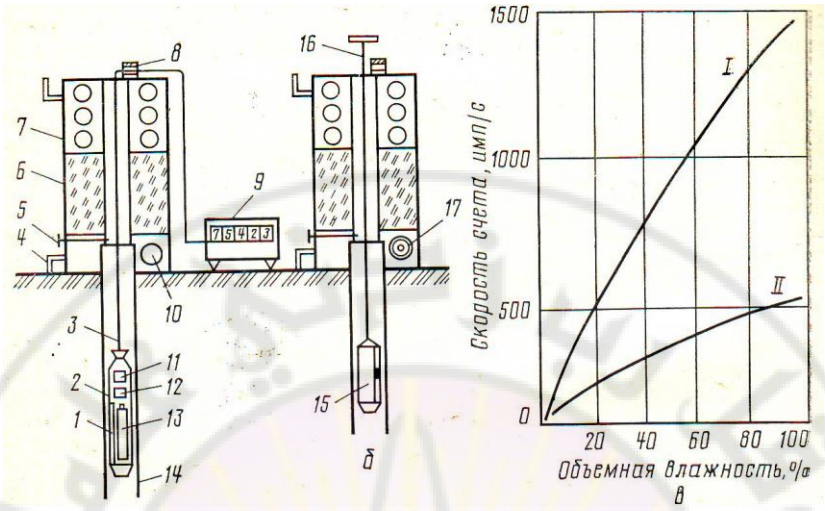
تُنتج الشركات الصناعية مقاييس رطوبة نترونية مُختلفة مثل: مقياس رطوبة التربة السطحي ومقياس الرطوبة العميق بالنظير المُشع، ومقياس الرطوبة الإلكتروني (مقياس رطوبة نتروني محمول) ومقياس الرطوبة الإشعاعي.

يختلف مقياس الرطوبة النتروني الشكل (8-3;8-4) عن مقاييس الرطوبة المُنتجة سابقاً بأن كتلته أصغر وأن قطر المجس أصغر، وبإمكانية القياس الدقيق في الطبقة العلوية للتربة المحروثة، وأكثر سرعة في التأثير ودقة عالية وفعالية أقل للمُشع.



الشكل (8-3): مقياس الرطوبة السطحي العميق بالنظائر المُشعة.

يسمح مقياس الرطوبة المُتدرج من أجل المواسير السبائكية بقطر داخلي: [mm]38 وبقطر خارجي: [mm]42...40 بإجراء القياس في التربة المُتماسكة في الثقوب غير الجاهزة التي يُمكن تجهيزها بمواسير فولاذية أو بلاستيكية. يُعدّل المُنحني البياني المُتدرج الشكل (8-4,c) من أجل مثل هذه المواسير المُستهلك. يتكون مقياس الرطوبة من مجس ومصدر سريع وكاشف النترونات البطيئة، ومن لوحة عداد نبضات الكاشف مع هيكل التغذية الذي يُحقق تسجيل مُنفصل بشكل رقمي للنبضات الكهربائية، التي يُعطيها هيكل الكاشف وتغذية جميع أجزاء الجهاز بجهد ثابت. وهو مُنجز في شكل جهاز محمول مُزود بحماية على شكل رذاذ غازي.

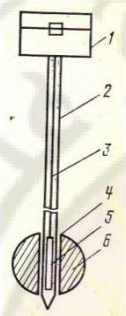


الشكل (8-4): مُخططات القياس لمقياس الرطوبة: a- العميق، b- السطحي، c- المُنحني البياني التدريجي، 1- مصدر النترونات السريعة، 2- مجس العمق، 3- كبل، 4- قبضة يدوية، 5- مُثبت الهيكل للمصدر، 6- هيكل بولي إيتليني، 7- جهاز تحكم مُتنقل، 8- مُبين عمق دخول المجس، 9- عداد كهربائي للنبضات، 10- قناة أفقية من أجل حركة الهيكل للكاشف عند القياس السطحي، 11- مُشكل الجهد العالي، 12- مُضخم ومُشكل النبضات الكهربائية، 13- ماسورة تحويل، 14- الكاشف، 15- هيكل المصدر في وضعية القياس السطحي، 16- أداة تطويل، 17- هيكل الكاشف والكاشف في وضعية القياس السطحي، I- من أجل القياس العميق، II- من أجل القياس السطحي عند تعمق مصدر النترونات بمقدار: $10[cm]$.

الجدول (8-6): المواصفات التقنية لمقياس الرطوبة السطحي العميق بالنظائر المُشعة:

مجال قياس الرطوبة الحجمية: % من الدورة:	
القياس العميق	1…100
القياس السطحي	1…50
حالة التقريب عند دقة احتمال: 0.9 من الدورة:	$\pm 1...1.5$
زمن قياس واحد للرطوبة (مرة واحدة): $[\sec]$	10; 30
عمق القياس: $[m]$	0.1…5 0.1…30
مجال الزمن المُعطى للقياس: $[\sec]$	1; 10; 30 100; 300
قطر المجس: $[mm]$	35.5
قطر الثقب: $[mm]$	40…50
التغذية الضوئية والمُستقلة من العناصر نوع الجهد: 373[Volt]	12
الشروط الحرارية للاستثمار: $[C^o]$	-10….+40
مخرج لوحة المصدر: $[ntron/\sec]$ نترون/ثا	5×10^4
الكتلة: $[kg]$	14

يُستخدم مقياس الرطوبة بالنظائر المُشعة الشكل (8-5) من أجل المراقبة الفعالة لاحتياطي الرطوبة في طبقة التربة المُغذية للجذور في أراضي الري. وُضع بالاعتماد على النظائر المُشعة (النترونية) مقياس رطوبة مُتطور يختلف عن السابق بكتلة أقل بثلاث مرات، وبفاعلية للمصدر النتروني أقل بخمس مرات، وبإمكانية الحساب المُباشر لقيم الرطوبة وفق سهم المؤشر المُتدّرج في واحدة الحجم للرطوبة: $[gr/cm^3]$ أو $[\%]$.



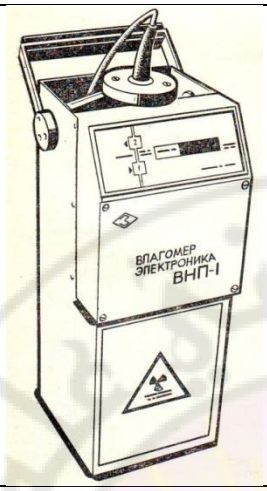
الشكل (8-5): مُخطط مقياس الرطوبة بالنظائر المُشعة: 1- لوحة تحكم، 2- القضيب – المجس، 3- كبل ، 4- كاشف النترونات البطيئة، 5- المُشع، 6- هيكل الحماية البيولوجي.

يتكون مقياس الرطوبة من قضيب أجوف يحوي في جزئه السفلي مجساً خاصاً مصدراً سريعاً وكاشفاً النترونات البطيئة، وهيكل حماية بيولوجياً غير كبير، ولوحة ذات مُخطط الكتروني، ومؤشراً سهمياً وبطارية مُدخرة. ويُوجد عنصر تحكم مفتاح مفصلي واحد فقط على اللوحة.

الجدول (8-7): المواصفات التقنية لمقياس الرطوبة بالنظائر المُشعة:

مجال قياس الرطوبة الحجمية: %	5…50
التقريب المُحتمل عند دقة مُحتملة: 0.86 % من الدورة	1.5
زمن قياس الرطوبة مرة واحدة: [sec]	30…60
قياس العمق: $[m]$	0.15…1
قطر القضيب المجس: $[mm]$	35.5
قطر الثقب: $[mm]$	40…50
التغذية المُستقلة من البطارية المُدخرة أو من العناصر نوع الجهد 343: $[Volt]$	13
الشروط الحرارية للاستثمار: $[C^o]$	5…50
الكتلة: $[kg]$	5

مقياس الرطوبة المحمول الشكل (8-6) مُنجز في شكل هيكل واحد يحوي مجساً (مصدر النترونات السريعة وعداد النترونات البطيئة) ومُخططاً الكترونياً ولوحة رقمية على مُبين سائلي بلوري ومصدر التغذية (مُدخرات صغيرة) وكبلاً ومجساً مُرتبطاً بالمُخطط الإلكتروني.

	**الشكل (8-6): مقياس الرطوبة المحمول.**

يختلف مقياس الرطوبة المحمول عن مقياس الرطوبة بالنظائر المُشعة بالتالي: تُقرأ مُباشرةً قيمة الرطوبة على اللوحة الرقمية، والتحكم بسيط (يمتلك بالمجموع كبستين بالضغط على أيٍ منها يدخل المخطط الإلكتروني في نظام القياس خلال: [sec]40...30) إلى المُبين وتُضيء قيمة الرطوبة نسبةً للقيمة المطلوبة لكثافة التربة الجافة – $[gr/cm^3]$1.6..1.4;..1.2. وفعالية أقل بخمس مرات لمصدر النترونات السريعة وكتلة أقل بثلاث مرات. وبكرة واحدة وبطارية المُدخرة للتغذية اقتصادية (يُحقق شحنها مرة واحدة 4000 وحدة قياس)، وأقل كلفة بمرتين.

الجدول (8-8): المواصفات التقنية لمقياس الرطوبة المحمول:

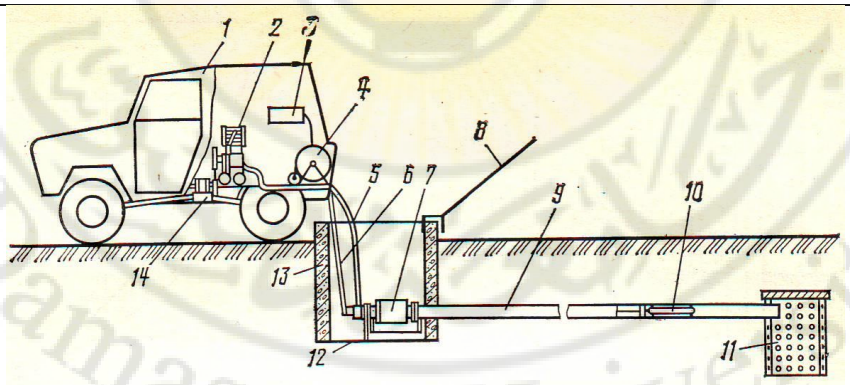
مجال قياس الرطوبة الحجمية: $[gr/cm^3]$	**0.05…0.5**
التقريب التربيعي الوسطي للقياس: $[gr/cm^3]$	**+0.01**
زمن القياس لمرة واحدة: [sec]	**60**
عمق القياس: $[m]$	**0.1…2**
مع الكبل وفق الحجز: $[m]$	**0.1…20**
المجال الفعلي للحرارة: $[C^o]$	**-10…+40**
جهد التغذية: $[Volt]$	**8.4**
مصدر التغذية – المُدخرة يُسمح باستخدام عناصر جافة: قطعة	**10**
الاستطاعة المطلوبة: $[Wat]$	**0.1**
مكونات مقياس الرطوبة:	
المجس	**مُحكم السد**

حماية بالرذاذ	كتلة أو هيكل الكتروني
35.5	قطر المجس: $[mm]$
	مقاسات كتلة أو هيكل مقياس الرطوبة في التجميع: $[mm]$
420	الارتفاع
150×150	المقطع العرضي
10^4	مصدر النترونات السريعة نترون/ثا
5.5	الكتلة: $[kg]$

ملاحظة: قيمة الكثافة للتربة الجافة تُعطى بالضغط على كلا الكبستين.

يُستخدم **مقياس الرطوبة النفقي النتروني** من أجل قياس رطوبة التربة وفق طول الأنبوب، المُثبت أفقياً في الطبقة الترابية المحروثة. يُثبت على هيكل السيارة بمرونة مرور عالية، التي تُعدّ مخبراً حقلياً لمُراقبة احتياطي الرطوبة، الشكل (8-7). تُوضع في صندوق السيارة الأجهزة المطلوبة من أجل انتقال المجس النفقي وفق طول أنبوب المُراقبة: ومُخفض السرعة، وضاغط وصندوق مأخذ القدرة وميكانيزم نقل القوى الدورانية إلى الضاغط وإلى المُخفض، ولوحة التحكم بالميكانيزمات. يسمح نموذج السيارة فعلياً باستخدام جهاز واحد مُراقبة احتياطي الرطوبة في التربة لعدد: 150...200 قطاعات ري بمساحة: $[hr]$10000...20000 .

يُحقق تصميم **مقياس الرطوبة النفقي النتروني** أيضاً إمكانية قياس احتياطي الرطوبة في الحقول وفق الشبكة المُجهزة بثقوب شاقولية مُشابهة لقياس احتياطي الرطوبة بالنترونات.



الشكل (8-7): مُخطط المخبر الحقلي: من أجل تحديد رطوبة التربة: 1- سيارة، 2- ضاغط، 3- لوحة القياس، 4- مُخفض سرعة، 5- خرطوم هواء، 6- سلك، 7- جهاز مراقبة لتنظيم الحركة، 8- غطاء (سدادة) الحفرة، 9- ماسور تقليم، 10- المجس النفقي النتروني، 11- مُجمع هواء، 12- هيكل أو إطار استنادي، 13- حفرة، 14- صندوق مأخذ القدرة.

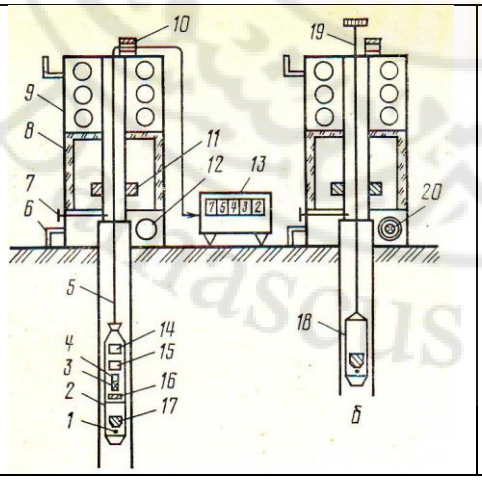
يُمكن باستخدام هذا المقياس تحقيق مُراقبة خطية تكاملية على طول الأنبوب كما مقياس الرطوبة الدقيق. يُعدّ الأسلوب التكاملي للقياس أساس نظام العمل للجهاز عند المُراقبة الفعالة لاحتياطي الرطوبة في حقول الري. تبقى دقة القياس عملياً أيضاً كما عند القياس بدقة.

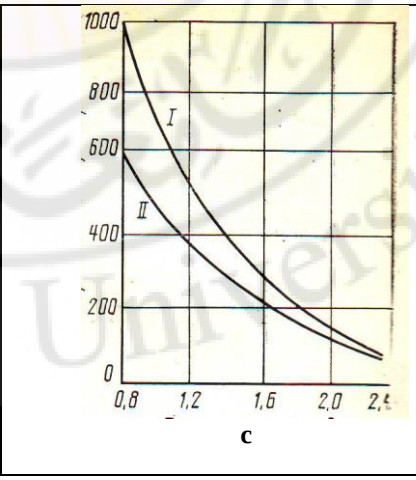
الجدول (8-9): المواصفات التقنية لمقياس الرطوبة النفقي النتروني الحقلي:

مجال قياس الرطوبة الحجمية: $[gr/cm^3]$	**0.01…1**
التقريب الوسطي التربيعي لتحديد احتياطي الرطوبة لقطاع بمساحة: $[hr]60$ ، $[mm]$	**8**
زمن قياس الرطوبة الوسطية على طول أنبوب المراقبة (الفحص): [sec]	**300**
طول أنبوب المراقبة: $[m]$	**60**
عمق وضع أنبوب المراقبة: $[m]$	**0.4…0.8**
جهد التغذية: $[Volt]$	**10…15**
مجال درجات الحرارة الفعلية: $[C^o]$	**-10…+40**
عدد عمال الخدمة بما فيهم السائق	**2**

يتحقق أسلوب أشعة غاما بطريقة مُلاحظة تغير رطوبة التربة عند القياس النظامي لكتلها الحجمية (كثافة التربة والرطوبة الحجمية) في إحدى تلك السماكات أيضاً وفي ذاتها، عندما تكون كثافة التربة ثابتة. يُمكن تحقيق مثل هذه المُلاحظات بواسطة مجموعة الأجهزة المُنتجة لمقياس الكثافة السطحي – العميق بالنظائر المُشعة.

يعتمد مبدأ تأثير مقياس الرطوبة الشكل (8-8;a,b) على انتشار أشعة غاما المُراقبة للمواد وتشتيتها وإضعافها. تتناسب قيمة تيار الانتشار والإضعاف لأشعة غاما مع كثافة المادة. يُبين الشكل (8-8,c) المُخطط البياني التدريجي لعلاقة حساب السرعة المُتعلقة بالكثافة.





الشكل (8-8): المُخطط التكويني لمقياس الرطوبة:: a- قياس العمق، b- القياس السطحي، c- المُخطط التدريجات، 1- مصدر اشعاعات غاما، 2- مجس العمق، 3- كاشف الاشعاع، 4- مُضاعف ضوئي (الكتروني)، 5- كبل، 6- قبضة يدوية، 7- مُثبت هيكل المصدر، 8- مُوزع (مُشتت) بولي إيتليني للاشعاع، 9- جهاز تنظيم الانتقال، 10- مُبين عمق إدخال المجس، 11- ساتر حماية من الرصاص، 12- قناة أفقية (نفق) من أجل وضع الكاشف عند القياس السطحي، 13- عداد النبضات الكهربائية، 14- مُشكل الجهد العالي، 15- مُضخم ومُشكل النبضات الكهربائية، 16,17- ستائر حماية، 18- كتلة المصدر في وضعية القياس السطحي، 19- مُطول، 20- هيكل الكاشف والكاشف في وضعية القياس السطحي، I- من أجل القياس العميق، II- من أجل القياس السطحي عند تعمق مصدر أشعة غاما على عمق: $20[cm]$.

يُحقق القياس أيضاً كما في مقياس الرطوبة. يتكون مقياس الرطوبة من مجس (مُشكل القياس) ومصدر أشعة غاما وكاشف، وكبل موصول مع المجس ومع لوحة التحكم، وجهاز مُراقبة مُتنقل الذي يُحفظ فيه مصدر أشعة غاما المُتنقل.

الجدول (8-10): المواصفات التقنية لمقياس الكثافة السطحي – العميق بالنظائر المُشعة:

مجال قياس الكثافة: $[gr/cm^3]$	**0.8…2.3**
تقريب القياس: $[gr/cm^3]$	± 0.04
عمق القياس: $[m]$	**0…0.3;0.3…30**
زمن القياس لمرة واحدة: $[\sec]$	**100**
مصدر اشعاعات غاما	**Ra*0.1،137سيزيوم**
الحساسية	$4[em/s];0.01[gr/cm^3]$
سرعة الحساب في المياه: نبضة/ثا	**550**
الترددات (الذبذبات) العظمى لتسجيل العداد للنبضات الدورية الداخلة: نبضة/ثا	10^5
الجهد الخارج الثابت: $[Volt]$	**12;..;420**
مجال الزمن المطلوب للقياس: $[\sec]$	**1;10;30;100;300**
زمن إيجاد نظام العمل الفعلي: $[\min]$	**15**
التغذية	**220(Vo);(50Hr)**
مجال الحرارة الفعلية: $[C^o]$	**-10…+40**
الكتلة: $[kg]$	
KTY	**10.7**
CUN-LM	**4.6**
المقاسات: $[mm]$	
KTY	$1050\times 270\times 240$

CUN-LM	$290\times135\times185$
فترة الخدمة المضمونة: بالشهر	**18**
فترة الخدمة: بالسنة	**6**

مقياس الانفعال (الاستطالة)**:** يعتمد الأسلوب على قياس الشد الشعري أو على قياس الطاقة التي تُحفظ الرطوبة في التربة. يتعلق قياس الطاقة والجهد الشعري بالشروط المناخية والجوية، وأيضاً بالمحاصيل الزراعية ونجده في المجال: $[.KPa]80...0$. يُطابق مثل هذا المجال السعة الرطوبية الشعرية للتربة تقريباً: 0.5 من السعة الرطوبية الصغرى. يستطيع أن يُستخدم مقياس الانفعال مُؤشراً للسقاية فقط كما لا يُمكن استخدام مقاييس الرطوبة. يمتاز مقياس الانفعال بالعطالة (بالقصور الذاتي) ويجب تدريجه نسبةً إلى موضع التثبيت. ويجب دورياً غسل المصافي ونزعها من موضع تثبيتها عند قدوم الصقيع.

يسمح جهاز قياس الانفعال الترابي الثابت بقياس القوة الجافة للتربة (على امتداد الرطوبة الترابية)، المُتميزة بتحقيق الرطوبة الترابية من أجل المحاصيل الزراعية.

تُعدّ الميزة الخاصة لمقياس الانفعال الترابي المُبين المُتبدل المحمول القابل للفك والتركيب، الذي باستخدام مُبين واحد يُمكن إجراء مجموعة كبيرة من قياسات الانفعالات. وهو أرخص الأجهزة وتزداد وثوقيتها وتتحسن جودة استثمارها. تدخل مُقاومات كهربائية مُتغيرة (مقاييس فرق الجهد) بثلاثة مقاسات ومُبين في مجموعة مقاييس الانفعال.

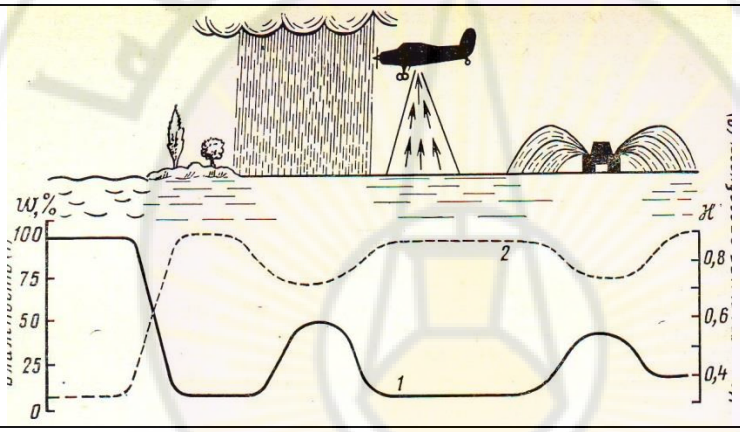
الجدول (8-11): المواصفات التقنية لمقياس الاستطالة.

عمق تثبيت الأجهزة في التربة: $[cm]$	**10…100**
مجال القياس: $[K.Pa]$	**0…85**
التقريب الأساس: $[K.Pa]$	±3
ثابت العطالة (في المياه): $[\min]$	**1**
مجال درجات الحرارة الفعلية: $[C^o]$	**5…50**
المقاسات: $[mm]$	$70\times70\times(350;750;1250)$
الكتلة: $[kg]$	**0.8; 1.2; 1.5**

8-2-2- الأساليب المساحية: تسمح هذه الأساليب عملياً بذات اللحظة بقياس الرطوبة ومُراقبة تغيراتها في المساحة بدءاً من عشرات الأمتار المُربعة حتى مئات وألاف الهكتارات، ويُحصل عليها بالنسبة المُئوية من الكتلة المُطلقة للتربة الجافة. يجب الحصول على معلومات عن كثافة

التربة في تلك الأراضي التي يُنجز القياس عليها من أجل إيجاد الرطوبة بالنسبة الحجمية. تُوجد الأساليب المساحية التالية لقياس رطوبة التربة.

الأُسلوب الموضعي الخامل: يتلخص جوهر هذا الأسلوب بقياس ذاتي وبانتشار الأشعة الكهرامغناطيسية في الأرض بالبصر الضوئي. وبالتالي هذا يُعدّ انخفاض شدة الأشعة وقدرة السماكة الترابية المدروسة. يُستخدم مقياس الأشعة تحت الحمراء بطول موجة: $[m.mk]$8...14 ومقياس مُتعدد الترددات من أجل مجالات أطوال الموجات (من: 1.1 حتى: $[cm]$30) ليس أقل من خمسة وهذا أكثر فعالية للقياس. تُجرى القياسات باستخدام الطائرات وباستخدام المروحيات وباستخدام الأقمار الاصطناعية حول الأرض. الشكل (8-9).



الشكل (8-9): مُخطط خط مبدأ العمل لمقياس الرطوبة بالتردد المتري.

الأُسلوب الموضعي الفعال: تُثبت أجهزة النقل المُستخدمة التي تُشع الموجات في مجال مُحدد على سطح الأرض ويستقبل الانعكاس في الوسائل الطائرة. لا يتجاوز ثابت انعكاس الموجة من السطح غير المستوي: 0.1 من طول الموجة، ويحدث الانعكاس أيضاً كما على سطح أملس مثالي. يتعلق قياس المساحة المُلتقطة بارتفاع الناقل الهوائي المُستخدم ويُشكل: $[m^2]$50...150. تبلغ قدرة الطبقة الترابية المُقاسة (السماكة): $[m]$1.5.

يُمكن أن تُثبت أجهزة القياس على سيارة، وتُستخدم عند السير الألي بالتتالي، وتُثبت أيضاً بصورة ثابتة.

أُسلوب المسح بأشعة غاما من الطائرات: تُشكل العناصر الإشعاعية الفعالة في التربة عند الجو الشتوي الماطر، تتعلق الشدة الإشعاعية لدرجة كبيرة نسبياً بالرطوبة السطحية لطبقة التربة بقدرة: $[cm]$30...40. تُحدد هذه القدرة للطبقة عمق قياس الرطوبة للتربة بواسطة المسح بأشعة غاما. لا يتجاوز تقريب القياس: $[\%]$2...3 من الأوزان.

حصل المسح بأشعة غاما من الطائرات من جميع الأساليب المساحية المُبينة أعلاه حتى الوقت الحاضر على تطور كبير: تقويم التقريب لقياس رطوبة التربة في الحقول الزراعية، جُهزت طريقة لقياس الرطوبة على مساحات كبيرة.

مقياس الرطوبة الجوي: يعتمد أسلوب المسح على تسجيل والتفسير التالي للأشعة الكهرامغناطيسية للغطاء الترابي في مجال سنتيمترات وديسمترات للموجات الإشعاعية. تتعلق شدة هذه الأشعة لدرجة كبيرة نسبياً برطوبة التربة: وارتفاع الرطوبة يزيد من العزل الكهربائي للنفاذية ويزيد الموصلية الكهربائية للتربة وهذا يُنقص من شدة الأشعة ويُنقص قدرة السماكة المُشعة.

يسمح مقياس الرطوبة الجوي بالتقاط قياسات: $500...1000[hr/h]$ عند المسح (التصوير) التفصيلي للرطوبة: $0.3...1[hr]$. وتُقاس الرطوبة في خط عرض يُساوي: 0.7 من ارتفاع الطيران.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المصطلحات العلمية

A	
Actual evapotranspiration	النتح التبخري الفعلي
Agricultural	زراعي
Alkaly soil	تربة قلوية
B	
Basin irrigation	الري بالغمر
Border irrigation	الري بالانسياب
C	
Capillary potential	الجهد الشعري
Consumptive use	الماء المستهلك
D	
Drip irrigation	الري بالتنقيط
Discharge	تدفق
Dispersibility	التبعثر
Drain	مصرف
Drainage water	ماء الصرف
E	
Electrical conductivity	ناقلية كهربائية
Evaporation	التبخر
Equivalent weiqht	الوزن المكافئ
F	
Field capacity	السعة الحقلية
Furrow irrigation	الري بالانسياب
Freeboard	ارتفاع حر
G	

Gravitation potential	الجاذبية الأرضية
Grond water	المياه الجوفية
H	
Hydraulic conductivity	معامل التوصيل المائي
Hydraulic radios	نصف القطر المائي
I	
Infiltration	ارتشاح
Irrigation	ري
L	
Lysimeter	لايزومتر
Leachinq	احتياج الغسيل
Lininq	تغطية
P	
Permeability	نفاذية
Percolation	تسرب
Precipitation	هطول
R	
Reclamation	استصلاح
Reservoir	خزان
Ruqosity	خشونة
S	
Saline soil	تربة مالحة
Saturation soil	تربة مشبعة
Sodic soil	تربة صودية
Soil extract	مستخلص التربة
Soil solution	محلول التربة
Stilling basin	حوض ترسيب
Soil moisture	رطوبة التربة

Soil structure	بنية التربة
Specific volume	الحجم النوعي
Specifc weight	الوزن النوعي
Sprinkler irrigation	الري الرذاذ
T	
Tensiometer	مقياس إجهاد الشد
U	
Unsaturated soil	تربة غير مشبعة
V	
Viscosity	لزوجة
W	
Watre table	سطح الماء الأرضي
Wetted area	مقطع مرطب
Wetted perimeter	محيط مرطب

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المراجع العلمية

١ – مخططات استثمار الأراضي المروية في المناطق الجافة . أخمدجاناف. م . أ .موسكو. كولاس ٢٠٠٥ .

٢ – المرجع في المنشآت المائية الزراعية . لاغينوف . ف . ب . وشوسير. ل.م. موسكو. كولاس ٢٠٠٦ .

٣ – تنظيم توزيع المياه السطحية ونظام التغذية في الأراضي المروية . أيداراف . ي.ب . موسكو ، مجلة أعمال معهد الري واستصلاح الأراضي . ٢٠٠٧ .

٤ – مكننة أعمال السقاية . ساندیغروسكي . د.م. وبيزرودني. ي. أ . موسكو كولاس ٢٠٠٨ .

٥ – المرجع في إجراءات الأعمال الزراعية .إليتسوف. ي.ي. موسكو ٢٠٠٩ .

٦ – أنابيب أنظمة الري . زيوليك . غ. م . مجلة أعمال معهد الري واستصلاح الأراضي موسكو ٢٠١٠ .

٧ – المرجع في مكننة الري . ب.غ . شتيب . موسكو – كولاس ٢٠١٠ .

٨ – مجموعة الوسائل الكيميائية المستخدمة مع مياه السقاية . موسكو غوسابرغرام ٢٠١١ .

٩ – نظام الآلات من أجل مكننة الإنتاج الزراعي . موسكو – الري الجزء الثالث . غوسابرغرام ٢٠١١ .

1 - The organization of the water distribution and a system of the alimentation the irrigation is in the territories . Aedavaf . E. P. Moscow , the blister of an institute acts is the irrigation and the reclamation of the territories . 2005 .

2 - The drawing of a territory investment is the irrigation in the tracts rude horde rude . Ahmedjan . M . A . Moscow .Kolas 2002 .

3 - The resort is in the performances of the agriculture acts . Eletcof . E.E. Moscow 2001 .

4 - The pipes of the irrigation polities . Zulek . G . M . The blister of an institute acts is the irrigation and the reclamation of the territories is Moscow 2002 .

5 - The group of the means with the waters of the irrigation are the alchemy of the servant with the waters of the irrigation . Moscow is Gosaprgram . 2011 .

6 - The resort the waters are in the constructs and the agriculture . . Lagenov .L.M . And than . Shuser . P.M . Moscow . Kolas 2004 .

7 - The mechanisation of the irrigation acts . Sandegroske . A . E . And Bezerodne . D . M . Moscow is Kolas 2009 .

8 - The system of the machines a mechanisation of the production is for the agriculture . Moscow - the irrigation is the third part . Gosaprgram . 2011 .

9 - The resort is in the mechanisation of the irrigation . Shtep . B . G . Moscow . Kolas 2002 .

Damascus University

اللجنة العلمية:

أ. د. الأستاذ الدكتور ياسر حمدان جامعة البعث
أ. د. الأستاذ الدكتور محمد الشبلاق جامعة دمشق
أ. د. الأستاذ الدكتور يوسف مرعي جامعة دمشق

المدقق اللغوي:

د. علي كردي – جامعة دمشق

–حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات–