الفصل السابع عشر

نظم الري الدقيق

روبرت ج. إيفانز (وحدة خدمة البحوث الزراعية - وزارة الزراعة الأمريكية – مدينة سيدني ولاية مونتانا)
ل-باي واي (جامعة هاواي – مدينة هونولولو – ولاية هاواي)
إلين ج. سماجسترال (جامعة فلوريدا – مدينة جينسفيل – ولاية فلوريدا)

ملخص: الري الدقيق هو التطبيق البطيء لمعدل المياه على مواقع متفرقة بضغوط منخفضة وهو يشمل التنقيط أو التنقيط السطحي، والتنقيط تحت السطحي، والرشاشات الصغيرة، والنبعي (النابعات)، وقد حقق أسلوب الري الدقيق وثبات هائلة خلال العقود الثلاثة المنصرمة، حتى صار هو النظام القياسي لممارسات الري الفعالة في المحافظة على الماء وتحقيق الاستجابات المثلى للنبات. والري الدقيق ليس إلا مجموعة مرنة للغاية من التقنيات التي يمكن تطبيقها بصورة اقتصادية على كافة المحاصيل وأنواع التربة ومختلف المناطق المناخية، إلا أن الري الدقيق مع ذلك يتطلب مستوى متقدماً من الإدارة أو التحكم، وتلك النظم مع تجهيزاتها ومكوناتها الفريدة من نوعها جميعا تتصف بأنها ذات احتياجات ومشكلات تخصصية الطابع. وهذا الفصل يتناول بالنقاش الكثير من مميزات وعيوب مختلف تقنيات الري الدقيق وتطبيقاتها على كل من المحاصيل البستانية والمحاصيل الحقلية. وسوف يتم بالتفصيل معالجة مسائل جودة المياه والتنقية والإدارة.

الكلمات الأساسية: النابعات، التصميم، التنقيط، الري، الإدارة، الرشاشات الصغيرة، التنقيط.

(١٧,١) مقدمة

إن تطور التقنيات الحديثة للري بالتنقيط في ستينيات القرن العشرين قد ميز خطوة بارزة في تاريخ علم وتقنية الري. فقد كانت المحاولات الأولى مثقلة بالمشكلات، ولكن على كل الأحوال، تم التغلب على معظم هذه المشكلات، كما أن كافة جوانب موضوع الري الدقيق تقريباً قد بلغت قدراً كبيراً من النضج منذ ذلك الحين، ولا سيما في مجالات التنقية، ومعالجة المياه، وتقنية التنقيط. ودراسة باكس Bucks (1995) توفر لأولئك الذين قد يرغبون في المزيد من المعلومات ملخصا ثرياً وموجزاً عن تاريخ تقنية الري.

والري الدقيق يشمل أى طريقة ري موضعية تقوم بشكل بطيء ومتواتر بإمداد الماء مباشرة إلى حيز جذور النبات. ويندرج تحت هذا المصطلح العام كل من الري بالتنقيط، والري بالنضّ، والنابعات، والرشاشات الصغيرة المحصورة موضعياً، والمحاور الدوّارة الصغيرة، والرذاذات الدقيقة والتي تتسم جميعها بمعدل بطيء لإضافة الماء على مواضع متفرقة بضغوط منخفضة، وكذا القيام بري جزء واحد فقط من حجم تربة الحقل هما أمران يمكن أن ينتج عنهما نظم توزيع مياه رخيصة التكلفة نسبياً، وبالإضافة إلى تقليل انجراف المياه بعيدا عن هدفها، مقارنة بنظم الري الأخرى.

والري الدقيق يطرح إمكانية توفير مستوى متقدم ودقيق من التحكم، فهو ليس إلا طريقة ري مرنة للغاية. وطريقة الري الدقيق يمكن تطبيقها على أي محصول زراعي وفي أي نطاق مناخي. وطريقة الري الدقيق يمكن استخدامها عبر نطاق واسع من الظروف التضاريسية، ومن ثم فهي قد سمحت باتساع رقعة إنتاج محاصيل الري في مناطق ذات تربة تتسم بوجود مشكلات فيها (من قبيل إما معدلات التسرب المنخفضة جداً أو العالية جداً) وذات مياه رديئة الجودة والتي لا يمكن استخدامها مع طرق الري الأخرى، والري الدقيق يمكن استخدامه كنظام توزيع للماء يكون إما سطحياً أو تحت سطحي.

والري الدقيق يمكن استخدامه مع معظم المحاصيل الزراعية، على الرغم من أنه غالباً ما يتم استخدامه مع المحاصيل المميزة عالية القيمة مثل الخضروات ونباتات الزينة

والكروم وأنواع التوت، والزيتون، والأفوكاتو، والجوز، ومحاصيل الفاكهة، ونباتات البيوت المحمية، وفي الكثير من الحالات، يمكن استخدام طريقة الري الدقيق بشكل اقتصادي مع المحاصيل الحقلية، ومسطحات الجولف الخضراء، والممرات الخضراء المحيطة بها، والقطن وقصب السكر. وعلى كل الأحوال، نجد أن متطلبات التصميمات الملائمة والتحكم الملائم في المناطق الرطبة يمكن أن تختلف بشكل كبير عن نظيرتها في المناطق الجافة، وأن التقنية وأساليب العمل الملائمة في منطقة من المناطق قد لا تصلح في منطقة أخرى، ومن ثم فطريقة الري الدقيق لن تكون هي طريقة الري الأكثر ملاءمة أو الأكثر اقتصاداً في كل الأحوال.

واستخدام الري الدقيق يتزايد بشكل متسارع حول العالم، ومن المتوقع لهذا الاستخدام أن يستمر ليصبح الري الدقيق طريقة ري فعالة في الإنتاج الزراعي في المستقبل المنظور، ومع المطالب المتزايدة على المصادر المائية المحدودة، ومع الحاجة إلى تقليل العواقب البيئية لعملية الري إلى الحد الأدنى لها، فلاشك في أن طريقة الري الدقيق ستلعب دورا أكثر أهمية في المستقبل. فطريقة الري الدقيق (أو المُقنَنّ) توفر العديد من المنافع الفريدة من نوعها سواء من المنافع الزراعية، أو منافع المحافظة على كل من الماء والطاقة، وتلك المنافع التي تعالج الكثير من التحديات التي تواجه الزراعة بالري. فالمزارعون وغيرهم من مستخدمي طريقة الري الدقيق هم في حالة بحث دائم عن تطبيقات جديدة، مثل إعادة استخدام مياه الصرف، وهو ما سيظل يطرح تحديات جديدة أمام القائمين على المصممين ومديري الري.

فأي نظام للري لابد أن يكون متوافقاً مع عمليات زراعة التربة المرتبطة بمحصول معين. وتبني العمل بطريقة الري الدقيق قد يتطلب إدخال تعديلات جديدة أو مبتكرة على مختلف الممارسات الزراعية، بل وحتى على أي تطوير لحصاد جديد أو لمعدات زراعة جديدة. وعلى سبيل المثال، الخطوط الفرعية السطحية يمكن أن تعيق عمليات الحصاد التقليدية، مما يستلزم عملية إزالة لشبكة الأنابيب قبل الحصاد، أو يستلزم تطوير آلة حاصدة جديدة، وأساليب حصاد جديدة. فالخطوط الفرعية يمكن أن

يتم دفنها لكن ذلك بشكل عام يتطلب التحول إلى استخدام الحدّ الأدنى من حرث التربة أو إلى استخدام نظم جور البذور الدائمة.

والأمر يتطلب فهما عميقا لأوجه المنفعة والقصور الفريدة من نوعها لنظم الري الدقيق من أجل تصميم وإدارة هذه النظم بشكل ناجح. وكما هو الحال مع طرق الري الأخرى، هناك توازنات بين كل من التأثيرات الإيجابية والتأثيرات السلبية على كل من جدولة الري وكفائته، وانتظامه، بالإضافة إلى التأثيرات البيئية، واستجابات المحاصيل، والاعتبارات الاقتصادية.

(١٧,١,١) مزايا وعيوب الري الدقيق

إن الري الدقيق له مزايا كما أن له عيوباً لابد من فهمها وأخذها في الاعتبار قبل تبني العمل بهذه التقنية، فأما المزايا فتشمل المحافظة على الماء وخفض التأثيرات الضارة بالصحة لنوعية الماء نتيجة لكفاءات التطبيق العالية، وقابليات الآلية، وتحسين أو زيادة إنتاجية المحاصيل، وتيسير التطبيقات الكيميائية، وإمكانية استمرار العمل بهذه التقنية. وأما العيوب فتتضمن إمكانية عالية لانسداد المنقطات، وارتفاع تكلفة النظام، والاحتياج إلى مستويات متقدمة من التحكم.

(١٧,١,١,١) المزايا

يتم استخدام طريقة الري الدقيق بشكل شائع في المناطق محدودة المياه، وذات التكلفة المرتفعة للمياه، ولكن لطريقة الري الدقيق تلك قيمة كبيرة في مناطق أخرى أيضاً. فنظم الري الدقيق التي يتم بشكل ملائم تصميمها وتركيبها وإدارتها، يمكن لها أن تقضى على عملية الجريان السطحي، وما يرتبط بها من انجراف للتربة، كما يمكن لها أن تعمل على توزيع الأسمدة القابلة للذوبان في الماء بكفاءة وانتظامية، مع تحقيق انتظامية عالية وكفاءة لعملية توزيع الماء. ونظم الري الدقيق تميل بشكل عام لأن تحظى بمناطق بلل أصغر مساحةً، وتسربّ عميق أكثر انخفاضاً، وفقد بالبخر أقل مما في طرق الري الأخرى. ويمكن أن يكون هناك اقتصاد في كل من الماء والمواد الكيماوية بسبب

زيادة الكفاءة، والخفاض تكاليف مكافحة الحشائش الضارة كنتيجة لأن منطقة سطحية محدودة هي فقط التي يتم تبليلها بالماء، كما يمكن تحقيق إنتاجية أفضل بسبب تحسين السيطرة على الماء والعناصر الغذائية في البيئة المحيطة بجذور النبات.

وطريقة الري الدقيق بشكل عام لها كفاءات إنتاج عالية سواء تم التعبير عنها بالإنتاجية لكل وحدة ماء، أو بالإنتاجية لكل وحدة مدخل غذائي، أو بالإنتاجية لكل وحدة مساحة من الأرض، كما أن عملية الري بالتنقيط قد سهلت من الممارسات الزراعية المتقدمة مثل استخدام أغطية المهاد البلاستيكية أو الورقية لتقليل نمو الحشائش، ولتدفئة التربة، ولتقليل عملية البخر من التربة. ونتيجة للحجوم الصغيرة نسبيا لكل من الأنابيب والصمامات، تتم أتمتة (أتوماتيكية) نظم الري الدقيق بشكل يسير ورخيص، وهو ما يقلل تكلفة التشغيل ويعمل على تحسين مرونة الإدارة بشكل عام.

ولأن طرق الري الدقيق تستطيع إضافة الماء بمقادير صغيرة تعادل تقريباً مقدار الماء المفقود في البخر-نتح، نجد أن خصائص التربة مثل معامل التوصيل الهيدروليكي والقدرة على تخزين الماء، عادة لا تكون من عوامل القصور، وقليل من الملح قد يتم إضافته مع ماء الري؛ لأن مع مثل هذه النظم عالية الكفاءة لا تدعو الحاجة إلا لاستخدام القليل من الماء. والخفاض قيم الشدّ السطحي للتربة يقلل من أخطار الملوحة، ويعمل على تحسين القدرة على إدراة الأراضي ذات التربة الملحية أو المشبعة بكربونات الصوديوم، ويسمح باستخدام مياه أقل جودة من تلك التي يتم استخدامها مع طرق الري الأخرى. ولكونها عالية الكفاءة، نجد أن طريقة الري الدقيق غالباً ما يتم تمييزها على أنها من أفضل ممارسات الإدارة لخفض تلوث المياه الجوفية الناتجة عن الري.

والقدرة بدقة على إدارة نقص ماء التربة، والقدرة على وضع كميات علاجية من العناصر الغذائية وغيرها من المواد الكيماوية الأخرى خلال نظام الري، غالباً ما تؤدي إلى زيادة الإنتاجية. وبوجه عام، أوضحت عدد من الدراسات بشكل دائم

وجود زيادات في نمو النباتات وإنتاجية المحصول مقارنة بأساليب الري الأكثر تقليدية، كدالة متناسبة مع كل من الجدولة والإدارة. وكما أن المحاصيل الحولية قد تشهد هي الأخرى نموا أكثر تعجلا، وإثمارا أكثر تبكيراً في ظل تطبيق تقنية الري الدقيق لأن إجهاد الماء والعناصر المغذية على النباتات اليافعة ذات نطاقات الجذور الصغيرة، قد يتم خفضها بشكل كبير. كما أن التماثل في نمو النبات عبر الحقل الواحد كنتيجة للانتظامية في نسب توزيع الماء والعناصر المغذية، يسهم كذلك في الزيادات الكلية لإنتاجية المحصول.

والري الدقيق يجب أن يُدار كنظام إضافة الماء والعناصر الغذائية في نفس الوقت. فكل من المخصبات وغيرها من المواد الكيماوية القابلة للذوبان في الماء مثل مبيدات الآفات (مثل مبيدات الديدان الخيطية، والمبيدات الحشرية الشاملة، ومبيدات الحشائش)، ومحسّنات التربة (مثل الأحماض، والبوليمرات، ومسحوق الجبس)، من الممكن توزيعها بشكل كفء وفعال من خلال نظم الري الدقيق. ونظم الري بالتنقيط المدفونة تكون ملائمة لتوزيع مركبات تطهير التربة بالتبخير، بالإضافة إلى المواد الكيماوية الأخرى التي تميل لأن تثبتها جزيئات التربة (مثل بعض مبيدات الآفات، والمخصبات الفسفورية).

ونظم الري الدقيق، إذا ما تم تصميمها وإدارتها بشكل جيد، يمكنها أن تقلل من التأثيرات الخارجية لعملية الري على بيئة الحياة البرية وعلى النظم البيئية المائية، مقارنة بطرق الري الأخرى. وغالباً ما يتم تقليل استخدام مبيدات بسبب زيادة كفاءة المبيدات الحشرية الشاملة. وفي المناطق الجافة، تكون عادةً تكلفة مبيدات الحشائش أقل؛ لأن جزءًا صغيراً فقط من المنطقة هو الذي يبلل بالماء، ومن ثم يقل نمو الحشائش، ولأن غطاء التربة والنبات يكون بوجه عام أكثر جفافاً، وغالباً ما يكون ضغط الأمراض الفطرية منخفضاً، ويكون استخدام المبيدات الفطرية بشكل عام أقل (Scherm and van Bruggen 1995). الأفلام البلاستيكية (القابلة وغير القابلة للتفسخ

الحيوي)، والصحائف الورقية كبيرة الحجم، وغيرها من أغطية المهاد غالباً ما تعمل بصورة جيدة جداً عند زراعة المحاصيل المروية بالتنقيط لمكافحة الحشائش (وللحد من استخدام مبيدات الحشائش)، ولتقليل فواقد البخر من التربة.

ويمكن لنظم الري الدقيق أن تعمل على تحسين الاستمرارية طويلة الأمد لإحدى العمليات الزراعية بسبب قدرتها على البلوغ بكفاءات تطبيق الماء حدودها القصوى مع تقليل التطبيقات الكيميائية إلى حدها الأدنى. ويمكن بصورة أكثر كفاءة استغلال المصادر المائية المحدودة (في الجودة أو الكمية) في الإنتاج الزراعي، وبالتالي توفير المزيد من الماء من أجل الاستخدامات التنافسية، أو خفض حالات سحب المياه من الطبقات الجوفية. وبالإضافة إلى ذلك، فإن طرق الري الدقيق هي نظم منخفضة الضغط، تستخدم بشكل نمطي طاقة إجمالية أقل بالمقارنة بالرشاشات.

(١٧,١,١,٢) العيوب

نتيجة لصغر أحجام فوهاتها نسبياً، يمكن لمنقطات الري الدقيق أن تنسدّ بسهولة بسبب العوامل الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية، والانسداد يؤثر على الانتظامية بشكل سلبي، ويمكن له أن يلغي فوائد وفعاليات طريقة الري الدقيق.

ونظم الري الدقيق هي بوجه عام غالية التكلفة عند التركيب والصيانة ولكنها مشابهة في التكلفة لأغلب طرق الري المتطورة الأخرى. وبالنسبة للنظم الأكبر (تساوي أو أكبر من ١٠ هكتارات) ذات المسافات المتقاربة بين النباتات، نجد أن تكلفتها تضاهي تكلفة نظم الرش الثابتة الدائمة التي تغطي نفس المساحة على الرغم من أن نظم الترشيح والمعالجة الكيميائية هي أوجه إنفاق رئيسة يمكن لها أن تتباين على نطاق واسع اعتماداً على الظروف وحجم النظام. والنباتات العالية الكثافة والتي تتطلب كميات كبيرة من الأنابيب قد لا تكون اقتصادية، فكلفة التشغيل ستكون مرتفعة بسبب الحاجة إلى كل من المعالجة الكيميائية، والتنقية، والأيدي العاملة من أجل الغسيل الروتيني لخطوط الأنابيب، على الرغم من أن التكاليف المنخفضة للطاقة وتوفير المياه يمكن أن

توازن بعضاً من هذه الزيادة. وكذلك يمكن أن تكون هناك تكاليف كبيرة مرتبطة باسترجاع والتخلص من أشرطة الري وأنابيب الري، وأغطية المهاد البلاستيكية غير القابلة للتحلل الحيوي للجراثيم.

ولابد من توافر مستوى عال من الإدارة لتشغيل وصيانة نظم الري الدقيق. فمدير النظام (أو القائمون على التحكم بالنظام) يُشترط فيهم مستوى أكبر من التدريب والكفاءة عن القائمين على التحكم بنظم الري السطحي أو الري بالرشاش. فهم يتقاضون رواتب أعلى وعادة ما يتم توظيفهم طوال العام، بسبب الحاجة إلى الإبقاء والاحتفاظ بمهاراتهم، وعلى كل الأحوال، فإن بمقدورهم تغطية ما بين ثلاثة إلى اربعة أمثال المنطقة المزروعة التي قد يغطيها القائم على الري باستخدام طرق الري التقليدية، وذلك بسبب عملية الأتمتة في المقام الأول. وكما أن المستوى المتقدم من الإدارة، يتطلب تبني العمل بالتقنيات المساعدة (مع ما يرتبط بها من تكاليف)، مثل جدولة الري، ومراقبة ماء التربة، وإجراء تحليل تفصيلي من آن لآخر حول تغذية أنسجة النبات، من أجل برامج عملية الرسمدة (التسميد أثناء الري).

وكقاعدة عامة، فإن نظم الري الدقيق تتصف بكونها أقل تهاوناً مع الأخطاء في الإدارة أو مع رداءة التصميم مقارنة بنظم الري الأخرى التي تروي نطاقاً أوسع بكثير من حيز جذور النبات. وتتراوح هذه المشكلات ما بين الإفراط في الري وترشيح المواد الكيماوية، وصولاً إلى الجفاف الحاد، أو الملوحة، أو ضغوط العناصر الغذائية.

ونسب التوزيع غير المتماثلة لكل من الماء والعناصر الغذائية والجذور على امتداد الحقل يمكن أن تتسبب في مشكلات لا تظهر إلا في حالة الري الدقيق. أما النطاق المحدود من التربة المبللة بالماء فقد يؤثر على اتساع نظام جذور النبات، وعلى الثبات الفيزيائي للنبتة. وكما أن حجوم الجذور الأصغر تعمل على تقليل مقدار ماء التربة المتاح لحماية النبات ضد الجفاف في حالة إخفاق نظام الري. وبالإضافة إلى ذلك، نجد أن النطاقات المحدودة من التربة المبللة بالماء تزيد من صعوبة الإبقاء على حالة

تغذية متوازنة للتربة لأن إمكانية الوصول إلى العناصر الغذائية المخزونة في مواضع التربة المجاورة غير المروية، هي إمكانية محدودة.

إن مشاكل الآفات الزراعية قد تتغير لأن الري المتواتر يؤدي إلى خلق ظروف بيئية وحالات رطوبة تكون مواتية لظهور الأمراض الفطرية أو الآفات الزراعية، والتي قد لا تمثل مشكلة في ظل تطبيق تقنيات الري الأخرى (مثل قمل النبات، والذي يفضل الظروف الجافة للتربة). وعمليات الري المتواترة يمكن أن تتسبب كذلك في خلق ظروف مثلى مواتية لبعض أمراض النبات والتي تتطلب تحكماً خاصاً (مثل التطهير بالتبخير، قبل و/أو بعد موسم النمو لتقليل العدوى).

أما أنابيب الري الدقيق المصنعة من البولي إيثيلين فيمكن أن تتضرر فيزيائياً بواسطة عدد من الأسباب الميكانيكية والطبيعية. فالتلفيات الناشئة عن المعدات الزراعية شائعة الحدوث، كما أن كلا من ذئاب البراري، والقوارض وغيرها من الحيوانات، يمكن أن تتسبب في إتلاف أنابيب الري، ولا سيما حين تكون بصدد البحث عن الماء في المناطق الجافة، وأما سناجب الجوفر وغيرها من القوارض، فتتسبب في تمزيق الأنابيب المدفونة بينما هي بصدد الحفر لبناء جحور. وأما طيور نقار الخشب فقد لوحظ أنها تنقر ثقوباً في الأنابيب. وأما الحشرات والعناكب فيمكن لها أن تتسبب في انسداد المنقطات، ولكنها أيضاً تتسبب في توسيع الفوهات عندما تكون بصدد البحث عن الماء. أما الحشائش الطويلة، والحشائش، وخيوط العناكب، والحشرات الكبيرة الحجم، فيمكن لها أن تتسبب في إيقاف الحركة الدوّارة للمرشات الدقيقة.

(١٧,١,٢) التربة، وكمية الماء، واعتبارات نوعية الماء

(١٧,١,٢,١) التربة

يجب أن يتم تصميم وإدارة نظام الري الدقيق ليتوافق مع أنواع التربة التي يتم استخدامه عليها، فالتربة الرملية العميقة غالباً ما يكون لها انتشار جانبي للماء قليل مما يتطلب العديد من الريات الصغيرة كل يوم و/أو استخدام الرشاشات الصغيرة لتوسيع

حجوم الجذور المبللة بالماء. فالجدولة غير الملائمة، نتيجة لرداءة تصميم أو إدارة نظام الري، يمكن أن تتسبب في حدوث تسرب عميق للماء مع حدوث استنزاف لعناصر التغذية. فعندما تتجاوز معدلات الإضافة القدرة على التسرب، نجد أن التربة تصبح مشبعة، وربما تظهر الحشائش وغيرها من المشكلات نتيجة اتساع رقعة المناطق المروية، بل ربما تحدث عملية الجريان السطحي. وبالإضافة إلى اعتبارات التلوث البيئي، يمكن لتغدق التربة بالماء أن يتسبب في زيادة أمراض النبات ويحفز ظهور اضطرابات فسيولوجية في النباتات.

أما ملوحة التربة فسوف تؤثر على كل من تصميم وإدارة نظام الري لأن الأملاح تتراكم عند حواف المناطق الرطبة وعلى سطح التربة، والعجز في الري يمكن أن يؤدي لظهور مستويات مفرطة من الأملاح في طبقات التربة، وهذه الأملاح تحتاج لأن يتم غسلها بشكل دوري، وهو ما يمكن أن يتعقد عند ظهور مسارات تدفق تفضيلية. كما أن استخدام أغطية المهاد من الطبقات الفيلمية البلاستيكية، والتي تعمل على تقليل البخر من التربة، وجد أنها قد تعمل على خفض ملوحة التربة بشكل مباشر أسفل أغطية المهاد. أما حقن الأحماض (مثل السلفوريك) فقد يكون مطلوباً في بعض الأحيان من أجل زيادة ذوبان الأملاح لتسهيل ترشيحها.

وأقصى رشح للأملاح سيظهر قرب المنقطات، وستنخفض الفعالية كلما ابتعدنا عن المنقطات. واستنبات بذور بعض المحاصيل، قد يتطلب اتباع طريقة الري بالرش لتحريك الأملاح تحت قاع جورة البذرة. وفي المناطق القليلة الأمطار، قد يكون من الضروري اتباع طريقة الري بالرش بشكل دوري لدفع الأملاح إلى ما دون عمق أنابيب الري. ومن الأساليب الأخرى للتحكم في الملوحة، القيام بالري أثناء المطر، لدفع الأملاح إلى خارج الحيز المروي. كما يتم أيضاً استخدام طريقة تشكيل قاع مرقد البذور والتي تعمل على تشكيل مرقد بذور أعلى من اللازم، ومن ثم فإن نظام التنقيط يتم تشغيله لدفع الأملاح إلى السطح، ثم بعدئذ يتم كشط سطح التربة المالح إلى الجانب ويكون المحصول مغروساً في التربة الأقل ملوحة عميقاً في مرقد البذور.

ولابد من إجراء تحليل كيميائي كامل للتربة كجزء استهلالى من عملية التخطيط لإضافة الماء إلى جانب التخطيط للقرارات المتعلقة بعملية الزراعة نفسها. كذلك قد تظهر الملوحة أو التغيرات الحادثة في الرقم الهيدروجيني pH فى التربة نتيجة لنوعية الماء أو كنتيجة لمختلف برامج معالجة المياه، وبرامج التحكم في الكيماويات و/أو المخصبات (الأسمدة). والرقم الهيدروجيني pH فى التربة يمكن أن يكون له تأثيرات رئيسة على توافر العناصر الغذائية للنباتات، وفي بعض الحالات، يمكنه أن يسبب السُمّية. أما محسّنات التربة (مثل مسحوق الجبس أو الجير) فلابد من استعمالها قبيل عملية الغرس، لتحسين المشكلات المتوقعة أو القائمة بالفعل، على الرغم من أن بعض الجبس الإضافي يمكن حقنه من خلال نظام الري الدقيق. ولابد للمنتجين الزراعيين من أن يقوموا بشكل سنوي بمراقبة كيميائية التربة في منطقة الجذور طوال فترة عمر نظام الري.

(١٧,١,٢,٢) كمية الماء

لابد من تحديد كل من توقيت وتوافر وموثقية إمدادات المياه طويلة الأمد. فأعماق الري الموسمية المطلوبة لكثير من المحاصيل يمكن ان تتراوح بين ١٠٠ و٢٠٠٠ مم. وغالباً ما يتم تصميم نظم القنوات ونظم توزيع المياه داخل المزارع بحيث تعمل على استيفاء متطلبات الري السطحي أو الري بالرش (أي، ١,٠ لتر/ث لكل هكتار اعتماداً على إجمالي المنطقة المروية من المزرعة) أو ربما تكون مقادير توزيع الماء معتمدة على مناوبات زمنية (مثل كل سبعة أيام)، وهو ما لا يتلاءم مع تصميمات الري الدقيق. ويكون البخر-نتح ET أعلى مع الري الدقيق بسبب انخفاض جهد الجفاف، على الرغم من أنه سيكون لأغلب الوقت أقل من نظيره في طرق الري الأخرى نتيجة لانخفاض فواقد البخر من التربة، ويتطلب الأمر وجود آبار مياه إضافية وبرك تخزين إضافية للانتفاع بشكل فعال بتقنيات الري الدقيق في ظل ظروف معينة.

(١٧,١,٢,٣) نوعية الماء

إن الخواص الفيزيائية والبيولوجية والكيميائية لنوعية الماء، بما في ذلك الملوحة، هي شأن ذو أهمية رئيسية عند إدارة كافة نظم الري الدقيق (Nakayama and Bucks, 1991; Lamm *et al.*, 2000). فالخواص الفيزيائية والبيولوجية والكيميائية لإمدادات الماء من كافة المصادر (مثل الآبار، والقنوات ومياه البرك المعاد استخدامها) لابد من أخذها في الحسبان. فإمكانية انسداد المنقطات بالملوثات الفيزيائية أو البيولوجية أو الكيميائية يمكن أن تتسبب في خلق مشكلات هامة. فالنجاح مرهون بتنقية ومعالجة الماء لتتماشى الشروط الفعلية لجودة الماء طوال العام مع كل من المياه السطحية والمياه الجوفية. وفي بعض الأحيان، لا يكون من المجدي اقتصادياً معالجة مصدر الماء لجعله ملائما لطريقة الري الدقيق ومن ثم لابد من التفكير في طريقة ري أخرى.

وبرنامج معالجة الماء الناجح لابد له من مراعاة أسوأ الظروف الممكنة، ويستوفي معايير جودة الماء العالية المطلوبة في نظام الري الدقيق. ولابد من تقييم احتمالية تملح التربة نتيجة لإمدادات المياه. فعملية الرسمدة، وعملية حقن المواد الكيماوية الأخرى تستلزم معرفة بالمكونات الكيميائية للماء لضمان التوافقية بين المواد الكيماوية المحقونة وكذلك للمساعدة في تحديد التدابير والاحتياجات المناسبة للمعالجة الكيميائية للماء.

أما الاختبارات المعملية فهي ضرورية لتحديد طبيعة وتكوين الملوثات غير العضوية، وكذلك لتحديد الحصص النسبية لكل واحد من تلك الملوثات والتي قد تخلق مشاكل بارزة في الإدارة طويلة الأمد لنظام الري، أو قد تؤثر على انتفاع المحصول من الماء والعناصر الغذائية. والمخاوف النوعية هنا تشمل الرقم الهيدروجيني pH، والملوحة (التوصيل الكهربائي)، والكالسيوم، والماغنسيوم، والصوديوم، والحديد، والمنجنيز، والكربونات، والبيكربونات، والكبريت. أما الملوثات العضوية فتكون في بعض الأحيان مشكلة كبيرة، ولكن تلك الملوثات العضوية عادة ما تتم مكافحتها بواسطة التنقية الجيدة والمعالجة بالكلور.

وبرنامج المعالجة الجيد قد يتكون من العديد من الخطوات أو المراحل المتابعة التي تشمل: أحواض الترسيب، شبكات الجاذبية، فواصل الطرد المركزي، المرشحات المنخلية، المرشحات القرصية، المرشحات الوسطية، بالإضافة إلى حقن الكلور أو الأحماض أو مواد المعالجة الكيماوية الأخرى للماء. وكل من التصميم والإدارة الملائمة لكل مرحلة من مراحل نظام المعالجة يوفران القدرة على المحافظة على استيفاء المعايير العالية لجودة الماء طوال فترة دوام المشروع على الرغم من التفاوتات في الخواص الفيزيائية والكيميائية بمرور الزمن. وهناك المزيد من المعلومات النوعية والتفصيلية حول المسائل الخاصة بجودة الماء والمرتبطة بطريقة الري الدقيق ستتم مناقشتها في العديد من الأقسام اللاحقة في هذا الفصل.

(١٧,١,٣) الاعتبارات البيئية

هناك فوائد بيئية كبيرة يمكن أن تنتج عن نظم الري الدقيق، ونظم إضافة الكيماويات، والمصممة والمُصانة والمُدارة بشكل لائق. فالفوائد البيئية تنتج عن تقليل انحرافات الماء، وتقليل استخدام الكيماويات، وانخفاض تلوث المياه الجوفية من خلال خفض تسريب الأملاح والمواد الكيماوية الأخرى أسفل مستوى حيز جذور النبات.

وعلى الرغم من أن الري الدقيق بمقدوره تحقيق توزيع عالي الانتظامية للماء، إلا أنه في الواقع لا يكون دوماً تام الانتظامية. ونتيجة لذلك، فإن بعض أجزاء من الحقل سيتم الإفراط في ريها بينما البعض الآخر سيتم العجز في ريها. فالإفراط في الري سيتسبب في هدر الماء وينتج عنه تسرب عميق مما قدّ يلوث مصادر المياه الجوفية العميقة. ويُعزي ظهور نسب الفقد في التسرب العميق إلى الإفراط في تقدير البخر-نتح ET مما يؤدي إلى الإفراط في إضافة الماء، وإلى عدم انتظامية الري، وإلى الإفراط في الري بسبب سوء جدولة الري أو بسبب الافتقار إلى الأتمتة والمراجعة، وإلى الترشيح للتحكم في ملوحة التربة. أما العجز في الري فسينتج عنه خفض في إنتاجية المحصول وقد يتسبب في تراكمات غير مرغوبة في ملوحة التربة.

الإضافة غير الملائمة لبعض مبيدات الآفات الزراعية وعناصر التطهير بالتبخير تؤثر بصورة سلبية على أشكال الحياة البيولوجية المختلفة في التربة، بما يشمل ديدان الأرض، والبكتيريا، والفطريات، والحشرات. وتصريف مياه التنظيف من المرشحات والخطوط الفرعية قد يمثل مشكلة في بعض الأحيان، لا سيما إذا كان هناك مبيدات آفات أو أسمدة في ماء التنظيف.

(١٧,١,٤) الاعتبارات الاقتصادية

إن الهدف النهائي لأي نشاط زراعي هو تحقيق أقصى صافي عائد اقتصادي. وكل من انتظامية نظام الري، وممارسات جدولة الري، وتكلفة مياه الري، وسعر المحصول، وحالات النقص في إنتاجية المحصول بسبب الري الناقص، والتلف الناتج عن الإفراط في الري، بما يشمل التلوث المحتمل للمياه الجوفية، هي جميعها عوامل غاية في الاهمية، لتأثيرها على العائد الاقتصادي لنظام إنتاج زراعي بطريقة الري الدقيق. وكما ان كلا من العائدات الاقتصادية المتوقعة، والانتظامية اللازمة لنظام الري، هي أمور يمكن لها أن تؤثر هي الأخرى في انتقاء المنقطات.

(١٧,٢) نظم الري الدقيق

(١٧,٢,١) الطرق

إن طرق الري الدقيق يتم تعريفها بشكل عام بواسطة أداة إطلاق الماء. فأداة إطلاق الماء تتراوح ما بين الأنابيب البلاستيكية الرفيعة الجدران ذات فوهات الثقوب البسيطة، والرشاشات الصغيرة، ومنقطات الفوهة ومنقطات المسار الطويل ذات التصرف الطبقي، والأنابيب الدقيقة، وصولا إلى المنقطات الأكثر إتقاناً وكفاءة، كالمنقطات ذات المسار المضطرب، والمنقطات المعادلة للضغط. وبعض أدوات إطلاق الماء يتم تصنيعها كجزء لا يتجزأ من الأنابيب وأشرطة الري البلاستيكية، بينما البعض الآخر يعلق أثناء التركيب.

أما موزعات الماء السطحية فتشمل المنقطات (المقطرات)، والرشاشات الصغيرة/ والرذاذات الدقيقة، والنابعات، وجميعها تقوم بتوزيع الماء فوق أو أعلى سطح التربة. والتنقيط تحت السطحي يشمل استخدام المنقطات ذات مصادر التوزيع النقطية للماء، أو أشرطة وأنابيب المنقطات ذات مصادر التوزيع الخطية للماء من أجل إضافة الماء فيما تحت سطح التربة على أعماق تعتمد على نوعية التربة والمحصول. والتنقيط السطحي وتحت السطحي ظل يتم استخدامه كذلك للتحكم في منسوب الماء الأرضي في بعض المناطق الرطبة كبديل عن الري التحتي، ولا سيما مع محاصيل الخضر. ويتم تصميم كل من المنقطات والنابعات لإضافة الماء عند الضغط الجوي أو أعلاه بشكل طفيف، بينما، الرشاشات الصغيرة تقوم بإضافة الماء عند ضغط يبلغ ما بين ٧٠ إلى ما يزيد على ٢٥٠ كيلوبسكال.

وهناك اثنتان من الفئات العامة للخطوط الفرعية للري الدقيق، هما أشرطة الري وأنابيب الري والمصنعين من البولي إيثلين. والأشرطة قابلة للطيّ، وهي أنابيب بولي إيثلين رفيعة الجدران، ومنخفضة الضغط، وعلى متنها منقطات أو فتحات، أما الأنابيب فهي أكثر متانة وتكلفة من الأشرطة، ولها جدران أكثر سماكة، ويكون أو لا يكون عليها منقطات سابقة التجهيز، كما أن كلا من الأشرطة والأنابيب يمكن أن تنقسم إلى خمس فئات اعتماداً على استخداماتها، وهي: (١) أشرطة الري السطحية الرفيعة الجدران غير القابلة لاعادة الاستخدام (عمر سنة واحدة)، (٢) أشرطة الري الضحلة المدفونة (عمر من ١ — ٥ سنوات)، (٣) أشرطة الري السطحية القابلة لإعادة الاستخدام/ أو الاسترجاع (عمر من ١ — ٣ سنوات)، (٤) أنابيب الري السطحية القابلة للاسترجاع (عمر متعدد السنوات)، (٥) أنابيب الري المدفونة (عمر متعدد السنوات). وأشرطة الري يشيع استخدامها غالباً مع المحاصيل الصفية (المزروعة في صفوف) السنوية أو الموسمية، في حين أن أنابيب الري غالباً ما يشيع استخدامها مع المحاصيل الحولية. وبيان الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين ASAE رقم

(٨٤٣٥)، والخاص بأنابيب البولي إيثلين المستخدمة في الخطوط الفرعية للري الدقيق، يقدم متطلبات تصنيع واختبار أنابيب الري (ASAE, 2005c).

وأشرطة الري عادة لها سمك جدران يتراوح بين ٠,١ مم و٠,٦٤ مم مع أقطار داخلية تتراوح بين ٩,٥ مم و٢٨,٦ مم، والمنقطات عادة ما تحظي بنقاط على مسافات متقاربة متماثلة (أي ٣,٥ - ٦٠ سم) على امتداد طول الخط الفرعي، والمنقطات هي فوهات بسيطة، أو مسارات طويلة، أو مسارات تدفق متداخلة، أو توليفة من كل ذلك. والمنقطات قد تكون ملحومة (مصبوبة) داخل شق لحام أشرطة الري أو قد تكون أدوات منفصلة سابقة التجهيز، يتم تركيبها أثناء التصنيع. وحالياً، لا تتصف المنقطات الملحقة بأشرطة الري بكونها معادلة للضغط، كما أن معدلات تصرف الماء للمنقطات من أشرطة الري تتراوح بين ٠,٢ لتر/ساعة وأكثر من ٧,٦ لتر/ساعة، أما ضغوط تشغيل أشرطة الري فتتراوح ما بين ٢٠ كيلوبسكال وحوالي ١٤٠ كيلوبسكال. ولابد دوما من وضع أشرطة الري هذه مع جعل وجه المنقطات لأعلى، تحسبا لمشكلات الانسداد بسبب تراكم الرواسب في القاع.

أما أنابيب الري فلها سمك جدران يتراوح بين ٠,٢٥ مم وما يزيد عن ٠,٩ مم مع أقطار داخلية تتراوح ما بين ٩ مم وما يزيد على ٣٥ مم. وهنا نجد أن المنقطات سابقة التركيب على الأنابيب لها نقاط على مسافات متماثلة، وعلى كل الأحوال، على خلاف أشرطة الري، نجد أن الرشاشات الدقيقة، والمنقطات ذات مصادر التوزيع الطرفية للماء يمكن تركيبها في الحقل على أي مسافة على شبكات أنابيب الري لاستيفاء اشتراطات معينة للري. والمنقطات هنا تكون إما معادلة أو غير معادلة للضغط، مع معدلات تصرف للماء تتراوح ما بين ١,٥ وما يزيد على ٢٠ لتر/ساعة، بينما معدلات التصرف في الرشاشات الصغيرة تتراوح ما بين حوالي ٥ وما يزيد على ٤٠ لتر/ساعة، أما ضغوط التشغيل فتتراوح ما بين ٤٠ كيلوبسكال وما يزيد على ٢٥٠ كيلوبسكال.

(١٧,٢,١,١) التنقيط ومنقطات الرشاشات الصغيرة

إن توزيع الماء بواسطة التنقيط ومنقطات الرشاشات الصغيرة تتميز بكونها تطبيقات تعتمد على مصادر توزيع الماء سواء كانت طولية أو نقطية لكل من أشرطة الري وأنابيب الري، على السواء، فأما مصادر توزيع الماء الطولية فتقوم بتوزيع الماء بنمط متواصل أو شبه متواصل على طول امتداد جانب الأنبوب، وإلى هذه الفئة تنتمي خراطيم الغمر أو الأنابيب المسامية (وهي من المنقطات الطولية) والتي فيها يكون جدار الأنبوب بالكامل عبارة عن سطح تسرب (رشح) بالإضافة لكون أشرطة الري بالتنقيط ذات مواضع تنقيط متقاربة المسافات (ما بين ١٥ - ٣٠ سم) وتتداخل أنماط توزيعها للماء. أما مصادر توزيع الماء النقطية فيمكن تصنيفها اعتماداً على خصائص تدفقها، إلى عدة مجموعات هي، المنقطات ذات المسار الطويل (مثل أنابيب الري الدقيقة، ومنقطات التدفق الطبقي، والمنقطات ذات المسار المتعرّج، والمنقطات ذات المسار القصير (مثل البخاخات الدقيقة وغيرها من المنقطات الأخرى ذات الفوهات)، ومنقطات الفوهة الدوامية، والمنقطات المعادلة للضغط. وهذه الأدوات تقوم بتوزيع الماء على نقاط متفرقة، وقد يظهر أو لايظهر التداخل بين انماط ري كل منها على التربة، اعتماداً على المسافات بين المنقطات، وزمن الري، ومعدل تصرف المنقط.

وكل من المنقطات ذات الفوهة والمنقطات ذات أنابيب الري الدقيقة هما أدوات التنقيط الأكثر بساطة، وقد كانوا الأكثر شيوعاً في مرحلة التطور المبكرة للري بالتنقيط، لكنها حالياً لا يتم استخدامها إلا فقط مع أشرطة الري. ويمثل الانسداد في العادة مشكلة خطيرة للمنقطات ذات الفوهة بسبب صغر أقطار الفوهات (أقل من ٠,٣ مم)، وانخفاض معدلات التصرف منها. أما منقطات الفوهة الدوامية فما هي إلا منقطات ذات فوهة تم تعديلها بحيث يدخل الماء إلى المنقط بسرعة زاوية وبذلك فإن الحركة الدوامية الدورانية توفر فقداً إضافياً في الطاقة، ومن ثم فإن الفوهة يمكن أن تكون أكبر حجما وأقل عرضة للانسداد.

أما أنابيب الري الدقيقة فهي إحدى المنقطات ذات المسار الطويل والتي يتم تثبيتها داخل خط أنابيب التنقيط، واختلاف أطوال أنابيب الري الدقيقة يمكن أن ينتج عنه معدلات تصرف متفاوتة اعتماداً على أبعادها وعلى ضغط الماء. وأقطار أنابيب الري الدقيق تتراوح بشكل نمطي بين ١ و١٠ مم، ويمكن لخصائص السريان أن يكون إما طبقياً أو مضطرباً، كدالة مع قطر الأنبوب. وأنابيب الري الدقيقة ذات التدفق الطبقي (للأقطار الصغيرة) تميل لتجميع رواسب صغيرة وهي عرضة نوعاً ما للانسداد الجزئي. أما المنقطات ذات المسار الطويل أو الدورانية فهي في الأساس إحدى منقطات أنابيب الري الدقيقة، والتي يتم لفها حول أنبوب قصير من البلاستيك وأكبر حجماً لتكوين وحدة أكثر إحكاماً. أما أنابيب الري الدقيقة الأكبر حجماً وذات السريان المضطرب فينتج عنها تأثير النابعات وعادة ما تعاني مشاكل انسداد أقل (Rawlins, 1977).

أما المنقطات المتداخلة والمصممة بمسارات طويلة متشابكة فسوف تنتج سرياناً مضطرباً عند ضغوط التشغيل الطبيعية، لذا غالباً ما تسمى بالمنقطات المتعرجة أو المنقطات ذات المسار المتعرّج. والسريان المضطرب يقاوم الانسداد من خلال السماح لمسار السريان بأن يكون كبيرا قدر الإمكان ومن خلال منع الجسيمات الصغيرة من أن تستقر أو تترسب في المسارات. ومعدلات التصرف من المنقطات ذات المسار المتعرّج تكون أيضاً غير حساسة نسبيا لتقلبات درجات الحرارة (Wu and Phene, 1984; Rodriguez-Sinobas *et al.*, 1999)، ومن ثم فإنها تتجنب أحد المسببات الرئيسة للتوزيع غير المتماثل للماء في ظل الظروف الحقلية. وحالياً، فإن أغلب المنقطات ذات مصادر التوزيع النقطية للماء تستخدم مسارات السريان المضطرب للتحكم في توزيع الماء من خلال الأنابيب وبعض أشرطة الري.

والمنقطات يمكن أن يتم إقحامها أو لحامها (صبها) داخل الأنبوب أو شريط الري خلال عملية التصنيع، ومع المنقطات الداخلية الموجودة داخل خط الأنابيب، ليس هناك من نتوءات تتداخل مع عملية التركيب أو التفكيك الميكانيكي للأنبوب أو

لشريط الري. وعوضا عن ذلك، يمكن أن يتم توصيل المنقطات (والرشاشات الصغيرة) بالسطح الخارجي للأنبوب عند إنشاء النظام، وفي العادة من خلال فتح ثقب يدوي وإقحام الطرف الشائك من المنقط فيه. وهذا الإجراء يحتاج إلى المزيد من العمالة لكنه يسمح للنظام بأن يتم تخصيصه (حسب الطلب) ليتوافق مع احتياجات النباتات المتباعدة بشكل واسع أو بشكل غير متساو.

أما الرشاشات الصغيرة فأدوات إطلاق الماء منها بوجه عام فوهات بسيطة وتشمل: الرشاشات صغيرة الحجم والمنخفضة الضغط، والمبخرات، والباصقات، والنافثات، والرذاذات، والتي جميعها يتم تثبيتها في الحقل على الأنابيب. وعادة تقوم هذه الأدوات بإضافة الماء بمعدلات تتراوح (بين ٣٥ و٧٠ لتر/ساعة) على مناطق أكبر حجما من التي تغطيها منقطات التنقيط، ولكنها لا تغطي بشكل منتظم كامل النطاق المحصولي. وهي يتم استخدامها لري المحاصيل الشجرية، والنباتات واسعة التباعد، ومناطق الأعشاب المحصورة موضعياً وذات الجذور الكثيفة، لا سيما فى التربة الرملية حيث تكون الحركة الجانبية لماء التربة محدودة بواسطة الخواص الهيدروليكية للتربة، أو في مناطق أخرى ذات أعماق محدودة لجذور النباتات. وعادة تتراوح حجوم فوهاتها بين ٠,٥ مم و٢ مم، وتنخفض مشكلات الانسداد بشكل كبير مع حجوم الفوهات الأكبر من ٠,٧٥ مم (Wu *et al.*, 1991) المصحوبة بتنقية ومعالجة كيماوية مناسبة للماء. والرشاشات الصغيرة يتم تثبيتها بعد مدّ خطوط أنابيب الري الفرعية في الحقل. وهي قد يتم إقحامها بواسطة وصلات تثبيت شائكة على الأنبوب، ولكنها في الغالب الأعم يتم تركيبها على تجميعات وتدية وتوصيلها بالخطوط الفرعية بواسطة أنابيب بقطر من ٤ - ٦ مم، والبعض منها كذلك قد يتم تعليقه مباشرة على الوصلات البلاستيكية PVC المستخدمة لتمديد الخطوط الفرعية. ونجد أن وضع تقنيات الري بالرشاشات الصغيرة يتقدم بشكل متسارع، وأنه قدّ تم تطوير واختبار رشاشات صغيرة محسنة (مثل تلك المعادلة للضغط وذاتية الغسيل).

وهناك نوعية من البخاخات (الرذاذات) الدقيقة تطلق نفث الماء في بثقات قصيرة تبلغ حتى ٦٠ - ٧٠ دورة في الدقيقة، وهو ما يعمل على التقليل للحد الأدنى من معدلات إضافة الماء وفي الوقت ذاته يزيد للحد الأقصى من نصف قطر البلل. وهذه الأمور يمكن أن تكون ميزة مع التربة الثقيلة ذات معدلات التسرب المنخفضة أو أنواع التربة حيث تكون الحركة الجانبية للماء ذات أهمية.

وكلا منقطات التنقيط والرشاشات الصغيرة متوافرة كأدوات معادلة للضغط. وهذه الأدوات تستخدم فوهات تغير قطرها اعتماداً على الضغط، ومن ثم تقوم بتثبيت تصرفها. والأدوات المعادلة للضغط يتم استخدامها لتوفير تصرفات متماثلة من كل وحدة تنقيط على امتداد طول الخط الفرعي مهما كان هناك فروق في الارتفاعات، أو فواقد حادة في الضغط عبر أطوال الخطوط الفرعية الطويلة، في جعل التفاوتات في التصرفات تتجاوز المعايير المحددة. وعلى كل الأحوال فإن هذه الأدوات هي أكثر تكلفة من أدوات التنقيط القياسية.

(١٧,٢,١,٢) نظم الري بالنابعات منخفضة الضاغط

النابعات هي منقطات ذات فوهات كبيرة وضغط منخفض، تقوم بتوزيع الماء على نقاط متفرقة ولكن بمعدلات أعلى بشكل كبير من منقطات التنقيط والرشاشات الصغيرة العادية. فمتطلبات التنقية هنا قد تم خفضها بدرجة كبيرة، لكن معدلات التصرف غالباً ما تكون عالية للغاية حتى أنه قد يكون من المطلوب وجود أحواض أو تضاريس مسطحة للغاية لمنع حدوث عملية الجريان السطحي. وبعض النابعات يتم تصميمها لتعمل على المضخات ذات التدفق بالجاذبية أو المضخات المنخفضة الضاغط، (من ١ إلى ٨ م) وذات التصرف العالي، بينما البعض الآخر منها يستخدم خطوط أنابيب ذات ضغط يبلغ (٢٠٠ كيلوبسكال) لتوزيع الماء. أما نظم النابعات ذات الضغط العالي فتستخدم أدوات خاصة ذات فتحات كبيرة حيث يمكن ضبط معدلات التصرف بشكل يدوي عند كل موضع.

ونظم الري بالنابعات منخفضة الضاغط تستخدم منقطات أنابيب الري الدقيقة لتوصيل الماء إلى المحصول، وهذه النظم تتكون من خط أنابيب رئيسي متصل بأحد مصادر الماء، وأداة ثابتة الضاغط، وخط أنابيب مغذ، وخط فرعي، وخراطيم توزيع صغيرة القطر (أنبوب دقيق بقطر داخلي يبلغ مابين ٤ إلى ٢٦ مم)، والخطوط الفرعية عادة ما يتم دفنها وتمديدها فيما بين صفوف النباتات، ويتم إقحام خرطوم طويل بشكل كاف وذي قطر كبير (يبلغ من ٥ إلى ٢٥ مم) داخل الخط الفرعي لتوزيع الماء إلى النبات. وخراطيم توزيع الماء ترسو على إحدى الأشجار أو الأوتاد (السنّدات)، ويتم ضبط منسوب المخرج على ميل الطاقة الهيدروليكية ومن ثم يتدفق الماء عبر النابعات المتصلة بكافة الخراطيم بمعدلات متساوية.

والنابعات تتناسب بشكل جيد مع الري الاقتصادي للأشجار ومحاصيل الكروم ويتم تطويرها من أجل التطبيقات الخاصة بالأعشاب وأراضي البساتين، ونظم النابعات لا تتطلب في العادة نظم ضخّ وتصفية متقنة، ولكن نطاق تبني العمل بها ليس واسعاً (Yitayew *et al.*, 1995). وقدّ تمت مناقشة الاعتبارات الخاصة بتصميم وتركيب نظم النابعات المنخفضة الضاغط في كل من الدراسات التالية: يتايو وآخرين Yitayew *et al.* (1995)، ويتايو وآخرين Yitayew *et al.* (1999)، وهورتون وبيهوتيجي Thorton and Behoteguy (1980)، وراولنز Rawlins (1977).

(١٧,٢,٢) أنماط البلل

إن الماء المضاف ينتقل عبر التربة بشكل كبير في ظل ظروف تدفق غير مشبع عند مقدمة جبهة البلل. ويمكن التنبؤ بكل من توزيع الماء، وشكل حجم البلل من خلال القوانين الفيزيائية للحركة الشعرية لكل من مصادر الماء النقطية، أو المصادر الخطية للماء. (Warrick and Lomen, 1983 ؛ Clothier *et al.*, 1985 ؛ Philip, 1991 ؛ Or and Coelho, 1996 ؛ وآخرون غيرهم).

فالمنقطات ذات المصادر النقطية للماء ستعطي حجماً مبللا في التربة يتأثر بكل من المحتوى الرطوبي الابتدائي في التربة، ومعدل تصرف المنقط، وتكرارية ومدة

الري، والحركة الشعرية للماء وقدرة التربة على الاحتفاظ بالماء. وفي المناطق الجافة، تعطي المنقطات أنماط بلل في التربة تحدد حجم وشكل نطاق جذور المحصول.

والمصادر النقطية للماء تشير إلى منقطات مفردة ذات نقاط إضافة متفرقة. والمنقطات ذات المصادر النقطية للماء، تستخدم بوجه عام مع المحاصيل الشجرية أو غيرها من النباتات الواسعة التباعد. أما منقطات الرذاذ الدقيق ذات المسافات الواسعة بحيث لا تتداخل أشكال البلل فيها، هي أيضاً من المنقطات ذات المصادر النقطية للماء. بل وحتى مجموعات المنقطات ذات أنماط البلل المتداخلة - ولكن المصممة كوحدة واحدة - كالتي توضع حول شجرة منفردة، يمكن أن يتم اعتبارها من المنقطات ذات المصادر النقطية للماء.

أما أنماط البلل مع المصادر الخطية للماء فتظهر عندما تندمج تطبيقات المنقطات على امتداد أحد الأنابيب الفرعية، ونمط البلل يكون على شكل شبه دائري، أو تشكل أغوار من التربة المبللة في الحقل. والمحاصيل الصفّية عالية الكثافة عادة ما يتم ريها من خلال المصادر الخطية بواسطة خطوط الأنابيب الفرعية ذات المنقطات أو الرذاذات الدقيقة قريبة المسافات.

إن شكل البلل لأحد المنقطات ذات المصادر النقطية للماء في التربة المتجانسة هو شكل نصف كروي ثلاثي الأبعاد ذو ميل للماء بعيدا عن مركز المصدر باتجاه حافة الشكل الكروي، أما شكل البلل للتنقيط من المصادر الخطية بواسطة منقطات ذات مسافات متقاربة فسوف يكون شبه أسطواني ثنائي الأبعاد في التربة المتجانسة، أما في التربة متعددة الطبقات، فإن أنماط البلل ستميل لأن تكون محصورة داخل الطبقة العليا ومن ثم فإن قاع الشكل شبه الكروي أو شبه الأسطواني سيكون مسطحاً نسبياً وسوف يكون نمط البلل على شكل قرص أو مستطيل.

أما طبقات التربة الصلبة في الكثير من أنواع التربة فيكون بها مسام مسافاتها أصغر مما في المادة التي هي أعلاها أو أسفلها، والطبقة الصلبة تعمل كحاجز؛ لأن

الحركة الشعرية للماء لا تظهر بسرعة من المسام الأصغر إلى المسام الأكبر أسفل الطبقة الصلبة. وبالمثل حين يكون للتربة الناعمة طبقة أساس من مادة أخشن، فلابد للري من ان يقوم بتشبيع التربة العليا قبل أن يدخل الماء إلى الطبقة الأخشن.

(١٧,٣) عوامل التصميم

(١٧,٣,١) اعتبارات عامة

إن تصميم نظام تطبيق الماء سوف يحدد أقصى مستوى أداء محتمل لأي إنتاج محصولي مقترح، في حين أن الإدارة ستبين المنافع الفعلية التي يتم تلقيها وحجم أي تأثيرات بيئية. فأما التصاميم العالية الجودة فهي أسهل في الصيانة وأقل كثيراً في التكلفة عند التشغيل بمرور الوقت، مقارنة بالتصميم الذي هو دون المستوى، والذي يستلزم إصلاحات متكررة وله فترة عمر أقصر. فأما الحدّ الأدنى من الاشتراطات اللازمة لكل من تصميم وإنشاء وأداء نظم الري الدقيق، فقدّ تم طرحها في المعيار الهندسي رقم (EP405.1) للجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين ASAE، والخاص بتصميم وإنشاء نظم الري الدقيق (ASAE, 2005b).

والقاعدة الأولى لتصميم نظام الري الدقيق هي نفس القاعدة لكافة نظم الري: وهي الإبقاء عليه بسيطاً قدر الإمكان، فالنظام لابد من أن يتم تصميمه ليتواكب مع مستوى خبرة المستخدمين، ولابد له من أن يتلاءم مع احتياجاتهم المنظورة وممارساتهم الزراعية المنظورة. ولابد له من ان يكون موثوقاً به وقابلاً للاستمرار، وقادراً على التحكم في الأملاح، ويسهل التحكم فيه، ويسمح بالقيام بعمليات الحرث والحصاد اللازمة.

ولابد لكل من عمليتي التصميم والإنشاء أن تكونا وفقاً للموقع، فهاتان العمليتان محكومتان بكل من نوع التربة وتوزيعات الأعماق، والتضاريس السطحية، والمناخ، ونوعية الماء، وكميته، والمحاصيل المقترحة، ونظم الزراعة، بالإضافة إلى

الأفضليات التي لدي القائم على الري. وعلى كل الأحوال، فإن كلا من الجوانب الجوهرية والمتمثلة في حالات الري عالية التكرارية، ونطاقات الجذور المروية المحدودة، والتسميد، والمعالجة الكيماوية للماء المستخدم، بالإضافة إلى الاعتبار الاستثنائي الخاص بالانتظامية المكانية لتوزيعات الماء لكل أداة تنقيط، هي جميعا شائعة مع نظم الري الدقيق. ولابد للتصميمات من أن تعمل على تيسير عمليات الصيانة. فكل من البرك وإنشاءات عملية الري الكيميائي (إضافة الكيماويات أثناء الري) لابد من احاطتها بأسوار من أجل حماية العمال، والأطفال والحيوانات. ولابد من إعطاء أولوية قصوى لكل من عمليات معالجة الماء كيماوياً، والتنقية، وغسيل خطوط الأنابيب الفرعية.

ونتيجة لضغوط التشغيل المنخفضة ولانخفاض متطلبات عملية الري الكيميائي، نجد أن المتغيرات الهيدروليكية هي أكثر ثباتاً في نظم الري الدقيق منها في أنواع النظم الأخرى العاملة بضغوط أعلى. وبشكل طبيعي لا يجب أن يتم السماح لضغوط النظام الإجمالية بأن تتفاوت بمقدار أكبر من ٢٠٪ ما لم يتم استخدام منقطات معادلة للضغط.

فأما المقدار الكلي المسموح به للفاقد في الضغط في النظام بالكامل - وهو ما يوفر الانتظامية المرغوبة في النظام - فيتم انتقاؤه في بداية عملية التصميم وهو يعتمد على إستراتيجية ضبط الضغط المفضل (مثل التوليفات المثلى من الصمامات، والمنقطات المعادلة للضغط، والمخططات التضاريسية). كما يتم تعيين مقادير نسب الفاقد في ضغط كل من الخطوط الفرعية، والخطوط المغذية، والخطوط شبه الرئيسة، والخط الرئيس، وضغط رأس التحكم في النظام، بحيث لا يتجاوز مجموع تلك المقادير معايير تصميم النظام الكلية.

وبقدر الإمكان، لابد من تصميم النظم اعتماداً على معدلات التصرف المتوقعة للمنقطات المركبة بالفعل، والتي غالباً ما تختلف عن تعليمات الصانع نتيجة لعوامل مختلفة مثل التفاوت بين المنقطات عند التصنيع، والتغيرات في ارتفاعات النظام،

والتفاوتات في ضغط النظام، وتهالك المنقطات، والفاقد في ضغط التجميعات الوتدية (مثل الرشاشات الصغيرة)، والأطوال المتفاوتة للأنابيب صغيرة القطر (بين ٤ إلى ٦ مم) الممتدة من الخطوط الفرعية إلى أدوات التنقيط. أما معامل التفاوت في التدفق لأدوات التنقيط فلابد دوماً من أن يكون أقل من ١٠٪. أما انتظامية التوزيع فلابد بشكل طبيعي من أن تكون أكبر من ٩٠٪، لا سيما عند استخدام عملية الري الكيميائي.

أما خطوط الأنابيب (والمصنوعة عادة من البلاستيك PVC) فلابد من أن يتم وضعها على أعماق كافية لتجنب التلف بواسطة معدات الزراعة والتشييد. وتقتضي الحاجة وضع قوالب خراسانية لمنع تحرك الأنابيب عند مواضع ملاءمة لمنع إخفاق عمل الأنابيب والصمامات والمكونات الأخرى. وكل من صمامات تفريغ الهواء، وتفريغ البخار، وضبط الضغط، لابد من وضعها جميعا بشكل ملائم وصحيح لضمان التشغيل السليم. ويمكن العثور على المعلومات والإجراءات الخاصة بتركيب أنابيب البلاستيك PVC في بيان الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين ASAE رقم (8376,1) بعنوان "تصميم، وتركيب، وأداء خطوط أنابيب الري البلاستيكية الحرارية تحت سطح الأرض (ASAE, 2005a). كما أن بعض المنقطات يتم تصميمها لتيسير تفريغ الهواء في الأنابيب الفرعية المستخدمة على تضاريس سطحية عالية التباين.

والتصميم من أجل تيسير الصيانة هو أمر حاسم، فمن المهم أن نضمن أن هناك إمكانية وصول سهلة لكافة المعدات ومختلف مكونات النظام من أجل صيانتها أو استبدالها سواء كانت مدفونة أو على السطح. وكافة المكونات الموضوعة أعلى التربة هي بشكل نمطي على ارتفاع ٠,٤ م ودون أن تزيد على ١,٥ م أعلى سطح الخرسانة أو التربة من أجل تيسير الصيانة، وكافة وصلات الأنابيب لابد أن تكون ذات طول كاف لمفاتيح الربط. أما المناطق المسيجة فلابد أن تتخذ احتياطاتها لإمكانية الوصول إلى المعدات.

ولابد من أن يتم تثبيت الصمامات لتقوم بشكل هيدروليكي بعزل المكونات التي تحتاج بصورة متكررة إلى تنظيف، أو إصلاح، أو استبدال، مثل المرشحات داخل

الخطوط. وبالمثل، لابد أن يكون من المستطاع عزل المناطق داخل الحقل من أجل الصيانة بدون الحاجة إلى إغلاق النظام بالكامل. وكل من وصلات الأنابيب ملولبة الطرفين، أو ذات شفات اللحام، أو قارنات التوصيل، لابد من أن يتم توفيرها من أجل الإزالة السلسة للمكونات التالفة. وفي المناطق ذات الأجواء الباردة، لابد من أن تتوافر القدرة على تجهيز النظام بكامله لأجواء الشتاء، بما يشمل صمامات صرف الماء، وحفرات التسرب، وإذا لزم الأمر وجود تدابير احتياطية لاستخدام الهواء المضغوط لإزالة الماء حين لا يكون لخطوط الأنابيب ميول ملائمة لإحداث الصرف بفعل الجاذبية. وكما أن كلاً من المضخات، والمرشحات، وعدادات التدفق، ومقاييس الضغوط، والخزانات، والصمامات، جميعها قد تستلزم أيضاً طرق تثبيت أو إزالة خاصة من أجل الحماية من درجة الحرارة الباردة. فالمضخات ولوحات التحكم الكهربية لابد من حمايتها من التعرض للشمس بواسطة أغطية أو مظلات لخفض الحرارة ولإطالة فترة صلاحيتها لأقصى مدى.

والافتقار إلى فهم أوجه النفع والقصور الجوهرية في طريقة الري الدقيق قد أدى لظهور الكثير من النظم التي تم عن غير قصد تصميمها دون المستوى. والإشارات الأكثر شيوعا للنظام الذي يكون دون المستوى هي العجز عن توفير الاحتياجات المائية للمحصول بشكل كامل خلال فترات ذروة الاحتياجات المائية، وسرعات الدفق الخطي غير الملائمة، كما أن رداءة التصميم قد تجعل مرونة التشغيل محدودة.

أما العوامل الخارجية مثل ملوحة التربة، والخصائص الهيدروليكية للتربة، وحساسية المحصول، وكمية الماء، ونوعية الماء، وأي مسائل بيئية، فلابد من أخذها جميعا في الاعتبار منذ البدء في عملية التصميم. فهذه المسائل ستساعد عند انتقاء الأنابيب والمنقطات والمسافات بين المنقطات.

(١٧,٣,٢) الاعتبارات الخاصة بكل من الحقل والمحصول

إن طريقة الري الدقيق تقوم بتوزيع الماء بشكل مباشر داخل النطاق الجذري للنباتات، ومن ثم فإن انتقاء المنقطات لابد أن يراعي الخصائص الجذرية للمحصول،

والحجم المتوقع للتربة المفترض تبليلها في الحقل، والمقدار الكلي للماء المفترض إضافته، والإجمال المقدر للوقت المسموح به لكل رية في اليوم. وانتقاء المنقطات والمسافات بينها سيعتمد على كل من الحدّ الاقصى لمقدار الماء المضاف، وزمن الري المقدر، واعتبارات إمدادات المياه، والسعة الهيدروليكية.

والمحاصيل الموسمية قد تستلزم واحداً إلى خمس منقطات أنابيب فرعية لكل صف نباتات لتوفير الاحتياجات المائية بشكل ملائم اعتماداً على نوع التربة، وأدوات التنقيط، وحجم النباتات والمناخ. أما النباتات الدائمة الواسعة التباعد مثل أشجار البقان (الجوز الأمريكي)، فلابد من أن تحظى على الأقل باثنين من خطوط الأنابيب، على بعد ٢ إلى ٣ م على كلا جانبي صف النبات. أما المحاصيل الحولية ذات التباعد الأكثر تقارباً، مثل نباتات الهليون (وهو من الزنبقيات)، والأعناب، ونباتات حشيشة الدينار (وهي من الكروم)، فقد تحتاج إلى أنبوب فرعي واحد فقط لكل صف أو حوض نباتات. أما الزراعة في المناطق الرطبة فقد تتطلب المزيد من الأنابيب الفرعية والرشاشات الصغيرة بسبب نظم الجذور الكثيفة التي يحفزها التساقط المتكرر للمطر، وذلك لضمان التوصيل الملائم للماء والعناصر الغذائية إلى الجذور.

أما المحاصيل التي تستخدم أشرطة الري بالتنقيط ذات المصادر الخطية للماء، مثل المحاصيل الصفية، أو المحاصيل ضحلة الجذور أو المحاصيل الحولية ذات المسافات المتقاربة، فعادة ما يتم تصميمها اعتماداً على معدل التصرف لكل وحدة طول من الأنابيب الفرعية. أما المحاصيل الدائمة ذات المسافات الواسعة والتي تستخدم أنابيب ري ذات منقطات متفرقة، فعادة ما يتم تصميمها باستخدام معدل تصرف لكل مخرج.

أما المنقطات ذات المصادر النقطية للماء، والتي ليس لها أنماط بلل متداخلة، بما في ذلك الرشاشات الصغيرة، فعادة ما يتم اختيارها لريّ النباتات منخفضة الكثافة من الأشجار، أو الأعناب، أو الخضروات. ولابد لمواضع المنقطات من أن تضمن وقوع أنماط البلل ضمن حيز جذور النبات، وأن ما بين ٢٥٪ إلى ٥٠٪ من حيز الجذور

المحتمل سيتم ريّه. أما المحاصيل الصفية العالية الكثافة، فيتم ريها بوجه عام بواسطة أشرطة الري أو خطوط أنابيب الري الفرعية ذات المصادر الخطية للماء. ونظم الري ذات المصادر الخطية للماء لابد من تصميمها بحيث يكون المجموع الجذري بالكامل للمحاصيل عالية الكثافة مشمولا داخل نمط البلل.

وقد يتطلب الأمر استخدام الرشاشات الصغيرة من أجل زيادة المساحلة المبللة للحد الأقصى لتزيد ماء التربة المتاح، مع تجنب حدوث تسرب على أنواع التربة الخفيفة العالية النفاذية، أو المساحات ذات الجذور الضحلة. أما المحاصيل الدائمة ذات المسافات الواسعة، مثل الموالح، فقد يستلزم ريها استخدام الرشاشات لري جزء كبير نسبياً (أكبر من ٥٠٪) من منطقة الجذور، للوصول إلى أعلى إنتاجية، لا سيما في المناطق الرطبة.

ولنفس قطر الخطوط الفرعية، نجد أن المنقطات ذات معدلات التصرف الأعلى ستحظى بتفاوت أكبر في الضغط لكل وحدة طول من الخط الفرعي مقارنةً بالمنقطات منخفضة التصرف، كما أن معدلات التصرف العالية لكل وحدة طول من أنابيب الري سوف تعمل على الحدّ من أطوال الوصلات.

ومن المرغوب بشكل عام بلوغ أعلى معدلات تصرف، والتي تلائم الظروف الهيدروليكية للتربة، لأن أشرطة الري والمنقطات ذوات معدلات التصرف الأعلى تحظى بفوهات أكبر، كما أنها أقل عرضة للانسداد ومن ثم فإنها توفر انتظامية أعلى، كما توفر الحد الأقصى من مرونة التشغيل في جدولة الري. أما نظم الري بالتنقيط المدفونة، فتتأثر بمقدار معامل التوصيل الهيدروليكي للتربة، ويتم انتقاء معدلات تصرف المنقطات اعتماداً على ما إذا كان المزارع يرغب في أن يكون قادراً على بلل سطح التربة أم لا.

(١٧,٣,٣) اعتبارات نظام الري

إن السعة الهيدروليكية لنظام الري يجب أن تعتمد على أقصى مقدار للبخر-نتح للفترة الأكثر خطورة بالنسبة للنبات الناضج، وعادة في مدى يتراوح بين ٥ و١٠ مم في

اليوم الواحد اعتماداً على كل من نوع المحصول والمناخ وكفاءات التطبيق. فإذا كان النظام اقتصادياً وعملياً، فلابد له من أن يهدف إلى توفير نحو ١٢٠٪ من إجمالي البخر-نتح ET لتوفير القدرة على المتابعة في حالة أوقات التوقف للصيانة، أو انكسار خط الأنابيب، أو تعطل المعدات، أو حالات انقطاع التيار الكهربي أو غير ذلك من المشكلات.

(١٧,٣,٣,١) نظم الأنابيب

لابد من دفن خطوط الري الرئيسة وشبه الرئيسة التي تستخدم أنابيب البلاستيك القاسي PVC غير المحمية من الأشعة فوق البنفسجية. ومن المستحسن الإبقاء على صمامات التحكم أعلى من مستوى الأرض لتسهيل عملية الصيانة و الإبقاء على الخطوط شبه الرئيسة مليئة بالماء وذلك للتقليل إلى الحدّ الأدنى من صرف النظام مع خفض أزمنة بدء التشغيل. ولابد من أن يكون لكل مجموعة صمامات عزل بحيث يمكن صيانتها بدون إيقاف النظام بالكامل. ولابد من أن يكون لكل من الأنابيب وملحقاتها والصمامات معدلات ضغط كافية لتقاوم موجة طرق الماء والضاغط الاستاتيكي للضخ.

الحجوم المناسبة لكل من الخطوط الرئيسة، وشبه الرئيسة، وخطوط التوزيع، والخطوط الفرعية، والصمامات، بالإضافة إلى ضغوط التشغيل الملائمة، تحدد متطلبات الغسيل بالدفق. ومعظم النظم لن يكون لها سعة هيدروليكية كافية لغسل النظام بالدفق على الفور. ففي أغلب الأحيان، سيتم غسل النظام بالدفق في وحدات، مع غلق وحدات أخرى بحيث يتوفر ضغط وتصرف كافيان لغسل كل وحدة بالدفق.

بل وحتى التغيرات الطفيفة في المناسيب عند الضغوط المنخفضة الشائعة في الري الدقيق يمكن أن تسبب تفاوتات كبيرة في معدل التصرف. ويمكن التحكم في الضغوط من خلال الاختيار الصحيح لأحجام أنابيب الري، واختيار صمامات خاصة، و/أو التحكم بدقة في فروق المناسيب داخل الوحدات.

ولابد لمنظمات الضغط من أن يتم تصميمها بحيث تضمن توزيعا متماثلا للماء على كافة أجزاء نظام الري الدقيق، وبحيث تعمل على الحدّ من عدم تثبيت ملحقات الأنابيب بسبب تراكمات الضغط المفرطة. أما المنقطات وأنابيب الري غير المعادلة للضغط فلابد لها من أن تعمل وفق ضغوط دخول متسقة، وأن تكون لها أحجام واطوال وأقطار ملائمة، مع مراعاة انحدار الحقل من أجل تحسين انتظامية إضافة الماء. وتنظيم ضغط البداية مع النظم ذات الضغوط المنخفضة للغاية (أي أقل من ٥٠ كيلوبسكال) عادة ما يتم ضبطه من خلال تغيير طول وقطر الأنبوب الموصل بين أنبوب الري والأنبوب الموزع. وكحدّ أدنى، لابد من وضع أجهزة قياس الضغط عند موضع ضخ التصرف على جانبي المرشحات، وعند بداية كل وحدة ري.

أما الحد الأقصى المسموح به لسرعات السريان في الخطوط الرئيسة وشبه الرئيسة فلابد بشكل طبيعي من أن يكون أقل من ١,٥ م/ث عند أقص معدلات تصرف متوقعة لاجتناب المعدلات المفرطة للفاقد بالاحتكاك ومشكلات الارتفاعات المفاجئة في الكهرباء. وعند استخدام ملحقات الأنابيب غير المحصورة لابد من استخدام دعائم تثبيت عند كافة الأكواع، والوصلات ثلاثية التفرع (وصلات حرف تي)، وصمامات التحكم، والنهايات المسدودة، ... إلخ.

ولابد للخطوط الفرعية من ان تمتد دوما عبر انحدار إلى أسفل للحصول على انتظامية عالية، ولضمان الحصول على سرعات غسيل بالدفق ملائمة للتقليل للحد الأدنى من مشكلات الانسداد. ولا يجب لها قدر المستطاع أن تمتد منحدرة لأعلى؛ لأن الجسيمات تميل لأن تستقر عند الارتفاعات الأقل انخفاضا، ولا يسهل غسلها بالدفق. وبالمثل، نجد أن متطلبات غسل الخطوط الفرعية بالدفق تقضي بأن يتم توصيل الماء لخطوط المنقطات من اتجاه واحد فقط؛ لأنه من المستحسن وجود الجسيمات عند الأطراف البعيدة للخطوط الفرعية من أجل الغسيل بالدفق.

أما نظم المنقطات المعادلة للضغط، فعادة ما تتبع نفس الخطوط العريضة التي تتبعها نظم المنقطات غير المعادلة للضغط، فهذه النظم غالباً ما يتم استخدامها حين

تتسبب حالات التضاريس في ظهور فروق ضغط كبيرة بسبب التغيرات في المناسيب. وكذلك يتم استخدام المنقطات المعادلة للضغط حين تكون كل من الارتفاعات أو أطوال الخطوط الفرعية على وضع يجعل معدلات الفاقد في الضغط بسبب الاحتكاك أو غيره عالية للغاية حتى يمكن الحصول على معدلات تصرف متماثلة من المنقطات. وفي هذه الحالة يمكن تعزيز ضغوط خط الأنابيب لتتوافق مع مدى ضغوط التشغيل للمنقطات المعادلة للضغط لضمان الحصول على تصرفات أكثر تماثلا. وهذه التدابير ليست دوما اقتصادية، ويحتاج استخدامها أن يتم تقييمه لكل حالة على حدة.

(١٧,٣,٣,٢) نظم الترشيح

إن أي نظام ترشيح جيد التصميم والإدارة يعتبر جزءاً حاسماً لأي من نظم الري الدقيق. ولابد لمثل هذا النظام من أن يكون مدعوما بمعالجات كيميائية وبيولوجية ملائمة للماء (Bucks *et al.*, 1979). وهذه النظم مطلوبة لأن كلا من الخنادق والقنوات والبرك المفتوحة تحتوي بوجه عام على شوائب عضوية ومواد جزيئية. كما أن المضخات التي على الآبار قد تدفع بجسيمات من الرمل داخل تيار الماء. والتجمعّات المعلّقة الصلبة ذات التركيز الأعلى من ١٠٠ مجم/لتر تتطلب نظم ترشيح استثنائية. ولابد من التخلص من تلك الشوائب قبل دخولها إلى نظام الري. وعملية الترشيح تتطلب ضغوطاً تتجاوز ضغوط التشغيل الطبيعية للنظام، مما يقلل من منافع توفير الطاقة المحتملة في النظم المنخفضة الضغط. والجزء رقم (١٧,٨,٢) يناقش التدابير والمسائل الخاصة بعملية الترشيح النوعية، كما تناقشها بتفصيل أكبر دراسة نيكايما وآخرين Nakayama *et al.* (2007).

(١٧,٣,٤) اختيار الأنابيب والمسافات بينها

لابد من اختيار أنابيب الري اعتماداً على فترة الصلاحية الاقتصادية للنظام بالإضافة للممارسات الزراعية، ومعدات الحصاد، والظروف البيئية المحيطة. وعلى سبيل المثال، نظم الري المدفونة التي ستكون عرضة لحركة المعدات المباشرة لابد أن يكون من بين مواصفاتها أن تكون من منتجات الأنابيب سميكة الجدران وليس من

منتجات أشرطة الري رفيعة الجدران. أما التضاريس عالية التباين أو الامتدادات الطويلة غير العادية فقد تتطلب أنبوباً ذا قطر كبير مع قوى مقاومة انفجار عالية.

وأطوال أنابيب السريان تعتمد على الخصائص الهيدروليكية النوعية لكل نوع من أنواع أشرطة الري، ومتطلبات تصرف المنقط، وميل الحقل. وللمحافظة على انتظامية عالية على طول الخطوط الفرعية ذات التصرفات المنخفضة والضغوط المنخفضة ورقيقة الجدران (سمكها أقل من ٠,٢٥ مم) لا ينبغي بشكل طبيعي أن تتجاوز طول ٢٠٠ م. أما أشرطة الري السميكة الجدران ذات التصرفات العالية فتكون وبشكل طبيعي بطول أقل من ١٥٠ م. أما كل من أشرطة الري وأنابيب الري ذات الأقطار الأكبر والجدران الأكثر سمكاً (بسمك أكبر من ٠,٢٥ مم) فيمكن في بعض الأحيان أن تكون بأطوال تبلغ ٤٠٠ م أو أكثر. وقد يستلزم الأمر استخدام المنقطات المعادلة للضغط، مع أنابيب الري ذات الأقطار الصغيرة، أو ضغوط التشغيل العالية، أو الامتدادات الطويلة أو الانحدارات الشديدة.

موضع أنابيب الري بالنسبة للنباتات أمر يعتمد على كل من عمليات الزراعة المتوقعة، المسافات بين المنقطات، معدل تصرف المنقط، حجم حيز الجذور، الخصائص الهيدروليكية للتربة. وبشكل عام، فإنه في حالة المحاصيل الصفية يتم وضع أنبوب الري في حدود ما بين ٠,٠٥ إلى ٠,١٠ م من النبات من أجل استنبات البذور والزراعة. أما موضع أنابيب الري في حالة المحاصيل الدائمة فيمكن أن يتراوح ما بين ٠,١ و٢ م على الرغم من أن أغلبها يقع في حدود ٠,٥ من صف النباتات. ويمكن تحريك أنبوب الري كلما ازداد نضج النبات. كما يمكن أيضاً تعليق أنابيب الري أعلى سطح الأرض في حالة المحاصيل المعرَّشة (المتشابكة) مما يسمح بصيانة أيسر وبمكافحة ايسر للحشائش الضارة، وبتلف أقل من جراء العمليات الميكانيكية.

أما المسافات الفاصلة بين خطوط أنابيب التنقيط فتعتمد على كل من نوعية المحصول المراد ريه، والامتداد الجانبي لحيز جذور المحصول، وإعادة توزيع الماء في

التربة. ونظم الري في المناطق الرطبة قد تتطلب أن يتم تبليل نسبة أكبر من حيز الجذور لملاءمة الخصائص الجذرية للمحصول ولزيادة فعالية امتصاص الماء والعناصر الغذائية. أما كرمات العنب والأشجار ذات المسافات الواسعة فيها بشكل نمطي واحد أو اثنان من خطوط التنقيط لكل صف نباتات. أما أنواع التربة الرملية ذات الحركة الجانبية القليلة بالإضافة إلى المساحات المعرضة للانجراف بفعل الرياح والمياه السطحية فقد تستلزم العديد من خطوط أنابيب التنقيط أو تستلزم استخدام الرشاشات الصغيرة لتغطي نسبة كبيرة من حيز الجذور.

(١٧,٣,٥) اختيار المنقطات والمسافات بينها

إن اختيار نوعية أداة تنقيط الماء يعمل على تحديد الكثير من الخصائص التشغيلية لنظام الري الدقيق. فعلى سبيل المثال، المنقطات ذات السريان المضطرب داخل مساراتها هي شائعة الاستخدام لأن لها قطراً هيدروليكياً مكافئاً يبلغ ٠,٧٥ مم ومن ثم فإن احتمالية انسدادها منخفضة.

ولابد من اختيار المسافات بين المنقطات بحيث يتم ريّ حجم كاف من حيز الجذور لتوفير الاحتياجات المائية للمحصول، فالنباتات منخفضة الكثافة، مثل المحاصيل الشجرية، تحظى بالعديد من المنقطات لكل شجرة مفردة، ولكن يمكن للمسافات بين المنقطات أن تكون مرنة طالما يتم ري حجم كاف من حيز الجذور (أي أكبر من ٢٥٪ في المناطق الجافة، وأكبر من ٥٠٪ في المناطق الرطبة). أما بالنسبة للمزروعات عالية الكثافة مثل المحاصيل الصفية، فنجد أن المجموع الجذري لها يتداخل فيما بينها على امتداد صف النباتات، ولابد من أن يتم استخدام منقطات ذات مصادر نقطية على مسافات متقاربة، أو نظم ري ذات مصادر خطية للماء، وذلك لإضافة الماء بشكل منتظم على امتداد طول صف النباتات.

(١٧,٣,٦) احتمالية انسداد المنقطات

إن نظم الري الدقيق تنفرد وتتميز جميعها بكل من معدلات إضافة الماء المنخفضة، والضغوط المنخفضة المميزة، وفتحات الفوهات الصغيرة، وتتسبب جميعها

أيضاً في خلق مشكلات انسداد للمنقطات. واختيار كل من النوع والحجم الملائمين من المنقطات هو أمر سيعمل على خفض احتمالية انسدادها، وعلى الرغم من أن كل أنواع المنقطات يمكن أن تتعرض للانسداد إما بشكل كلي أو جزئي. ولن يظهر سوى القليل من الانسداد عندما يتم تطبيق استخدام ماء الري بترشيح ومعالجة ملائمة للماء.

وحين يتم التعامل مع عدد من المنقطات باعتبارها وحدة واحدة – مثل العديد من المنقطات التي يتم تجميعها سويا لريّ شجرة واحدة – فإن انتظامية توزيع الماء ستتحسن أكثر بالمقارنة باستخدام منقط واحد لكل شجرة (Wu *et al.*, 1988b). ويمكن السيطرة على التفاوت بين النظام في حدود ١٠٪ حين يكون مستوى الانسداد معدوما وحين يتم إقران اثنين من المنقطات على الأقل سويا في الوحدة الواحدة.

ويمكن تقليل أثر الانسداد على انتظامية إضافة الماء في الحقل إلى الحدّ الأدنى من خلال استخدام مسافات متقاربة بين المنقطات أو من خلال تجميع المنقطات في وحدات (Bralts *et al.*, 1987b). وهناك دراسة خاصة بالانسداد العشوائي المتواصل (Wu *et al.*, 1991) قد أوضحت أنه حتى مع وجود نسبة انسداد إجمالية تبلغ ما بين ٢٠٪ إلى ٣٠٪، يكون هناك فقط ١٪ من الانسداد يتكون في ما بين أربعة إلى خمسة منقطات منسدّة متتابعة. وحين تكون معاملات التغير في الخصائص الهيدروليكية والمصنعية كليهما أقل من ١٠٪، مع وضع المنقطات في مجموعات مكونة من أربعة منقطات لكل شجرة، فإن ما بين ١٠٪ إلى ٢٠٪ من الانسداد العشوائي سيظل يحتفظ بمعامل تغير (CV) يبلغ ما بين ١٧٪ و٢٥٪ على التوالي (Wu, 1993b). أما بالنسبة للمحاصيل الصفية عالية الكثافة، حين تكون معاملات التغير في الخصائص الهيدروليكية والمصنعية كليهما أقل من ١٠٪، والمسافة بين المنقطات تساوي نصف قطر المساحة المبللة، فعندئذ فإن انسداداً بنسبة ما بين ١٠٪ إلى ٢٠٪ سينتج عنه معامل تغير CV إجمالي يبلغ ما بين حوالي ٢٠٪ إلى ٣٠٪ على التوالي.

وقد تم استخدام تقنية تراكمية (Wu *et al.*, 1989) لتقييم مدى الانتظامية الجزئية على امتداد طول الخط الفرعي من خلال إضافة أنماط ماء التربة من كافة المنقطات على

مسافات معينة متنوعة. وقد أوضحت الدراسة أن حالات الانسداد الناشئة عن مسافات المنقطات كانت هي العامل الأكثر أهمية في التأثير على الانتظامية الجزئية. وقد أوضحت دراسة واي Wu (1993a) أن تجميع المنقطات يعتبر أمراً هاماً بقدر المسافة بين المنقطات. أما كل من التغير الهيدروليكي التصميمي والمصنعي، كان أقل أهمية من عوامل الانسداد والتجميع في وحدات، والتباعد بين المنقطات، طالما ظلت عوامل تغيرها الفردية أقل من ١٠٪.

ولم تكن أشكال بلل التربة، ولا توزيعات الانسداد، ذات أهمية كبيرة حين كانت أشكال بلل التربة تتداخل بنسبة ٥٠٪ على امتداد الخط الفرعي. وعندما نجد أن التصميم الهيدروليكي لنظام الري بالتنقيط يعتمد على نسبة تغير في معدل تصرف المنقط يبلغ ٢٠٪، فإنه يمكن حينئذ تحقيق معامل انتظامية يبلغ ٩٠٪، ٧٠٪ لنسبتي الانسداد البالغة ٠٪، ٢٠٪ على التوالي، طالما أن المسافة بين المنقطات قد تم تصميمها بقدر يساوي ٠,٥ من قطر البلل للتربة (Wu, 1993b).

(١٧,٤) هيدروليكا المنقطات واختلاف تصميم المنقطات

إن العلاقة الأساسية بين معدل تصرف المنقط وضغطه تعطيها المعادلة التالية:

$$q = c\,h^{x} \qquad (١٧,١)$$

حيث إن:

q = معدل التصرف.

c = معامل تصرف المنقط.

h = ضاغط الضغط.

x = أُسّ تصرف المنقط.

ويتم استخدام القيمة x في اختيار المنقط ؛ لأنها تميز نوعية التصرف في المنقط وتتراوح ما بين ١ وما يقارب الصفر، وحين تكون قيمة x تساوي ١ يكون المنقط من منقطات السريان الطبقي، بينما تكون قيمة x تساوي في حدود ٠,٨٥ بالنسبة لأنابيب الري الدقيقة، وتبلغ ٠,٦٥ للمنقطات ذات المسار الطويل أو الحلزونية، وتبلغ ٠,٥ للمنقطات ذات السريان المضطرب بشكل تام، وحوالى ٠,٤ للمنقطات الدوامية، وتبلغ ما يقارب الصفر للمنقطات المعادلة للضغط بشكل تام. وبالنسبة لتغير هيدروليكي معطى، فسوف يظهر تغير أقل في معدل التصرف مع المنقطات ذات السريان المضطرب مقارنة مع المنقطات ذات السريان الطبقي. وحين يعتمد التصميم الهيدروليكي على تغير في الضغط يبلغ ٢٠٪ في نظام الري الدقيق، فإن المنقطات ذات السريان المضطرب بشكل تام (حيث x تساوي ٠,٥) ستنتج تغيراً في معدل تصرف المنقط يبلغ حوالي ١٠٪ فقط، في حين أن منقطات السريان الطبقي (حيث x تساوي ١,٠) ستنتج تغيراً في معدل تصرف المنقط يبلغ ٢٠٪.

(١٧,٤,١) هيدروليكا المنقطات ذات الفوهة

إن معدل التصرف من الفوهة أو من ذات المسار القصير يحدده كل من الضغط الهيدروليكي داخل الخط الفرعي عند الفوهة وكذلك أبعادها، وحين يكون مسار السريان ثابتاً، وتكون مساحة المقطع العرضي للسريان ثابتة، فإن معدل سريان المنقط سيتأثر بالضغط الهيدروليكي فقط.

ويمكن التعبير نظرياً عن معدل السريان من المنقط ذات الفوهة أو المسار القصير بالمعادلة التالية:

$$q = c_1 a \sqrt{2 g h} \qquad (١٧,٢)$$

حيث إن:

q = معدل تصرف المنقط.

C_1 = معامل التصرف.

a = مساحة المقطع العرضي للتصرف.

g = العجلة الناتجة عن الجاذبية.

h = ضاغط الضغط عند قاعدة المنقط.

وحين تكون مساحة المقطع العرضي ثابتة، يمكن عندئذ إعادة ترتيب المعادلة رقم (١٧,٢) كدالة أسية بسيطة مماثلة للمعادلة رقم (١٧,١) كالتالي:

$$q = c\,h^{0.5} \qquad (١٧,٣)$$

حيث إن C هو معامل تصرف المنقط، ويساوي $c_1\,a\sqrt{2\,g}$

(١٧,٤,٢) هيدروليكا أنابيب التنقيط الدقيقة

الأنبوب الدقيق هو أنبوب صغير، وتعتبر هيدروليكا السريان في الأنابيب الدقيقة هي نفس هيدروليكا للسريان في الأنابيب، وبالتالي، يمكن التعبير عن الانخفاض في الطاقة بسبب الاحتكاك بواسطة دالة أسية بسيطة:

$$h = k\,\frac{q^m}{D^n}\,L \qquad (١٧,٤)$$

حيث إن:

h = فاقد الضاغط نتيجة للاحتكاك، وهو أيضاً ضاغط الضغط عند مدخل الأنبوب الدقيق.

K = معامل تصرف المنقط.

q = تصرف المنقط.

m = أُس معدل التصرف (q)، (وقيمة m تساوي ١ للسريان الطبقي، ٢ للسريان تام الاضطراب، ١,٧٥ للسريان المضطرب في أي أنبوب أملس).

D = القطر الداخلي.

n = أس القطر.

L = طول الأنبوب الدقيق.

ويمكن إيجاد تصرف الأنبوب الدقيق من خلال إعادة ترتيب المعادلة رقم (١٧,٤) على النحو التالي:

$$q = \left(\frac{D^n}{KL} h \right)^{\frac{1}{m}} \qquad (١٧,٥)$$

في أي منقط أنابيب دقيقة يكون فيها كل من الطول L والقطر D ثابتين، فغالباً ما يتم تقديم كل من معدل تصرف المنقط وضاغط الضغط الهيدروليكي لها في صورة دالة أسية بسيطة (المعادلة رقم ١٧,١) حيث يكون المعامل C ثابتاً، $x = 1/m$ ، وتبلغ قيمته ٠,٥ للسريان المضطرب، و١ للسريان الطبقي. واعتماداً على ظروف السريان، فإن x ستكون ما بين ٠,٥ و١,٠.

(١٧,٤,٣) هيدروليكا المنقطات ذات المسار الطويل والمتعرج

إن العلاقة بين معدل التصرف q وضاغط الضغط h، للمنقطات ذات المسار الطويل (بما يشمل المنقطات ذات المسارات الدورانية أو المتعرجة) والمنقطات ذات السريان المضطرب، يمكن التعبير عنها بنفس العلاقة المذكورة سابقاً. ومعاملاً الدالة الأسية وهما c و x للمنقطات المفردة ذات المسار الطويل أو المتعرج، يمكن تحديدهما من خلال الاختبار الهيدروليكي المعملي. ويمكن أن تتفاوت قيم x ما بين ٠,٥ و ١,٠، ولكنها بشكل نمطي من ٠,٦٥ إلى ٠,٨٥.

(١٧,٤,٤) هيدروليكا المنقطات المعادلة للضغط

عندما يتم تصميم أحد المنقطات بحيث تقل مساحة المقطع العرضي مع زيادة الضغط فإن:

$$a = b\,h^{-y} \qquad (١٧,٦)$$

حيث إن a هي مساحة المقطع العرضي لمسار سريان المنقط، أو للفوهة، أو للأنبوب الدقيق، و b و y هما معاملات. وبإضافة المعادلة رقم (١٧,٦) داخل المعادلة رقم (١٧,٢) مع إعادة الترتيب، يمكن عندئذ التعبير عن معدل سريان المنقط وضغط الماء على النحو التالي:

$$q = C_2\,h^{0.5-y} \qquad (١٧,٧)$$

حيث إن C_2 هي إحدى المعاملات. والمعادلة رقم (١٧,٧) تبين أن الأس 0.5-y يمكن ان يكون اصغر من ٠,٥، مما يشير إلى تأثير منخفض لضاغط الضغط على معدل تصرف المنقط بالمقارنة بمنقطات السريان المضطرب، فإذا كانت قيمة y تساوي ٠,٥ فإن الأس سيساوي الصفر، ولن تظهر أية تغيرات في معدل سريان المنقط، وحين يحدث ذلك، فإن أي زيادة في ضغط الماء سوف تسبب انخفاضاً في مساحة المقطع العرضي للسريان، والذي يوازن (أو يعادل) بالضبط الزيادة في الضغط، وسيصبح المنقط موازناً للضغط بشكل تام. وعلى كل الأحوال، إذا كانت قيمة y أكبر من ٠,٥، فستكون قيمة الأس سالبة، وسوف يقل معدل السريان مع تزايد الضغط. ويمكن كذلك تطبيق مفهوم معادلة الضغط على المنقطات ذات الأنابيب الدقيقة بطريقة مماثلة.

(١٧,٤,٥) التغير في تصرف المنقطات

يتميز الري الدقيق بتطبيقات متواترة للماء بمعدلات إضافة منخفضة، ومن ثم، فحتى التغيرات الصغيرة في حجم معدل تصرف أداة التنقيط قد تمثل بشكل تراكمي تغيرات كبيرة نسبياً في الماء الكلي المضاف موسمياً. والعوامل التي قد تؤثر على معدل تصرف المنقط تشمل التغير في خصائص التصنيع (التغير المصنعي)، وتأثيرات درجة

الحرارة، والانسداد، وتهالك المنقط بفعل الزمن، والتغيرات في المناسيب، وحالات الفاقد في التجميعات الوتدية للرشاشات الدقيقة.

(١٧,٤,٥,١) التغير المصنعي في تصرفات المنقطات

العلاقة الأساسية بين سريان المنقط q، وضغط الماء h، (المعادلة رقم ١٧,١) توضح أنه إذا لم يكن هناك تغير في الضغط في نظام الري الدقيق، فإن كافة تصرفات المنقطات لابد أن تكون ثابتة، وستكون قيمة التغير في تصرف المنقطات تساوي صفراً. وعلى كل الأحوال، في الوضع الحقلي الفعلي، سيكون هناك دوماً فروق في معدلات تصرف المنقطات حتى في ظل وجود ظروف ضغط ماء ثابتة، وهذا التغير تسببه أخطاء صغيرة في عملية التصنيع ينتج عنها فروق في معدلات التصرف بين المنقط والذي يليه. وأي انحراف في شكل أو مساحة ممر التصرف عن الحجم القياسي، سوف يسبب تغيراً في معدل تصرف المنقطات.

والتغير المصنعي هو تغير في معدلات تصرف المنقطات بين عينة عشوائية من المنقطات التي تعمل بنفس قيمة الضغط، ويتم التعبير عنه إحصائيا على أنه معامل تغير معدل سريان المنقط CV_M، وهو الانحراف القياسي في معدل تدفق المنقط (S)، مقسوماً على متوسط قيمة تصرفات عينة المنقطات $\bar{q}$:

$$CV_M = \frac{S}{\bar{q}} \times 100 \qquad (١٧,٨)$$

وتوضح نتائج البحوث أن معامل التغير لمنقطات الري الدقيق يتراوح بشكل عام ما بين ٣٪ و٢٠٪ (Solomon, 1979). وكل من الرشاشات الدقيقة، والرذاذات الدقيقة، والرشاشات الصغيرة، جميعها عادة ما تحظى بتفاوتات منخفضة في معامل التغير المصنعي للسريان تبلغ أقل من ٣٪، على الرغم من أنه قد يكون هناك فروق كبيرة في انتظامية أشكال إضافة الماء. والمنقطات ذات قيم معامل التغير CV_M الأكبر من ٠,٢٠ ليست مقبولة الاستخدام عند تصميم نظم الري الدقيق.

(١٧,٤,٥,٢) تأثير درجة الحرارة على تصرف المنقط

إن درجة حرارة الماء في خط أنابيب الري الدقيق ستتأثر بدرجة حرارة الهواء والتربة المحيطين بخط الأنابيب، كما أن كلا من الخطوط الفرعية المكشوفة والماء سيتعرضان للسخونة بفعل الأشعة الشمسية، وقد أبدت درجة حرارة الماء في الخطوط الفرعية زيادة قدرها ما بين ١٢ درجة مئوية إلى ١٧ درجة مئوية في الشمس الساطعة (Gilad *et al.*, 1968; Parchomchuk, 1976).

وتأثير درجة الحرارة على نظام الري الدقيق يمكن دراستها على جزأين: التأثير الواقع على معدل تصرف المنقط، والتأثير الواقع على الخصائص الهيدروليكية للخط الفرعي، والتأثير الأول يعتمد على تصميم وشكل المنقط، أما التأثير الثاني فيعتمد على وضعية الاحتكاك في خط الأنابيب والذي يسببه الزيادة أو النقصان في لزوجة الماء كنتيجة للتغير في درجة الحرارة. ونجد أن الخصائص الهيدروليكية للخط الفرعي تعمل على تحديد كل من توزيع الضغط وحركة الماء في النظام، وهو ما يؤثر بدوره على التفاوت في درجة الحرارة داخل نظام الري الدقيق، وسوف تتأثر معدلات تصرف المنقط بدرجة حرارة الماء عند قاعدة المنقطات على امتداد طول خطوط الأنابيب الفرعية.

وتأثير درجة الحرارة على معدل تصرف المنقط يعتمد على نوعية المنقط (Keller and Karmeli, 1974; Parchomchuk, 1976; Moser, 1979; Zur and Tal, 1981; Wu and Phene, 1984; Rodriguez-Sinobas *et al.*, 1999). ويمكن اعتبار تأثير درجة الحرارة أمراً غير ذي أهمية عند استخدام المنقطات ذات السريان المضطرب، وذات الفوهة أو المتداخلة التدفق (Wu and Phene, 1984; Rodriguez-Sinobas *et al.*, 1999). أما المنقطات ذات السريان الطبقي ذي المسار الطويل فتبدي معدل تصرف متزايداً مع ازدياد درجة الحرارة، أما المنقطات الدوامية فتبدي معدل تصرف متناقص مع ازدياد درجة الحرارة (Rodriguez-Sinobas *et al.*, 1999). ويمكن التعبير عن العلاقة بين معدل تصرف المنقط والتغير في درجة الحرارة في صورة دالة خطية.

ويمكن التعبير عن شكل درجة الحرارة على امتداد طول الخط الفرعي كدالة أسية (Solomon, 1984) أو كخط مستقيم حين يتم اعتبار درجة حرارة النقطة الأخيرة قد سببها تأثير النهاية الطرفية ويتم إهماله (Wu and Phene, 1984). وهناك تقدير نظري للانخفاض في الاحتكاك على امتداد الخط الفرعي، مع ميل خطي لدرجة الحرارة، وقدّ تبين أن شكل ميل خط الطاقة لا يتأثر (Peng *et al.*, 1986).

(١٧,٤,٦) التغير في المنقطات

إن أس المنقط x يؤثر هو الآخر في العلاقة ما بين التغير في تصرفات المنقطات q_{var} والتغير في الضغط h_{var} في نظام الري الدقيق. ويمكن اشتقاق ذلك من المعادلة رقم (١٧,١) (Wu *et al.*, 1979) على النحو الآتي:

$$q_{var} = 1 - (1 - h_{var})^x \qquad (١٧,٩)$$

حيث إن q_{var} يمكن ببساطة التعبير عنها على أنها مدى التغير (Wu and Gitlin, 1974).

$$q_{var} = \frac{q_{max} - q_{min}}{q_{max}} \qquad (١٧,١٠)$$

حيث إن q_{max} هو أقصى معدل تصرف للمنقطات، و q_{min} هو أدنى معدل تصرف للمنقطات. والتغير في الضغط h_{var} يتم اشتقاقه بنفس أسلوب اشتقاق التغير في معدل تصرف المنقطات، ولكن ينبغي أن يظل في حدود ±١٠٪ من متوسط ضغط المنقط.

والمعادلة رقم (١٧,٩) توضح أن قيمة تغير معدل تصرف المنقط تبلغ الصفر عندما تكون x = صفر، بغض النظر عن تغير الضغط في النظام. وعندما تكون x = ١، سيكون لتغير معدل تصرف المنقط نفس قيمة تغير الضغط. وهذا يشير إلى أنه عندما تكون قيمة التغير في الضغط h_{var}، هو ٢٠٪، فإن تغير معدل تصرف المنقط لمنقطات السريان الطبقي ستكون قيمته هو الآخر ٢٠٪. ولكن، بالنسبة للمنقطات ذات

السريان المضطرب، نجد أن x = ٠,٥ ، ونجد أن تغيراً في الضغط قيمته ٢٠٪ في نظام الري الدقيق، سوف ينتج تغيراً في معدل تصرف المنقط قدره حوالي ١٠٪.

(١٧,٤,٦,١) التغير الكلي

حقلياً تعزى التغيرات في معدل تصرف المنقطات إلى ائتلاف كل من التغير الهيدروليكي والتغير المصنعي، والعلاقة بينها قد تم تحديدها في البداية بشكل إحصائي (Bralts *et al.*, 1981; Bralts *et al.*, 1987a)، ثم تم التحقق فيما بعد من صحتها من خلال المحاكاة بالحاسب الآلي (Wu *et al.*, 1985). ويمكن التعبير عن التغير الكلي في معدل تصرف المنقط، والذي يسببه كل من التغير الهيدروليكي، والتغير المصنعي بالمعادلة:

$$(CV)^2_{HM} = (CV)^2_H + (CV)^2_M \qquad (١٧,١١)$$

حيث إن $(CV)_{HM}$ هو معامل التغير في معدلات تصرف المنقطات الذي يسببه التأثيرات المشتركة لكل من التغير الهيدروليكي والتغير المصنعي، $(CV)_H$ و $(CV)_M$ هما معامل التغير في معدلات تصرف المنقطات بسبب التصميم الهيدروليكي والاختلاف المصنعي على التوالي.

(١٧,٤,٦,٢) تأثير التجميعات

عندما يتم تجميع عدد من المنقطات سوياً واعتبارها وحدة واحدة (مثل عدة منقطات لري شجرة واحدة)، فإن انتظامية إضافة الماء للشجرة ستتحسن (Wu *et al.*, 1988b)، ويعتمد هذا التحسن على حجم التغير في معدل تصرف المنقط والذي يسببه كل من التغير الهيدروليكي، والاختلاف المصنعي. أما في الحالة التي يكون فيها سبب التغير في معدل تصرف المنقط هو التغير الهيدروليكي فقط، ويكون فيها قيمة الاختلاف المصنعي تساوي صفراً، عندئذ لن تكون هناك أية تأثير للتجميع في وحدات، أي أن:

$$[(CV)_H]_g = (CV)_H \qquad (١٧,١٢)$$

حيث إن $[(CV)_H]_g$ هو معامل التغير لمعدل تصرف المنقط الذي تسببه الخصائص الهيدروليكية بعد التجميع في وحدات، و $(CV)_H$ هو معامل التغير لمعدل تصرف المنقط الذي تسببه الخصائص الهيدروليكية فقط.

أما في الحالة التي يكون فيها سبب التغير في معدل تصرف المنقط هو الاختلاف المصنعي فقط، ويكون فيها قيمة التغير الهيدروليكي تساوي صفراً، عندئذ فإن معدلات تصرف المنقطات ستتبع توزيعاً طبيعياً، وسيتم التعبير عن تأثير التجميع في وحدات بالعلاقة:

$$[(CV)_M]_g = \frac{(CV)_M}{\sqrt{N}} \qquad (١٧,١٣)$$

حيث إن:

$[(CV)_M]_g$ = معامل التغير في معدل تصرف المنقطات الذي يسببه الاختلاف المصنعي بعد التجميع في وحدات.

$(CV)_M$ = معامل التغير في معدل تصرف المنقطات الذي يسببه الاختلاف المصنعي فقط.

N = عدد المنقطات المجمعة سوياً في وحدة واحدة.

وعندما يتأثر معدل تصرف المنقط بكل من التغير الهيدروليكي، والاختلاف المصنعي معا، عندئذ يمكن التعبير عن تأثير التجميع في وحدات من خلال معادلة الانحسار (Wu *et al.*, 1 989):

$$[(CV)_{HM}]_g = \frac{A}{\sqrt{N}} + 1.2487B - 5.3935B^2 + 7.6749B^3 + 2.3113AB \qquad (١٧,١٤)$$

$$R^2 = 0.99$$

حيث إن :

$[(CV)_{HM}]_g$ = معامل التغير في معدل تصرف المنقطات الذي يسببه كل من التغير الهيدروليكي، والاختلاف المصنعي بعد التجميع في وحدات.

$$A = (CV)_M$$

$$B = (CV)_{HM} - (CV)_M$$

N = عدد المنقطات المجمعة سوياً في وحدة واحدة.

والمعادلة رقم (١٧,١٤) يمكن استخدامها على حتى ما يقارب ١٧ منقطاً لكل وحدة واحدة.

(١٧,٤,٧) تأثير الانسداد على التصميم

من المشكلات الرئيسة التي نواجهها في الري بالتنقيط مشكلة انسداد المنقطات، ويمكن لانسداد المنقط أن يؤثر سلباً على معدل تطبيق الماء وعلى انتظامية توزيع الماء، والتأثيرات المشتركة لكل من التغير في الخصائص الهيدروليكية، والاختلاف المصنعي، إلى جانب مشكلة الانسداد قد تم تقييمها إحصائياً (Bralts *et al.*, 1981) ثم التحقق من صحتها من خلال المحاكاة بالحاسب الآلي (Wu *et al.*, 1988a). ويمكن التعبير عن معامل التغير لمعدل تصرف المنقط الذي يسببه كل من التغير الهيدروليكي، والاختلاف المصنعي، ومشكلة الانسداد بالمعادلة التالية :

$$(CV)^2_{HMP} = \frac{(CV)^2_{HM}}{1-P} + \frac{P}{1-P} \qquad (١٧,١٥)$$

حيث إن : $(CV)_{HMP}$ هو التغير الكلي في معدل تصرف المنقطات والذي يحدث بسبب العوامل الثلاثة : الخصائص الهيدروليكية، والاختلاف المصنعي، والانسداد (الانسداد الكليّ فقط)، و P هو احتكاك المنقطات المنسدة بشكل كليّ. وفي الحالة التي

تكون فيها قيمة $(CV)_{HM}$ تساوي صفراً، عندئذ يمكن ببساطة التعبير عن معامل التغير والناشئ عن الانسداد فقط، باعتباره دالة في P :

$$(CV)_P = \sqrt{\frac{P}{1-P}} \qquad (١٧,١٦)$$

حيث إن $(CV)_P$ هو معامل التغير في معدل تصرف المنقط الذي تسببه مشكلة الانسداد وحدها. والمعادلة رقم (١٧,١٦) توضح أن الانسداد يمكن أن يؤثر بشكل كبير في الانتظامية، وعلى سبيل المثال، انسداد بنسبة ١٠٪ سينتج عنه معامل $(CV)_P$ يساوي ٣٣٪ لمعدل تصرف المنقط، في حين أن قيم المدى لكل من $(CV)_H$ و $(CV)_M$ هي ما بين ٠,٠٣ إلى ٠,٠٧، وما بين ٠,٠٣ إلى ٠,٢٠ على التوالي لنفس الأثر.

وبشكل مشابه لوضعية تجميع المنقطات في وحدات، فهناك تقييم للانسداد المتواصل أجراها واي وآخرون Wu *et al.* (1991) قد أوضح أن تأثير أربعة أو أكثر من المنقطات المنسدة سويا هو أقل من ١٪، في حالة الانسداد بنسبة ١٠٪ و ٢٠٪ على التوالي. ولذلك، إذا كانت هناك أربعة منقطات أو أكثر تروي شجرة واحدة، فإن فرص أن لا تنال الشجرة أي ماء ري بسبب مشكلة الانسداد، ستنخفض كثيراً.

(١٧,٥) تصميم نظام الري الدقيق

(١٧,٥,١) المعايير المعتمدة على الأداء

يمكن البدء في حسابات التصميم بمجرد تحديد كل من أداة التنقيط، ومتوسط معدل تصرف المنقط المطلوب، والمسافات بين المنقطات، والاختلاف بينها، والفاقد المسموح به في الضغط، وغيرها من المعايير الأخرى. ويتم تصميم نظم الري الدقيق بناء على انتظامية توزيع إضافة الماء مع الأخذ في الاعتبار الاحتياجات المائية للمحصول. وهناك اثنان من اعتبارات الانتظامية الأساسيان يتم استخدامهما مع التصميمات المعتمدة على الأداء، ألا وهما انتظامية التنقيط في النظام، والانتظامية

الجزئية لماء الري في الحيز الجذري للمحصول. وعلى كل الأحوال، نجد أن إجراءات التصميم هي بشكل أساسي لا تتغير بغضّ النظر عن معايير الانتظامية المنتقاة.

وانتظامية الأداة (EU) تصف كيف يمكن للنظام إجمالا أن يقوم بشكل منتظم بتوزيع الماء من كل منقط في الحقل، وكيف أنه يجب أن يتم تصميمه لتبلغ الانتظامية على الأقل ٨٠٪ (و٩٠٪ في حالة إضافة الكيماويات أثناء الري). ومعايير التصميم التي تؤثر على انتظامية تنقيط النظام تشمل كلا من التصميم الهيدروليكي، والاختلاف المصنعي، ودرجة الحرارة، والانسداد، وعدد المنقطات لكل نبتة. وعادة ما تعتبر انتظامية تنقيط النظام هي الأكثر ملاءمة لتصميم نظم الري الدقيق المصممة لري الأشجار ذات ذات المسافات البينية الواسعة.

أما الانتظامية الجزئية (الحيزية) فهي قياس توزيع ماء الري في الحيز الجذري للمحصول على امتداد الحقل، ومعايير التصميم التي تؤثر على الانتظامية الجزئية تشمل كلا من انتظامية النظام، وأنماط البلل للتربة، والمسافات بين المنقطات. وتعتبر الانتظامية الجزئية أمراً ذا أهمية أكبر من انتظامية النظام لري المزروعات عالية الكثافة، وغالباً ما يتم استخدامها مع التصميمات التي تتداخل فيها أنماط البلل الخاصة بالمنقطات.

وقياسات الانتظامية الأخرى، والتي قد تكون مفيدة أيضاً كمعيار للتصميم تشمل كلا من معامل كرستانس (Christiansen's) للانتظامية CU، ومعامل التغير المصنعي CV. ومقاييس الانتظامية هذه ترتبط في علاقات تعبر عنه معادلات الانحسار التالية (Wu and Irudayaraj, 1987):

$$CU = 1.0865\,CV \qquad (R^2 = 0.999) \qquad (١٧,١٧)$$

$$CV = -0.0095 + 0.4288\,q_{var} \qquad (R^2 = 0.97) \qquad (١٧,١٨)$$

$$CU = 1.0085 - 0.3702\,q_{var} \qquad (R^2 = 0.97) \qquad (١٧,١٩)$$

والارتباط العالي فيما بين أي زوجين من مقاييس الانتظامية والذي يتم التعبير عنه بالمعادلات رقم (١٧,١٧) ورقم (١٧,١٨) ورقم (١٧,١٩)، يشير إلى أن قياسات الانتظامية الثلاثة جميعها يمكن أن يتم استخدامها كمعايير للتصميم الهيدروليكي. وهذا يبرر استخدام القيمة البسيطة q_{var} للانتظامية، وهي التي يتم تحديدها بواسطة كل من الحدّ الأقصى والحدّ الأدنى فقط لمعدلات تصرف المنقطات في خط الأنابيب الفرعي، أو في الوحدة الفرعية.

(١٧,٥,٢) انتظامية التنقيط

المعيار الهندسي رقم EP405.1 (ASAE, 2005b) الصادر عن الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين ASAE، يقوم بتعريف انتظامية التنقيط (EU)، والتي غالباً ما يتم الإشارة إليها أيضاً على أنها انتظامية التوزيع (DU) (Burt and Styles, 1994)، لنظام الري الدقيق من أجل أغراض التصميم، على النحو التالي:

$$EU = 100\left[1-\left(1.27\times\frac{CV_M}{\sqrt{n}}\right)\times\left(\frac{Q_m}{Q_a}\right)\right] \qquad (١٧,٢٠)$$

حيث إن CV_M هو معامل الاختلاف المصنعي للمنقطات ذات مصادر التوزيع النقطية للماء أو المنقطات ذات مصادر التوزيع الطولية (الخطية) للماء معبراً عنه كنسبة مئوية. وعلى كل الأحوال، من الملائم أن نستخدم ممثلاً مشتركاً CV يشمل القيم المعبر عنها سابقاً إلى جانب عوامل أخرى مثل الصرف غير المستوي (خلال الإغلاق)، والمسافات بين المنقطات غير المتساوية في حسابات التصميم الأولية؛ لأن القيمة الفعلية لانتظامية التنقيط EU عادة ما ستكون أقل من انتظامية التنقيط EU في التصميم. أما Q_m فهو الحدّ الأدنى لمعدل التصرف عند الحدّ الأدنى للضغط في النظام، أما Q_a فهو متوسط تصرف المنقطات (أو التصرف التصميمي) عند متوسط الضغط (أو الضغط التصميمي)، و n هو عدد المنقطات لكل نبتة أو لكل قطر نطاق جذري للنباتات

مقسوماً على طول معطى لخط الأنابيب الفرعي (وهو غالباً ما يساوي ١)، والعامل الأول يمثل تغير معدل التصرف نتيجة للتغير في خصائص الصناعة (أو التغير المشترك)، والعامل الثاني Q_m/Q_a يعبر عن التغير الناتج عن الاختلافات في ضغط النظام. ولابد من ملاحظة أنه لأغراض التقييم، فإن $EU= 100\ (q_{LQ}/q_a)$، في حين أن q_{LQ} هو متوسط التصرف المقاس في الربع الأقل من القيم الحقلية المقاسة، بينما q_a هو متوسط كل القيم المقاسة، أما معامل الارتباط (CV) فيرتبط أيضاً بعلاقة مع انتظامية التنقيط (EU) من خلال المعادلة التالية:

$$CV = 0.77 \times (1 - EU) \qquad (١٧,٢١)$$

والتوصية العامة هنا هي أن اختيار التغير المشترك للتصرف، ونسبة التغير في التصرف (المعادلة رقم ١٧,٢٠) لابد أن تتسبب دوما في انتظامية تنقيط (EU) تزيد على ٨٠٪، وعلى كل الأحوال، فإن الاختيار الفعلي لقيم كل من CV، وCU، وDU، هو أمر يعتمد على عدد من العوامل تشمل تكلفة النظام، وتكلفة الماء والتكاليف ذات الصلة، وحساسية المحصول (في إنتاجيته وجودته) للإجهادات التي يسببها الري غير المنتظم، والقيمة السوقية للمحصول، والاهتمامات البيئية (مثل تسرب المواد الكيماوية إلى المياه الجوفية). والجدول رقم (١٧,١) يقدم الحدود المقترحة لقيم الانتظامية، لاستخدامها عند التصميم اعتماداً على تلك العوامل.

الجدول رقم (١٧,١). الحدود المقترحة لمعايير التصميم لمختلف التعبيرات عن الانتظامية اعتماداً على شروط متنوعة اقتصادية، وبيئية وتختص بامدادات الماء.

اعتبارات التصميم	CV	CU	EU
ماء وفير مع عدم وجود مشكلات تلوث بيئية.	٢٠٪-٣٠٪	٧٥٪-٨٥٪	٦٠٪-٧٥٪
ماء وفير ولكن اعتبارات الوقاية البيئية مهمة.	١٠٪-٣٠٪	٨٠٪-٩٠٪	٧٥٪-٨٥٪
مصادر مائية محدودة ولكن دون مشكلات بيئية.	١٥٪-٢٥٪	٨٠٪-٩٠٪	٧٠٪-٨٠٪
مصادر مائية محدودة مقرونة بالحاجة إلى وقاية بيئية.	٥٪-١٥٪	٨٥٪-٩٥٪	٨٠٪-٩٥٪

(١٧,٥,٣) التصميم الهيدروليكي للأنابيب الفرعية

إن التصميم الهيدروليكي لوحدة فرعية في نظام الري الدقيق يعتمد على علاقات الطاقة في أنابيب التنقيط، بما يشمل حالات الفاقد بسبب الاحتكاك، والتغيرات في الطاقة بسبب ميول الحقل (Bralts and Segerlind, 1985). ويمكن عمل الحسابات المباشرة لضغوط الماء على امتداد خط الأنابيب الفرعية أو في الوحدة الفرعية، باستخدام أسلوب خط ميل الطاقة (Feng and Wu, 1990; Wu and Gitlin, 1974). ويمكن تحديد كافة معدلات تصرف المنقطات على امتداد خط الأنابيب الفرعية وفي خط الأنابيب الموزعة، اعتماداً على ضغوط الماء المكافئة على امتداد الخطوط الفرعية والخطوط الموزعة. وعندما يتم تحديد كافة معدلات تصرفات المنقطات، يمكن عندئذ التعبير عن التغير في معدل تصرف المنقط بالمعادلة رقم (١٧,١٠).

وبوجه عام، فإن التغير في معدل تصرف المنقط q_{var} يتم استخدامه في التصميم الهيدروليكي. ومعيار التصميم للتغير في معدل تصرف المنقط q_{var} في تصميم الري بالتنقيط يوصى بأن يكون ما بين ١٠٪ إلى ٢٠٪، وهو ما يكافئ معامل تغير يبلغ ما بين ٠,٠٣٣ إلى ٠,٠٧٦ على التوالي (ASAE Standard EP405.1, ASSE, 2005b). وعلى كل الأحوال، قد يتم استخدام القيم الواردة في الجدول رقم (١٧,١) إذا ما تم تبريرها من أجل التصميم.

والرشاشات الصغيرة غالباً ما يتم تصميمها بأحجام فوهات يزيد قطرها على ١مم وذلك لتقليل الانسداد. وهذه المنقطات عادة ما يمكنها تحقيق معاملات انتظامية نظام في الحقل تزيد على ٩٠٪. وعلى كل الأحوال، فإن أنماط توزيع الماء لهذه الأدوات الفردية يمكن أن تكون متباينة نوعا ما، وهو ما لن يثبته معامل انتظامية يعتمد على معدلات التصرف.

(١٧,٥,٤) التصميم الهيدروليكي للوحدات الفرعية

إن وحدة الري الدقيق الفرعية هي جزء من نظام الري الدقيق عادة يتم تشغيلها بشكل منفصل عن بقية الوحدات الفرعية، ولكن قد يمكن تشغيلها بشكل متزامن مع

وحدات فرعية أخرى. ولأسباب اقتصادية ولأسباب تتعلق بتوافر الماء، غالباً ما يتم تصميم نظم الري الدقيق مكونة من أربعة أو أكثر من الوحدات الفرعية. ومن ثم، فإن كلا من مضخة الري، ومصدر القدرة، ونظام الترشيح، وغيرها من مكونات التزويد بالماء يمكن لها أن تكون أصغر مما لو كان نظام الإنتاج يتم ريّه كوحدة واحدة. وعلى كل الأحوال، يكون من المرغوب أو من الضروري أحياناً تشغيل نظام الري الدقيق بالكامل كوحدة واحدة، مثلما عندما يتم استخدام الرشاشات الصغيرة للحماية من الصقيع / التجمد (Evans *et al,* J988; Evans, 1994)، ولكن ذلك يزيد من تكلفة رأس المال الأساسية؛ لأن الكثير من مختلف مكونات النظام المتنوعة لابد أن تكون أكبر حجما بشكل كبير.

والوحدة الفرعية تتكون من أنبوب ريّ موزع (أو خط توزيع) مع خطوط أنابيب فرعية تقوم بتوزيع الماء من خطوط أنابيب الري الموزعة. ويتم استخدام أحد الصمامات (في العادة صمام لولبي solenoid) عند نقطة الدخول إلى خط أنابيب الري الموزعة للتحكم في إضافة الماء إلى الوحدة الفرعية. وكذلك قد يتم وضع كل من مقياس الضغط، وعداد تدفق، ومنظم ضغط، ومدخل حقن كيميائي عند موقع مدخل خط أنابيب التوزيع إذا اقتضت الحاجة.

وإذا كان هناك العديد من المجموعات الأصغر حجماً في الوحدة الفرعية، فلابد للتصميم من أن يمنع الصرف من القوالب التي على ارتفاع عال مما يسبب توزيعات جائرة في المجموعات الأدنى بواسطة التحكم في الارتفاع أو باستخدام صمامات عدم رجوع محملة بنابض. وهذا أيضاً يوفر ملئاً سريع للأنابيب وانتظامية نظام أفضل، لأن نظام الأنابيب لا يحتاج لأن يتم إعادة ملئه لكل مرة ري.

ويتم توصيل الماء إلى الوحدة الفرعية بواسطة خطوط أنابيب رئيسة أو شبه رئيسة تختلف من الناحية الهيدروليكية كثيراً عن خطوط أنابيب الوحدة الفرعية، وتتكون الوحدات الفرعية من خطوط أنابيب خروج، مع مخارج ذات مسافات بينية متماثلة تعمل على حركة الماء على امتداد أطوالها. وبالمقابل، فإن خطوط الأنابيب

الرئيسة وشبه الرئيسة لها تصرف متماثل على امتداد أطوالها، مما يؤدي إلى حالات فاقد أكبر بسبب الاحتكاك لنفس ذات أقطار الأنابيب ومعدلات التصرف.

ويتم تصميم خطوط أنابيب الوحدات الفرعية لتستوفي اثنين من المعايير هما: الانتظامية العالية، والتكلفة المنخفضة. وعلى كل الأحوال، فإن هذه المعايير غالباً ما تتعارض مع بعضها البعض؛ لأن الانتظامية العالية يتم تحقيقها بواسطة ضغوط متماثلة مع الحد الأدنى للفاقد في الضغط، وهو ما يتم تحقيقه من خلال زيادة حجم الأنابيب، وإضافة المزيد من صمامات التحكم، وغير ذلك من التدابير التي تسبب تكلفة مرتفعة. ولهذا السبب، تم وضع معايير لتحديد درجة مقبولة من انتظامية تطبيق الماء (مثل معيار الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين ASAE رقم EP405.1 عام ٢٠٠٥ب). وهذه المعايير قد تم تدوينها مع إدراك أنه من المكلف تحقيق انتظامية عالية، وتعتبر انتظامية التنقيط في حدود ما بين ٧٠٪ إلى ٩٠٪ بوجه عام انتظامية مقبولة (Wu and Irudayaraj, 1992). وقد تكون القيم الأعلى من ذلك قيماً ملائمة مع الأسطح المستوية، حيث إن تحقيق انتظامية أعلى هو أمر أقل تكلفة، في حين أن القيم الأقل من ذلك مقبولة أكثر مع المناطق حادة الانحدار، ما لم يتم استخدام عملية الري الكيميائي.

ولابد من تصميم الوحدات الفرعية مع مراعاة حالات الفاقد في الضاغط في الأنابيب الموزعة والأنابيب الفرعية. ولأن بعضاً من حالات الفاقد في الضاغط في الوحدات الفرعية تظهر في كل من الأنابيب الموزعة والأنابيب الفرعية، وليس من الملائم أن يعتمد التصميم فقط على انتظامية السريان في الأنابيب الفرعية، ما لم يتم ضبط الضغط عند مدخل كل أنبوب فرعي. وهذه الفروق قد تكون ذات أهمية خاصة عندما تكون انحدارات الحقل كبيرة وتكون الأنابيب الموزعة موضوعة أعلى وأسفل المنحدر. ويمكن تصميم الوحدات الفرعية بحيث تشمل كلا من الأنابيب الفرعية والأنابيب الموزعة بواسطة الخطوات التالية:

١- اختيار انتظامية التنقيط أو الانتظامية الحيزية اعتماداً على معايير الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين ASAE أو غيرها من المصادر.

٢- حساب تغير معدل التصرف المسموح به داخل الوحدة الفرعية من معادلة انتظامية التنقيط.

٣- حساب تغير الضغط المسموح به داخل الوحدة الفرعية من الخصائص الهيدروليكية للمنقط ومن تغير معدل التصرف المسموح به.

٤- تصميم الخطوط الفرعية باستخدام نسبة (أي ٦٠٪ كتقريب أولي) من قيمة الفاقد المسموح في الضغط داخل الوحدة الفرعية (وهو ما يلائم نسبة الفاقد في الضغط المسموح به لكامل النظام).

٥- تصميم الخطوط الموزعة باستخدام ما يتبقى من الفاقد الرئيسي المسموح به في الوحدة الفرعية، والذي لم يتم استخدامه في تصميم الخطوط الفرعية.

٦- تكرر الخطوات ٤ و٥ في إجراء تجريبي يعمل على تغيير الفرق بين حالات الفاقد في كل من الخطوط الفرعية والخطوط الموزعة، إلى أن يتم الحصول على حل يحقق الحد الأدنى من التكلفة.

ويمكن لحسابات الخطوط الفرعية أن تعتمد على أسلوب ميل خط الطاقة (EGL) أو أسلوب ميل خط الطاقة المعدل (REGL) (Wu and Yue, 1993 ، Wu, 1992a). وقد تم تطوير خرائط تصميم لتصميمات الخطوط الفرعية، وتصميمات الخطوط شبه الرئيسة، مع أسلوبي خط ميل الطاقة (EGL) وخط ميل الطاقة المعدل (REGL) البسيطين (Wu and Gitlin, 1974). وأما معايير التصميم للخط الفرعي فيتم حسابها اعتماداً على تصميم معايير انتظامية التنقيط. وكذلك يتم تصميم الوحدات الفرعية باستخدم أسلوب العنصر المنتهي (Bralts and Segerlind, 1985).

أما شروط السريان في كل من الخطوط الفرعية والخطوط الموزعة فتقل بشكل مطرد مع أطوالها، ولكنها يمكن أن تتابين من حيث الحيز اعتماداً على المخطط التفصيلي

(Howell and Hiler, 1974، Anyoji and Wu, 1987). أما الخط الفرعي ذو مئات المنقطات، فيجعل عملية الحساب خطوة بخطوة (SBS) لكافة الأقسام عملية شاقة للغاية. وقد تم تطبيق أسلوب ميل خط الطاقة (EGL) لتحديد التغير في الضغط على امتداد طول الخط الفرعي (Wu and Gitlin, 1974). ومفهوم ميل خط الطاقة يقدم حساباً مباشراً لتدفقات المنقطات على امتداد طول الخط الفرعي، لأنه يمكن اشتقاق معادلات بسيطة لتحديد كافة تصرفات المنقطات على امتداد طول الخط الفرعي.

وهناك العديد من البرامج التجارية الجيدة وبرامج الجداول الممتدة المتوفرة من أجل التصميم باستخدام الحاسوب لمثل هذه النظم. وعلى سبيل المثال، تم تطوير برامج حاسوب لتصميم نظم الري الدقيق باستخدم أسلوب العنصر المنتهي (Bralts and Segerlind, 1985) والحسابات التدريجية خطوة بخطوة (Pitts *et al.*, 1986; Meshkat and Warner, 1985). كما تم تطبيق استخدام مفهوم ميل خط الطاقة في تطوير تصميم بمساعدة الحاسوب لأنظمة الري الدقيق (Feng and Wu, 1990).

(١٧,٥,٥) تصميم خطوط الأنابيب الرئيسة وشبه الرئيسة

لابد لخطوط الأنابيب الرئيسة وشبه الرئيسة من أن تقوم بتوصيل القدر اللازم من الماء والطاقة (ضغط) إلى مدخل كل وحدة من الوحدات الفرعية وذلك لاستيفاء معايير انتظامية التنقيط، ولابد لها كذلك من أن تكون معادلة للضغط بشكل لائق حتى تتحمل ضغوط الاندفاع الزائدة، وهذا يتطلب بوجه عام أن تكون سرعات خطوط الأنابيب محدودة عند قيم تعمل على الإبقاء على ضغوط الاندفاع عند مستويات مقبولة (أي ١,٥ م/ث أو أقل).

ومن ثم فإن خطوط الأنابيب الرئيسة يتم تصميمها اعتماداً على المعايير الاقتصادية لاستخدام الأنابيب وملحقاتها التي تستوفي معدلات الضغط المطلوبة. ويكون من المطلوب عمل تحليل لتكلفة استخدام المواد والطاقة، وذلك لتحديد خطوط الأنابيب الأقل تكلفة والمناسبة لمعدل التصرف المطلوب وساعات التشغيل

المطلوبة لكل فترة من فترات التحليل. وهذه التحليلات عادة يتم إجراؤها سنوياً من أجل الخفض التنازلي لرأس المال الأساسي وتكاليف التركيب، ومقارنتها جميعاً بتكاليف التشغيل السنوية المقدرة.

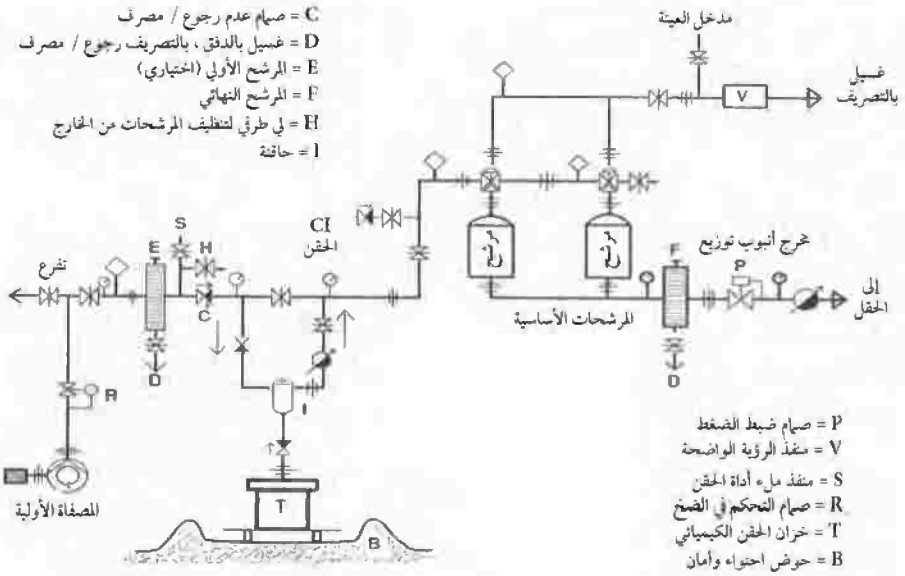
(١٧,٦) تصميم وحدة التحكم في النظام

إن وحدة التحكم في نظام الري الدقيق يتم تعريفها على أنها كافة المضخات والصمامات والمرشحات (الفلاتر) والحاقنات ولوحات التحكم ومعدات المراقبة، وغيرها من الأدوات اللازمة لتوصيل الماء بضغوط كافية وكميات وجودة ملائمة لنظام الري. ولابد لوحدة التحكم في نظام الري من أن تتخذ موضعاً يمكن الوصول إليه بشكل سهل من أجل أعمال الصيانة والتشغيل، ويوضح الشكل رقم (١٧,١) تخطيطاً لمختلف العناصر المكونة ومواضعها في وحدة تحكم نمطية لأحد نظم الري الدقيق.

أما تجهيز الموقع فلابد له أن يضمن صرف ماء العواصف الزائد عن منطقة وحدة التحكم بالإضافة إلى توفير إمكانية وصول موثوق بها في ظل الظروف الجوية المعاكسة. ولابد من تركيب وحدة التحكم على قاعدة خراسانية مستوية ذات متانة وحجم كافيين لحمل كافة المضخات والمرشحات وعدادات التدفق، ولوحات التحكم الالكترونية، والصمامات، والحاقنات، والمعدات الأخرى. وهذه القاعدة ستعمل على توفير أساس ثابت يمكن تثبيت المعدات عليه بالمسامير الملولبة وذلك للحد من الاهتزاز، ولتجنب الإجهادات الهيكلية، ولتسهيل عمليات الصيانة، أما قوالب الدفع فقد يكون من المطلوب استخدامها هي الأخرى عند مداخل ومخارج الأنابيب. ولابد من توفير دعامات ملائمة أسفل المكونات الثقيلة مثل عدادات التدفق وصمامات التحكم، والمرشحات.

ولابد من حماية المنظومة بالكامل من التلفيات الميكانيكية العارضة بسبب الأدوات والمركبات والجرارات الزراعية، ولابد من إحاطة كل من وحدة التحكم، وبرك وأحواض الترسيب، وخزانات الكيماويات، جميعاً بسياج لمنع الأطفال أو

الأشخاص غير المصرح لهم أو الحيوانات من إتلاف المكونات أو من أن يتعرضوا هم أنفسهم للمواد الكيماوية الخطرة.



الشكل رقم (١٧,١). تخطيط نمطي يمثل كافة المكونات المطلوبة في وحدة التحكم لنظم الري الدقيق.

ولابد من توفير مرافق تصريف أو احتواء للتسريب حول أي خزانات تجهيز للأسمدة أو الكيماويات، لمنع التلوث المباشر لأي مياه سطحية نتيجة للتسريبات. وبالمثل، لابد من حماية فوهات الآبار لمنع تلوث المياه الجوفية من المصادر البكتيرية و/أو الكيماوية. أما مياه غسيل المرشحات أو غيرها من المياه المحتمل أن تكون ملوثة فلابد من أن يتم التخلص منها من خلال نثر التراب عليها (أي بإخمادها بالغبار) وألا يتم السماح لها بالسريان إلى ممرات التصريف، لا سيما إذا كانت تحتوي على مواد كيماوية محقونة.

وقائمة التدقيق المقترحة للاعتبارات اللازم مراعاتها خلال التصميم الهيكلي لوحدة التحكم في النظام هي:

١- تصميم ارتفاع منظومة وحدة التحكم بحيث يسهل تفكيك وتجميع مختلف المكونات من أجل التنظيف والإصلاح والاستبدال، مع تقليل إمكانية دخول المخلفات وغيرها من الملوثات الأخرى إلى النظام. ولابد للمكونات بوجه عام من أن يكون لها حدّ ادنى من الارتفاع يبلغ حوالي ٠,٤ م أعلى سطح الخراسانة لتوفير مساحة تشغيل ملائمة.

٢- المحافظة على مسافات ملائمة بين مختلف المكونات لضمان التشغيل الموثوق به للعدادات وأجهزة القياس، وتيسير تشغيل وصيانة وتنظيف المرشحات، وتفكيك واستبدال الأجزاء التالفة. والتأكد من أن الأسهم المشيرة إلى اتجاه السريان على المكونات، مثل عدادات التدفق وصمامات الضبط هي في اتجاه السريان الصحيح.

٣- التأكد من أن المكونات يمكن عزلها بواسطة الصمامات وذلك من أجل عمليات الإصلاح والصيانة، وأن هناك ما يكفي من وصلات الأنابيب (ملولبة الطرفين)، ومقرنات التلقيم، و/أو شفّات اللحام، قد تم تركيبها لتيسير عمليات تفكيك وإصلاح المكونات. وتحدد مواضع كافة الصمامات بحيث تسمح بإمكانية وصول سهلة إليها، وتسمح بتسهيل عمليات فتحها وصيانتها وإزالتها. وتجنب الوصل بشكل مباشر ما بين المعادن المتباينة، بدون (وصلة) اتحاد عازل للكهرباء لمنع حدوث التآكل والتحلل الكهربي للملحقات. ولابد للطول المكشوف من حلمات (نبل) الأنابيب الصلبة المسننة من أن يسمح بإمكانية توصيل مريحة من أجل ربط الأنابيب بمفاتيح الربط.

٤- اختيار خامات منيعة لكافة الأنابيب والمكونات التي قد تتلامس مع المواد الكيماوية المركزة بما في ذلك الأسمدة. وأحيانا قد يقتضى الأمر استخدام مواد طلاء أو تبطين خاصة لحماية المكونات الهيدروليكية من التأثيرات الكيماوية المباشرة.

٥- يجب توفير أجهزة قياس الضغط، أو صنابير قياس الضغط بشكل مباشر في اتجاه التدفق قبل وبعد كافة المكونات التي تعمل على تعديل الضغط (مثل: منظمات الضغط، وأجهزة الترشيح، وحاقنات الأسمدة، وصمامات ضبط الضغط، ... إلخ).

٦- يجب استخدام وشائج (أجهزة تعشيق) كهربائية وهيدروليكية من أجل معدات الحقن، وذلك لمنع التدفقات المرتدة من تلويث إمدادات المياه، ولمنع عملية الحقن الكيميائي عندما لا تعمل مضخات إمداد الماء الرئيسة. وبشكل مماثل، لا يجب حقن المواد الكيماوية (فيما عدا البيوسيدات مثل الكلور) خلال حالات التدفقات المرتدة وارتداد مياه الغسيل بالدفق. وتركيب وشائج (أجهزة تعشيق) مانعة للتدفقات المرتدة، وكذلك تركيب صمامات (عدم رجوع) كابحة لخط الحقن، وتركيب غير ذلك من أجهزة الأمان، هي أمور يجب أن تسير بالتماشي مع المعايير أو الضوابط المحلية.

٧- الصمامات اللولبية solenoid لابد أن يكون هناك إمكانية لتجاوزها يدويا، أو إهمالها هيدروليكيا. ولابد لها أن تستغرق ما بين ١ إلى ٥ ثوان لكي تفتح وتغلق لتجنب حدوث مشكلات اندفاع الماء بقوة.

٨- يوصى باستخدام صمامات التحكم في المضخات، والتي تعمل ببطء على جعل النظام يعمل بدون حدوث اندفاع قوي للماء وتحمي المضخات عند الإغلاق، ولاسيما في منظومات المضخات التوربينية. ولابد للمضخات من أن تحظى بمفاتيح تحويل (سويتشات) منخفضة الضغط لمنع حدوث أضرار بالمضخة في حالة تسريب الماء.

٩- يجب حماية العمال من المخاطر الكهربية، من خلال تركيب وصيانة عازل ملائم، ووشائج (أو أجهزة تعشيق) ملائمة، ومن خلال توفير أساس ملائم لكافة المعدات الكهربية. ولابد من توفير دوائر تأريض لكافة مضخات الحقن.

١٠- لابد لمواتير أو محركات المضخات من أن يكون لها غطاء لحمايتها من أشعة الشمس المباشرة. وسوف يزيد هذا من فترة صلاحية المكونات ويخفض من السخونة الزائدة.

١١- كما ينبغي لمواتير المضخات الكهربية من أن يكون لها أميترات (أجهزة لقياس التيار الكهربي) مثبتة على لوحة التحكم، ولابد من تسجيل القراءات كجزء من برامج حفظ دفاتر الصيانة بشكل منتظم.

(١٧,٧) التركيب

أحد أكثر الاعتبارات أهمية عند تركيب نظام من نظم الري الدقيق هو سلامة العاملين. إذ لابد من ضمان توفير مساحة كافية، وتضاريس ملائمة للتشغيل بشكل آمن بدون تعريض أي من العاملين للخطر. ولابد من إمالة كل الخنادق أو أي حفريات أخرى أعمق من ١ م أو توفير إجراءات وقائية خاصة لحماية العاملين من انهيار الحائط الجانبي لتلك الخنادق.

ولابد للمقاول من أن يقوم بتطبيق برنامج مراقبة الجودة خلال عملية التركيب، وذلك لضمان أن كافة الوصلات قد تم عملها بشكل صحيح وليتجنب دخول ذرات التربة والبقايا إلى داخل الأنابيب والشبكات. ولابد من غسل نظم الري الدقيق بالدفق مباشرة بعد اكتمال التركيب، وكذلك بعد أي إنشاءات أو إصلاحات جديدة. ولابد للمقاول من أن يضمن أن الصمامات والمضخات، والمرشحات قد تم تركيبها وضبطها بشكل صحيح.

كما ينبغي على المقاول أن يقوم باختبار النظام للتأكد من صحة الضغط وتوزيعات التصرف، وليضمن أنه ليس هناك تسربات. ولابد من تقييم انتظامية التنقيط في النظام الجديد من أجل تحديد ما إذا كان النظام الجديد يستوفي مواصفات التصميم أم لا. ومعيار الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين ASAE الهندسي رقم (EP405.1)، بعنوان تصميم وتركيب نظم الري الدقيق، يقدم إرشادات إضافية لعملية تركيب وتقييم نظم الري الدقيق الجديدة فيما بعد التركيب (ASAE, 2005b).

ولابد للقائم بعملية الري أن يعتاد على آليات التحكم والخصائص المميزة للنظام الجديد. ولابد من تطبيق برنامج ملائم للتحكم في الماء، وكذلك لابد من تبني ممارسات جديدة تتعلق بالحصاد والزراعة وفق ما تقتضي الضرورة.

(١٧,٨) الصيانة

إن تطبيق نظام صيانة متقن وصارم هو أمر محوري بالنسبة للنجاح طويل الأمد لنظام الري الدقيق. وبرنامج الصيانة الجيد ينطوي على تطبيق المحافظة الجيدة على دفاتر المتابعة، وعلى برنامج معالجة كيميائية مناسب للماء، وعلى غسيل منتظم بالدفق لإبقاء خطوط الأنابيب نظيفة.

والكثير من مشكلات الصيانة يمكن تجنبها بواسطة التسجيلات المنتظمة لعدادات التدفق وأجهزة قياس الضغط. وهذه العملية يمكن تيسيرها بشكل كبير من خلال تقنيات الاتصال عن بعد المرتبطة بالحاسبات الآلية الموضعية. وكذلك من المطلوب إجراء مشاهدات بصرية متكررة لضمان ان كافة مكونات النظام تعمل بشكل سليم. كما أن التفتيش المنتظم في الحقل سيساعد في العثور على المنقطات المنسدة، وعلى رصد صمامات الغسيل بالدفق التي لا تعمل بشكل سليم، وعلى تحديد مواضع الأنابيب والشبكات التي تضررت من جراء ذئاب البراري، والقوارض الصغيرة، والحشرات، وغيرها من المسببات بما يشمل معدات الزراعة.

(١٧,٨,١) التقييم الحقلي لتشغيل وانتظامية نظام الري الدقيق

لابد من أخذ مقاييس انتظامية توزيع الماء في نظم الري الدقيق حديثة التركيب من أجل التأكد من أن النظام قد تم تصميمه وتركيبه بالشكل الملائم، وأيضاً من أجل توفير أساس لعقد المقارنات لاحقاً. ولابد من أخذ مقاييس انتظامية توزيع الماء قبل كل موسم حصاد للمحصول، ومقارنتها بتقييمات النظام الجديد. فإذا كان هذا الأمر شاقاً عملياً للغاية أو لم يكن عملياً بالمرة (كما في حالة النظم تحت السطحية)، عندئذ كحدّ أدنى

لابد للقائم على الري أن يقارن ما بين التصرفات والضغوط الفعلية للنظام عند بدايات الدخول والنهايات البعيدة للنظام من ناحية والتقييمات الأولية من ناحية أخرى. وقد يقتضى الأمر إجراء اختبارات أخرى من أجل تقييم وضبط إجراءات الصيانة والتشغيل خلال موسم النمو، خاصة عند وجود مشكلات انسداد للمنقطات حادة.

وتعتبر حالات الانخفاض في انتظامية التوزيع عبر الوقت من الأمور المثيرة للقلق. فعلى الرغم من أن عمليات الملاحظة البصرية المنتظمة سوف تعمل على رصد المنقطات التي تعاني من الانسداد، سواء بشكل كامل أو بشكل شبه كامل، إلا أنها لن ترصد التغييرات الصغيرة في معدلات تصرف المنقطات نتيجة للانسداد الجزئي. وسوف تؤدي الفحوصات المستمرة لسجلات عدادات التدفق والقياسات الحقلية الدورية للتغيرات في معدل تصرف وضغط المنقط، على المساعدة في التحقق من التغيرات الحادثة في أداء النظام. والرصد المبكر للمشكلات لابد أن يشير إلى الحاجة إلى معالجات كيميائية خاصة للماء لتنظيف المنقطات ذات الانسداد الجزئي قبل تفاقم المشكلة. وأما المقارنات اللاحقة – عندما يظهر الانسداد الجزئي للمنقطات كنتيجة إما للترسيب الكيميائي أو الطحالب أو غير ذلك من المسببات – يتم عملها باستخدام معامل كريستيان للانتظامية (CU) أو غير ذلك من الطرق الإحصائية لقياس الانتظامية كما هو مفسر في الفصل الخامس في دراسة بيتز وآخرين (1996) Pitts *et al.*. وكذلك فإن تلف وتهالك المنقط سيؤثر في معدلات التصرف مع تقدم عمر المنقط.

فإذا ما كانت الانتظامية منخفضة، فلابد من أخذ عينات إضافية لزيادة المصداقية الإحصائية. وإذا كانت العينات الإضافية لمعدل تصرف المنقط تشير إلى أن انتظامية التوزيع لا تزال منخفضة، عندئذ لابد من إجراء اختبارات لضغط التوزيع للمساعدة في رصد الأسباب. ونجد أن كلا من انبعاج أو التسرب من خطوط الأنابيب والأنابيب الفرعية، ومنظمات الضغط المضبوطة بشكل غير صحيح، وخطوط الأنابيب وملحقاتها ذات الأحجام غير الملائمة، والصمامات التي لا تعمل بشكل لائق، هي جميعها

عوامل يمكن أن تتسبب في تفاوتات مرتفعة في الضغط الهيدروليكي. وفي المقابل، نجد أنه إذا كان التفاوت الهيدروليكي منخفضاً، فمن ثم تصبح الانتظامية الرديئة لتوزيع الماء مشكلة إلى جانب الانسداد أو الاختيار غير الصحيح للمنقطات.

في حالة إضافة الماء بواسطة نظام الري بالتنقيط يمكن اعتبار تسرب الماء في الحقل يتبع توزيعاً طبيعياً طالما كان معامل التغير لمعدل تصرف المنقط أو الانتظامية الجزئية (الحيزية) أقل من ٣٠٪ (Wu, 1988). أما منحنى التوزيع التكراري التراكمي للتوزيع الطبيعي للماء فيمكن تمثيله بشكل تقريبي بخط مستقيم. وسوف ينتج عن التوزيع الخطيّ لتطبيق الري مناطق ذات ري ناقص وأخرى ذات ري زائد، وهو ما يمكن تقديره كميا بواسطة معادلات حسابية بسيطة (Karmeli, *et al.*, 1978; Seginer, 1978; Wu, 1988).

والمعيار الهندسي للجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين ASAE رقم (EP-458) بعنوان التقييم الحقلي لنظم الري الدقيق (ASAE, 2005d)، يعمل على تحديد التدابير العاملة للتقييمات الحقلية للمنقطات، وهذا المعيار (EP-458) يفترض وجود توزيع طبيعي لمعدلات تصرف المنقطات المقاسة في الحقل. على كل الأحوال، حتى مع الانسداد الجزئي للمنقطات، فإنه في العادة سيتم الإفراط في تقدير قيم الانتظامية لأن الانسداد والضغوط لا يتم بشكل طبيعي توزيعها عبر النظام بكامله. وبوجه عام، نجد أن معايير تغير معدل تصرف المنقط هي: ٥٪ أو أقل للممتاز، ومن ٥٪ إلى ١٠٪ للجيد جدا، ومن ١٠٪ إلى ١٥٪ للجيد، ومن ١٥٪ إلى ٢٠٪ للرديء، وأكثر من ٢٠٪ لغير المقبول. أما معايير معامل التغير الهيدروليكي فهي: ١٠٪ أو أقل للممتاز، ومن ١٠٪ إلى ٢٠٪ للجيد جداً، ومن ٢٠٪ إلى ٣٠٪ للجيد، ومن ٣٠٪ إلى ٤٠٪ للرديء، وأكثر من ٤٠٪ لغير المقبول. وقد ناقشت دراسة برالتز وآخرين Bralts *et al.* (1987a; 1987b) الاعتبارات الإحصائية عند تقدير انتظامية التوزيع، أما دراسة كامب وآخرين Camp *et al.* (1997) فقد قامت بتقييم العديد من أساليب تقييم انتظامية المختلفة وناقشت أوجه النفع والقصور في كل أسلوب منها.

ولأن الكثير من التأثيرات الاقتصادية والبيئية هي دوال متعلقة بكل من المناخ، والطبوغرافيا، ونظم انتاج المحاصيل، فإنه غالباً ما تتواجد خطوط إرشادية معينة للانتظامية المقبولة في المناطق المعينة. وقد طرحت دراسة سماجسترلا وآخرين Smajstrla *et al.* (1997) خطوات محددة للتقيمات الحقلية في المناطق الرطبة (مفترضة كذلك وجود توزيعات إحصائية طبيعية لتصرفات المنقطات)، وقدمت الدراسة إجراءات جدولة وتخطيط تعمل على تبسيط تحليل البيانات للتفاوت في كل من معدل التصرف والضغط لتحديد مشكلات عدم الانتظامية، ولتحديد العدد المطلوب من المنقطات لفحصها، ولتحديد سبب أي عدم انتظام يتم رصده، فأما إجراءات الرسوم التخطيطية فتشترط أن يتم أخذ عينة عشوائية من المنقطات يبلغ حدها الأدنى ١٨ منقطاً في كل وحدة فرعية يتم تقييمها.

(١٧,٨,٢) صيانة النظام

لابد من اتباع توصيات الصانع بشأن الصيانة بالنسبة لكافة المكونات. فكل مكوّن لابد من أن يتم فحصه واختباره بشكل دوري للتأكد من أنه يعمل بشكل سليم. والثبات على المبدأ في كافة جوانب برنامج الصيانة هو المفتاح لنظام الري الدقيق الناجح. و الإبقاء على سجلات جدولة عمليات الري، والكلورة، والمعالجات الكيماوية، والري الكيميائي، وأنشطة الصيانة، هو أمر حاسم في توثيق مشكلات الصيانة، وفي الصيانة اللازمة المضبوطة التوقيتات، وفي إجراء التحليلات المالية، وفي التخطيط للتحسينات المستقبلية.

أما فحص المعدات وخطوط الأنابيب المدفونة فهو أمر صعب. ولهذا، يمكن استخدام المراقبة والتقييم غير المباشرين من خلال رسم خرائط قراءات عدادات التدفق والضغط بشكل دوري، وذلك لفحص أداء الوحدات الفرعية أو لفحص أداء نظام الري الدقيق بالكامل. والتغيرات في أداء النظام ستشير إلى الاحتياج إلى الصيانة، حتى عندما تظهر هذه التغيرات ببطء. ومراقبة معدلات التصرف والضغط ترصد مشكلات التسريب

أو انسداد المنقطات وتعمل على توثيق مدى تفاقم المشكلات. وعلى سبيل المثال، نجد أن معدل التصرف الذي ينخفض بشكل تدريجي، ومعدل الضغط المتزايد ربما يشيران إلى انسداد تدريجي في المنقط، في حين أن معدل التصرف المتسارع الازدياد، ومعدل الضغط المنخفض يمكن أن يشيرا إلى تسريبات أو إلى وجود خطوط أنابيب مكسورة. وكذلك نجد أن أدوات القياس مثل مقاييس الشد الرطوبي أو غيرها من مجسات ماء التربة يمكن لها أن تساعد في لفت الانتباه إلى مشكلات توزيع الماء العملية. كذلك سيكون من المطلوب عمل ضبط أو استبدال دوري لعدادات التدفق وأجهزة قياس الضغط.

ولابد من أن يتم إجراء الغسيل بالدفق لخطوط الأنابيب الرئيسة، والخطوط شبه الرئيسة، والخطوط الفرعية، وذلك لإزالة الرواسب، على الأقل مرة واحدة كل شهر أو كما تقتضي الحاجة خلال الموسم، اعتماداً على طبيعة الماء. ولابد من أن يتم غسيل أولاً خطوط الأنابيب الرئيسة، ثم الخطوط شبه الرئيسة، ثم الخطوط الموزعة، ثم أخيراً الخطوط الفرعية. ويمكن غسيل النظام بالدفق إما يدوياً أو آلياً. ولابد من أن يتم غسيل النظام بالكامل بالدفق عند بدايات المواسم، وعند نهاياتها، وكلما تم القيام بإصلاحات. ولابد من ان يتم فحص الأجزاء التي يتم غسيلها بالدفق للتحقق من عدم بقاء ترسيبات كيماوية أو تراكمات طحلبية أو تطفل جذور النباتات عليها.

كما أن مراقبة مدى تكرارية الماء المرتجع من المرشحات الرئيسة، وحالات الانخفاض في الضغط، يمكن أن تلفت الانتباه إلى مشكلات الترشيح المتنامية. فلابد أن يتم استبدال وسائط الترشيح حسب الحاجة. ولابد من أن يتم التفتيش على كافة المرشحات يدوياً، مع تنظيفها بشكل منتظم. وأما كل من برك التخزين، والقنوات، وأحواض الترسيب، فجميعها تستلزم تنظيفاً دورياً إما بشكل يدوي أو بشكل آلي من أجل إزالة تراكمات الترسيبات، والحشائش الضارة والطحالب.

أما مسألة مكافحة الحشائش مع نظم الري الدقيق فتمثل تحدياً لأن كلا من ظروف التربة الرطبة والجافة تتواجد عبر مسافات قصيرة. والفصائل المختلفة من

الحشائش المائية والتي تستلزم مكافحتها استخدام أنواع مختلفة من مبيدات الحشائش ستستقر في مساحات محدودة، ولكن أغلب الحشائش ستتواجد في المناطق الهامشية فيما بين مناطق التربة الرطبة والتربة الجافة. ولحسن الحظ، فإن مبيدات الحشائش المخصصة للاستخدام المباشر من خلال المنقطات تميل لأن تعمل بصورة طيبة. وعلى كل الأحوال، فإن ظروف ماء التربة يمكن أن تتسبب في الترشيح أو التحلل السريع لكثير من مبيدات الحشائش. وغالباً ما تتم مكافحة الحشائش المائية بشكل ناجح باستخدام أغطية المهاد البلاستيكية أو تطبيقات الرش المتعددة لمبيد فوسفات الجلايسين أو غيره من مبيدات الأعشاب اعتماداً على المحصول والموقع. ومن المهم كذلك الإبقاء على منطقة التحكم خالية من الحشائش أو الشجيرات أو التعريشات، أو غيرها من المواد التي قد تعيق الوصول إليها أو تعرقل أنشطة الصيانة.

وكما ذكر من قبل، فإن ذئاب البراري، والقوارض، والحشرات، وغيرها من الحيوانات قد تسبب تلفيات في الأنابيب، وهذا الأمر يطرأ بوجه عام عند بحث هذه الحيوانات عن الماء. والمراقبة اليومية لمعدلات تصرف النظام، إلى جانب الملاحظة البصرية سيساعدان في تقليل مشكلات توزيع الماء الناجمة عن مثل تلك المسببات. فإذا كانت هذه المشكلات مزمنة، فمن ثم يمكن بشكل دوري حقن زيوت مُرّة، بالإضافة إلى أن التثبيت الإستراتيجي لأطباق مياه حول الحقل قد يكون أمراً نافعاً.

أما أنشطة الصيانة الأخرى الأقل انتظاماً فتشمل، الغسيل بالدفق لمعدات الحقن بماء نظيف بعد كل استخدام وذلك للسلامة، ولتجنب التآكل. ولابد لكل من المضخات، والمرشحات، والصمامات، وأجهزة القياس، والحاقنات، والخزانات، وخطوط الأنابيب، وغيرها من المكونات الهيدروليكية، من أن يتم حمايتها من التجمد في الشتاء من خلال النزح أو الصرف في الأجواء الباردة. وكذلك قد تدخل الحشرات إلى داخل فتحات التهوية وتتسبب في جعلها عرضة للتسريب. أما لوحات التحكم الكهربية فتحتاج لأن يتم الإبقاء عليها بعيدة عن الرطوبة والغبار.

(١٧,٩) الإدارة

بوجه عام، يتطلب نظم الري الدقيق استخدام مستويات متقدمة من الإدارة أكثر من طرق الري الأخرى؛ لأن القرارات لابد من أن يتم اتخاذها على أساس يومي أو بشكل أكثر تواتراً. وسوف تعتمد قرارات الإدارة النوعية على المحصول والموقع والظروف البيئية. وقد عمدت دراسة سشونكل وآخرين (1995) Schwankl *et al.* إلى مناقشة إدارة الماء للمحاصيل الشجرية ومحاصيل الأعناب المروية باحد نظم الري الدقيق، بينما قدمت دراسة هانسون وآخرين (1994) Hanson *et al.* بمناقشة مماثلة ولكن للمحاصيل الصفية.

والأسئلة المتعلقة بإدارة الري الدقيق تركز بوجه عام على أمور معينة مثل متى يتم الري، والمقدار الذي يتم تطبيقه، وكيف يتم تقييم الحالة المائية للنبات بدقة، ومدى تكامل الانشطة الزراعية الأخرى مع احتياجات الري. وهذه القرارات يتم تيسيرها من خلال تبني برنامج جدولة للريّ صحيح، وهو ما قد يدعمه استخدام أدوات تشغيل إلى (أتمتة) وإدارتها. كما أن المعالجة الكيميائية للماء، وتنظيف المرشحات، والغسيل الدوري بالدفق لخطوط الأنابيب والخطوط الفرعية، ووجود برنامج صيانة إجمالي جيد، هي جميعها أمور جوهرية بالنسبة للإدارة الجيدة.

(١٧,٩,١) الإدارة في المناطق الجافة

أحد أكثر الاعتبارات أهمية عند ادارة نظام الري الدقيق في المناطق الجافة هو أن حجوم الجذور النشطة تكون صغيرة لأن الماء غالباً ما يتم إضافته إلى ٣٠٪ أو أقل من إجمالي النطاق الجذري المحتمل. وهذا يمكن له من الناحية الفيزيائية ان يحد من امتصاص الماء وعناصر التغذية والذي يسبب الإجهاد خلال فترة أقصى احتياجات مائية للبخر-نتح ET. ومن ثم لابد للإدارة من أن تركز على ترشيد استخدام حجم محدود من التربة المبللة لكل من الماء والعناصر المغذية. وقد يستلزم الأمر وجود أحجام

متزايدة من المناطق المبللة بواسطة الرشاشات الصغيرةبدلا من المنقطات في التربة الرملية وذلك لتدعيم توفير ماء التربة والعناصر المغذية المتاحة.

أحجام البلل القليلة بالمقارنة بطرق الري الأخرى يمكن أن تؤثر على قرارات الإدارة بشأن كل من ملوحة ورشح التربة، وجودة الماء المضاف (مثل الأملاح)، وتغذية النباتات، والرقم الهيدروجيني للتربة pH، وتوافر عناصر التغذية الدقيقة. وعلى كل الأحوال، فبسبب الحيز الجذري المحدود، نجد أن برامج الرسمدة تعمل بشكل جيد على أساس التكرارية العالية، حيث يمكن تطبيق استخدام العناصر المغذية حسب الحاجة بمقادير صغيرة مع امتصاص سريع وحدّ أدنى من التسرب، على الرغم من أن بعض الحالات قد تستدعي تطبيقات استخدام أوراق النباتات لعناصر التغذية الدقيقة.

أما مساهمات الماء الأرضي في الاستخدام المقدر للبخر-نتح للمحصول ET فقد يكون عاملاً بارزاً في متطلبات ماء الري للمحاصيل المروية بنظام الري الدقيق اعتماداً على التغيرات الموسمية في أعماق الطبقات الجوفية. أما الإبقاء على مناسيب منخفضة بشكل طفيف لماء التربة للحيز الجذري لخزن ماء المطر فمنافعه محدودة؛ لأن مناسيب ماء التربة تكون بالفعل قد انخفضت بشكل كبير خارج مناطق الحيز الجذري المبلل، ومن ثم فإنها توفر مخزوناً وفيراً لأى تساقط.

(١٧,٩,٢) الإدارة في المناطق الرطبة

في المناطق الرطبة حجم جذور المحصول لا يكون مقصوراً على الحيز المروي فقط. فإمدادات المياه هنا تتسم بالوفرة، كما أن الأمطار المتواترة تسمح بنمو الجذور وتسمح لامتصاص الماء والعناصر الغذائية بأن يظهر خارج الحيز المروي. ومن ثم، يكون من المهم أن تكون حجوم الجذور المروية كبيرة بما يكفي للتقليل إلى الحدّ الأدنى من الإجهاد؛ لأن الجذور لا تتركز بالقرب من المنقطات. ومما يوصى به بوجه عام أن يتم تصميم نظام الري الدقيق ليروي على الأقل ٥٠٪ من النطاق الجذري للمحصول في هذه الحالات. وعند استخدام المنقطات، فإن المنقطات منخفضة التصرف يتم تقريب

المسافات الفاصلة بينها بشكل نسبي، مع وجود تباعد جانبي ضيق لضمان الحصول على أقصى إنتاجية للمحصول.

وهناك منافع ضخمة لنظام الري الدقيق في المناطق الرطبة. فتكلفة استخدام الماء بها تتسم بكونها منخفضة بشكل طبيعي، بسبب المقادير الصغيرة من الماء المستخدم طوال الموسم، وبسبب متطلبات الضغط المنخفض لهذه النظم، غير أن زيادات إنتاجية وجودة المحصول يمكن أن تكون كبيرة من خلال تجنب تأثيرات الجفاف قصير الأمد. وكذلك يمكن تطبيق دورات الري بدون تبليل أوراق النبات، وإطالة الفترة التي تظل الأوراق فيها جافة إلى الحدّ الأقصى فيما بين فترات هطول المطر، وهو ما يقلل إلى حد كبير من إصابة أوراق النبات بالأمراض مما قد يستدعي استخدام المبيدات الفطرية أو غيرها من الكيماويات الزراعية الأخرى.

وتعتبر عملية الرسمدة ذات فاعلية عالية في المناطق الرطبة، وعلى كل الأحوال، فإن تسرب العناصر المغذية هو في الغالب مشكلة هامة نتيجة للأمطار الغزيرة والري الزائد. ومن ثم فإن نظم الري الدقيق لابد من أن تتم إدارتها بشكل ملائم وذلك لتجنب كل من التسرب وما يرتبط به من مشكلات تلوث نظم المياه الجوفية أو المياه السطحية. وهذا الأمر يتطلب أن يتم تطبيق استخدام الماء والمواد الكيماوية بجرعات صغيرة بحيث تكون الكمية القابلة للتسرب من المواد الكيماوية، كمية محدودة، تحسباً للعواصف الممطرة الكبيرة.

وبالمقارنة بإدارة نظام الري الدقيق في المناطق الجافة، نجد أنه من النادر ما يستدعي الأمر استخدام تطبيقات مفرطة للماء من أجل التحكم في الملوحة في المناطق الرطبة. وتظهر الاستثناءات حين يتم استخدام ماء ري ذي جودة رديئة للغاية، أو حين يتم زراعة محصول حساس جداً للأملاح، أو خلال فترات الجفاف الطويلة. والظهور المتواتر نسبيا للعواصف الممطرة الكبيرة يوفر بشكل طبيعي إدارة ملائمة لتسرب الماء وملوحة التربة في المناطق الرطبة. وقد ناقشت دراسة بومان وبارسونز Boman and

Parsons (1998) مسألة انتقاء وتصميم نظم الرشاشات الصغيرة للمحاصيل الشجرية في المناطق الرطبة.

وكما هو الحال في المناطق الجافة، نجد أن مساهمات الماء الأرضي في متطلبات ماء ري المحصول يمكن أن تكون ذات أهمية بارزة. وستكون المقادير مرتبطة بالموقع ولابد من مراعاتها عند جدولة تطبيق الري. فهذه الطبقات الجوفية الضحلة من السهل أن يصيبها التلوث هي الأخرى، ولابد من وضع جدولة ري تعمل على تجنب التسرب.

وغالبا ما يقتضى الأمر استخدام نظم الصرف السطحي وتحت السطحي للماء على السواء في المناطق الرطبة، لاسيما في التربة الثقيلة أو الخفيفة في المناطق المستوية، مع وجود طبقات غير منفذة تضع مستوى الماء الأرضي قرب سطح التربة. واحتياجات الصرف هذه تنخفض دون أن يتم القضاء عليها مع نظم الري الدقيق بسبب المرات العديدة لحالات هطول الأمطار الغزيرة.

وهناك القليل من الفائدة عند تأخير أو خفض تطبيقات الري تحسباً لسقوط المطر، ومن ثم فإن عمليات الري الكاملة يتم تطبيقها بشكل عام مع أغلب المحاصيل لتحسين إنتاجية المحصول وجودته. والاستثناء الوحيد لتلك الممارسة هو استخدام الري بالرشاشات الصغيرة أو الرذاذات (البخاخات) الدقيقة مع المحاصيل الشجرية حيث تكون الحجوم المروية من التربة كبيرة بشكل طبيعي بما فيه الكفاية لزيادة فعالية المطر بشكل كبير من خلال تأخير أو خفض مقدار الري.

(١٧,٩,٣) التحكم في حجم الجذور

إن التركيز الكفء للجذور في نطاق حيز محدود من التربة المبللة هو أمر يمكن بالفعل إنجازه مع نظم الري الدقيق في المناطق الرطبة. والإبقاء على مجاميع جذرية مركزة تحت المنقط هو أمر قد تكون من منافعه: (١) توفر الماء نتيجة للأهمية المنخفضة لمعامل التوصيل الهيدروليكي للتربة، (٢) تطبيق الماء بكفاءة من خلال التقليل للحد

الأدنى من حالات الفاقد نتيجة للبخر والتسرب العميق، (٣) التطبيق الفعال للأسمدة وغيرها من المواد الكيماوية القابلة للذوبان في الماء، لا سيما تلك التي تميل لأن تثبت على جسيمات التربة (مثل البوتاسيوم، والفسفور)، (٤) التقييد والحدّ الفسيولوجي للجذور أو تأثيرات الجفاف على المحاصيل المعمرة للتسبب في معدلات نمو منخفضة سواء بالتلقيح أو بدونه، ولإحداث تغلغل أفضل خفيف إلى داخل ظلال النبات. وبشكل أساسي هناك ثلاث طرق مختلفة لإستراتيجيات التحكم في الحيز الجذري، وتشمل، الري المنتظم الناقص، والري المحكوم الناقص، والتجفيف الجزئي لحيز الجذور. وتتم مناقشة تلك الإستراتيجيات فيما يلي.

(١٧,٩,٣,١) الري الناقص المنتظم

إحدى تقنيات التحكم في حجوم الجذور هي الري الناقص المنتظم (RDI)، وتقتصر على المناطق الجافة نسبياً. وتقنية العمل هذا يقوم عن عمد بفرض إجهادات مائية على النباتات خلال مراحل نمو معينة (هي في العادة في بداية الموسم) باستخدام فترات ري يومية منتظمة، ولكن فقط باستبدال ١٠٪ إلى ٣٠٪ من الاستهلاك المائي اليومي للنبات. وتتقلص حجوم التربة المبللة من عند جوانب وقاع حيز الجذور. وفي نهاية فترة الإجهاد (حسبما ستتضح من الإشارات الفسيولوجية المتنوعة)، تزداد مقادير إضافة الماء (أي أن مقدار البخر-نتح الفعلي اليومي يبلغ من ٨٥٪ إلى ١٠٠٪)، لكن لا يعاد ملء المنحنيات المائية للتربة، كما أن حجم منطقة التربة المبللة الصغيرة يظل ثابتاً. ولا يجب إعادة بدء النمو الزراعي بواسطة ظروف ماء التربة الجائرة. وأسلوب الري الناقص المنتظم (RDI) يستلزم أن تتوافر مخصصات ملائمة من ماء ري أواخر الموسم من أجل "إنهاء المحصول"، ويستلزم أن يتم تصميم النظام بحيث يستعمل على الأقل ذروة الاحتياجات المائية للمحصول على أساس يومي طوال موسم الزراعة بكامله. ومن المستحسن بشكل كبير استخدام نظام الري الدقيق الذي يعمل آلياً (المؤتمت).

وحتى الآن لم يتم اختبار أسلوب الري الناقص المنتظم (RDI) سوى على المحاصيل الحولية. وقد أثمرت الدراسات عن نتائج نافعة في استراليا على الخوخ (Chalmers *et al.*, 1981) وعلى الكمثرى (Mitchell *et al.*, 1984)، وفي واشنطن على التفاح (Proebsting *et al.*, 1977، Middleton *et al.*, 1981، Peretz *et al.*, 1984، Evans *et al.*, 1993، Ebel *et al.*, 1995، Drake and Evans, 1997)، وعلى الكروم (Evans *et al.*, 1990، Warnple, 1996, 1997). كما أن الدراسات الإضافية التي أُجريت في كل من ولاية كاليفورنيا الأمريكية واسرائيل واستراليا وتشيلي، وغيرها من المناطق الجافة، على العديد من المحاصيل قد أوضحت كذلك انه يكون من المفيد التحكم بعناية في حدّة ومدّة المستوى الثابت والمنتظم للاجهاد المائي على أشجار الفاكهة والكروم، وغيرها من المحاصيل الحولية. وقد ثُبت أن أسلوب الري الناقص المنتظم (RDI) يتحكم في كل من النمو الزراعي، وزيادة الإثمار، والمساعدة في نضج الفاكهة، وزيادة النضج المبكر، وزيادة المواد الصلبة القابلة للذوبان في الثمار. ويمكن خفض الانجرافات السنوية للماء بنسبة ٢٠٪ أو أكثر. ومفتاح أسلوب الري الناقص المنتظم (RDI) الناجح هو السيطرة الصارمة على حجم ماء التربة من أجل التحكم في النمو الزراعي. وهذا الأمر يتيسر من خلال القدرة العملية على تحقيق نظم ري عالية التكرارية، و المقدرة على تحجيم ماء التربة من خلال التحكم في مقدار الماء المضاف وحجم الحيز المبلل من التربة والمتاح للجذور.

(١٧,٩,٣,٢) الري الناقص المحكوم

أسلوب الري الناقص المحكوم (CDI)، يشير بوجه عام إلى إستراتيجيات ري تطبق أقل من الاستخدام الفعلي للماء في أواخر موسم الزراعة. وعلى سبيل المثال، غالباً ما يتم استخدام أسلوب الري الناقص المحكوم (CDI) كأسلوب عمل يحافظ على الماء مع المحاصيل الحولية في المناطق الجافة، مثل، محاصيل الخوخ، أو البرقوق، أو الكرز، والتي يتم حصادها فيما بين أوائل ووسط الصيف. وبشكل مماثل، فإن أسلوب

الري الناقص المحكوم (CDI) المدار بعناية، قدّ يتم استخدامه لتحفيز الاستجابة الفسيولوجية للنبات، مثل استثارة القساوة الشتوية للمحاصيل الحولية التي لا تتكيف فسيولوجياً للنمو في المناطق الجافة ذات فترات الشتاء الباردة.

ويتم الإبقاء على فترات الري عند منسوب منخفض بعد الحصاد وحتى بقية الموسم، وعلى كل الأحوال، فإن إجهاد الجفاف لا يُسمح له ببلوغ مستويات حادة قد تؤثر على محصول العام التالي. ويتم استخدام الماء المُوفّر بعدئذ مع محاصيل أخرى.

(١٧,٩,٣,٣) التجفيف الجزئي لحيز الجذور

أسلوب التجفيف الجزئي لحيز الجذور هو أحد أساليب الري بالتنقيط البسيطة مع المحاصيل الحولية الشجرية ومحاصيل الأعناب، والتي تستخدم خطوط تنقيط توضع بالقرب من منتصف الممر الواقع فيما بين صفوف النباتات (Leib *et al.*, 2006). ويتم استخدام النظم هنا بطريقة مشابهة لأسلوب الري الناقص المنتظم (RDI) فيما يخص التوقيت، وعلى كل الأحوال، فإنه يتم الري بمنقط واحد فقط في المرة الواحدة بما يسمح لمقدار التربة المغطى بالخط على الجانب الآخر من النبات بأن يجف. وأما الرية التالية فسوف تضيف الماء من خلال خط التنقيط الثاني بما يسمح للجانب الآخر بأن يجف وذلك لخفض مناسيب ماء التربة. أما الاستجابات الفسيولوجية فهي مشابهة لتلك الواردة في أسلوب الري الناقص المنتظم (RDI). وهذه الممارسة يشيع استخدامها مع محاصيل أعناب الخمور الأوربية (*Vilis vinifera*) في الجنوب الأوسط من واشنطن، ووسط غرب إيداهو، وغرب كلورادو، والشمال الأوسط من أوريجون.

(١٧,١٠) جدولة نظام الري الدقيق

إن الفلسفة الأساسية في نظام الري الدقيق هي استبدال الماء في منطقة الجذور بمقادير صغيرة يستخدمها النبات على مراحل منفصلة تتراوح ما بين مرات عديدة في اليوم الواحد ومرة واحدة كل يومين أو ثلاثة أيام، بدلاً من إعادة ملء خزان الماء

الأرضي بمقادير أكبر بكثير بعد عدة أيام أو أسابيع. ومن ثم، فإن الشاغل الرئيسي لجدولة نظام الري الدقيق هو مقدار ما يجب إضافته خلال الرية الواحدة؛ لأن الفترات بين الريات تحددها دوما عوامل أخرى.

ومقدار البخر-نتح للمحصول المقدّر (ET)، مقترنة مع نسبة المساحة التي يتم ريها، سيحددان سوياً الحجم الإجمالي للماء المفترض إضافته (Clark, 1992). وأقصى فترة بين ريات الري يحكمها بشكل أساسي الخصائص الهيدروليكية للتربة، وشكل طبقات التربة، وموضع شبكة الأنابيب. أما عمق التربة، ومعامل التوصيل الهيدروليكي المشبع، وقدرة التربة على الاحتفاظ بالماء، ستعمل جميعاً على التحكم في الحجم المضاف في الرية الواحدة لتجنب حدوث الجريان السطحي أو التسرب العميق الزائد عن الحدّ.

وفي بعض الأحيان من غير الممكن تحقيق جدولة مُثلى لنظام الري بسبب أوجه القصور في نظام الري. وأوجه القصور تلك تشمل عدم مرونة أجهزة وآليات التحكم، والسعات الهيدروليكية الغير ملائمة للنظام (بما يشمل وقت الملء، ونظام الصرف)، ومقدار وجودة الماء المتاح طوال الموسم.

واعتبارات الإدارة مثل نوعية ومقدار العمالة المتاحة، يمكن لها أن تؤثر على القدرة على تنفيذ جدولة الري. وبالمثل فإن التوقيت ومقدار ونوع عملية الري الكيميائي يمكن لها أن تؤثر على كل من توقيت الري، والعمق المضاف، مما يمكن أن يؤثر على جدولة الري السابقة واللاحقة. وقد يكون من اللازم جدولة مرات الري الزائد بشكل دوري من أجل ترسيب الأملاح. أيضاً قد يكون من اللازم تعديل جدولة الري بسبب اعتبارات أخرى تتعلق بالزراعة أو الحصاد.

وبمجرد أخذ العوامل السابقة في الاعتبار، يمكن عندئذ جدولة الري، كلما ظهر مستوى نضوب مسموح به، أو لابدال البخر-نتح اليومي للمحصول (ET) المقدر أو المقاس. وبشكل بديل، يمكن بدء وإيقاف نوبات الري بشكل آلي كلما وجد أن إمكانية

قياس ماء التربة عند نقاط منتقاة في حيز التربة المبلل، قد بلغت مستويات محددة سلفاً بحسب قياس مجسات ماء التربة. ويمكن وضع جدولة مثالية اقتصادياً لنظام الري الدقيق اعتماداً على انتظامية نظام الري والتكاليف المرتبطة بإمداد الماء، وقيمة إنتاجية المحصول، والتكاليف ذات الصلة بتلوث المياه الجوفية نتيجة لعملية التسرب.

(١٧,١٠,١) تقدير البخر-نتح للمحصول (ET)

لابد لعملية جدولة الري من أن تكون عملية ديناميكية لأن البخر-نتح المقدر للمحصول (ET) يتباين مكانياً وزمنياً خلال موسم الزراعة، والبخر-نتح المقدر للمحصول (ET) يعتمد على نوع النبات، والتربة، والظروف البيئية المحلية، والنسبة المئوية للحيز الجذري المروي، وكثافة النباتات، والخصائص المميزة للجذور، وحجم ظلال النبات. وكذلك فإن مشكلات الحشائش والأمراض تعمل على خفض الاستهلاك المائي للمحصول، وعادة ما يتم توزيعها بشكل متفاوت عبر الحقل، مما يتيح الفرص لظهور تطبيقات الماء الزائدة والتسرب الزائد. وبالمثل، فإن توافر العناصر المغذية وامتصاص النبات يمكن لهما أن يؤثرا بشكل قوي على نمو ظُلّة النبات، مما يؤثر بدوره على التوزيع الكلي والمساحي لاستهلاك الماء. والفصل الثامن يغطي طريقة حساب الاستهلاك المائي للمحصول (البخر-نتح) ET.

وسقوط المطر سيقلل من احتياجات ماء الري بواسطة المقدار الفعال من ماء المطر (Kopec *et al.*, 1984). ومساهمات منطقة الماء الأرضي الضحلة في الاستهلاك المائي للمحصول (ET) تعمل بالمثل على خفض احتياجات الري. وأكثر التخمينات الموثوقة لتقدير الاستهلاك المائي للمحصول (ET) تعتمد على تجارب الري الحقلي التي أجريت بنطاق واسع من معالجات الري (Doorenbos and Kassam, 1979)، أو الليسومترات، أو بنماذج مُدَرّجة للاستهلاك المائي للمحصول (ET) من خلال استخدام المتغيرات الجوية (Jensen *et al.*, 1990).

والاستهلاك المائي للمحصول (ET) في ظل ظروف غير إجهادية، مثل تلك التي يشيع وجودها مع نظم الري الدقيق، قد يكون أعلى من القيم المقدرة من قبل،

والتي تم وضعها في ظل أشكال ري أكثر تقليدية. وبالمقابل، فإن الاستهلاك المائي الإجمالي للمحصول (ET) ينخفض في المحاصيل الشجرية ومحاصيل الكروم واسعة المسافات، لأن البخر في التربة والنتح الناتج عن الحشائش أسفل ظُلّة النبات يكونان منخفضين. وأي أخطاء في تقدير الاستهلاك المائي للمحصول (ET) عن القيم الحقيقية، يتسبب في إنتاجية منخفضة للمحصول، وفي هدر الماء، وفي استجابات فسيولوجية غير مرغوبة في النباتات، أو في ظهور تشكيلة من هذه العوامل وغيرها من العوامل الأخرى. وبناء عليه، فإن هذه الشكوك تحتاج لأن تتم مراقبة كل من احتمالات الماء الأرضي أو ماء النبات سوياً في ظل كافة طرق الري الدقيق من أجل جدولة ملائمة للري.

المنطقة المروية بشكل عام تؤخذ على أنها المساحة السطحية الكلية للمحاصيل الصفّية، وغيرها من النباتات عالية الكثافة، آخذين في الاعتبار أن معظم هذه المساحة في نهاية الأمر ستصبح مظللة عندما ينضج المحصول. وعلى كل الأحوال، فبالنسبة للمزروعات منخفضة الكثافة، أو الصغيرة للغاية، ذات النطاقات الجذرية الصغيرة، نجد أن كلا من تطبيقات الماء وجدولة الري لابد من أن تستخدم منطقة ظُلّة بارزة للنبات أو غير ذلك من قياسات المنطقة المحصولية المتأثرة.

(١٧,١٠,٢) الفترة بين الريات

قد يكون من المطلوب تنفيذ أكثر من تطبيق للماء في اليوم الواحد، إما لأنه لا يمكن لمقدار الماء الإجمالي اليومي الفعلي للبخر-نتح أن يتم خزنه في حيز النطاق الجذري المبلل المحدود (مثل محاصيل الخضراوات الصغيرة)، أو لأن تطبيقات الماء الكبيرة المفردة قد تتسبب عند موضع ما في حالات مفرطة للفاقد بسبب التسرب العميق والغسيل. وعلى العكس من ذلك، ففي الترب الثقيلة، ذات سعات عالية للاحتفاظ بالماء، أو رديئة القدرة على الصرف، فإن نوبات الري المُثْلَى ستكون فقط كل ثاني أو ثالث يوم.

بعض المحاصيل (مثل، الكنتالوب، والقطن، والكثير من المحاصيل الحولية) قد تبلي بلاء حسناً في ظل نوبات ري أقل تكرارية (على سبيل المثال، كل ٢ إلى ٤ أيام) لاسيما مع التربة الثقيلة، بينما المحاصيل الأكثر حساسية للماء (مثل، الطماطم، والبطيخ، والخسّ) قد تحتاج على الأقل لنوبات ري يومية من أجل أفضل إنتاجية وجودة للمحصول.

وإذا كان تسرب الأسمدة، أو غيرها من المواد الكيماوية الأخرى هي من المشاكل الرئيسة، عندئذ قد تنطوي الخيارات على استخدام نظم ري مذبذب (نابضة) فائقة التكرارية (مثلا ٨ إلى ١٠ مرات/اليوم) ومقرونة بالمجسات، أما المحاصيل ذات الجذور الضحلة فغالباً ما تنتفع من نوبات الري الخفيفة عالية التكرار، وقد ثبت أن أساليب عمل الري الدقيق العالية التكرارية تعمل على زيادة البلل الجانبي، وخفض اجهادات الماء والعناصر المغذية، لا سيما عند استخدامها مع عملية الرسمدة، ولكن حجم التربة المبللة الصغير سوف يعمل على خفض قدرة النبات على تحمل إجهاد جفاف ولو حتى لفترة قصيرة. وعلى كل الأحوال، فإن القائمين على الزراعة يحتاجون لأن يكونوا على دراية بمشكلات الإدارة ومشكلات ماء التربة، التي يسببها الملء المتواتر، والصرف الموضعي لخطوط الأنابيب في ظل الإستراتيجيات عالية التكرارية.

ومن جهة أخرى، فإن نوبات الري الأقل تكرارية تكون نافعة للتحكم بحيث تكون معدلات الرطوبة في مظلة المحاصيل الكثيفة، منخفضة من أجل خفض فرص ظهور الأمراض الفطرية (مثل فطر بوتريتس على الأعناب). وقد يتم فرض نقص في الري عن عمد على فترات لبلوغ جودة محصول معينة مفضلة، أو غير ذلك من استجابات النبات الفسيولوجية.

(١٧,١٠,٣) مراقبة ماء التربة

إن مجسات ماء التربة تشير إلى قياسات الحجوم الصغيرة في الحقل من أجل مراقبة حالة التربة وللتحكم في نوبات الري. ولابد من وضع كافة أدوات مراقبة ماء

التربة على أعماق ملائمة وفي مواضع ملائمة للتأكد من أن جدولة الري ستكون ملائمة لتحسين إنتاجية المحاصيل، وتقليل استخدام الماء، وتقليل التسرب إلى المياه الجوفية. وعلى كل الأحوال، فإن توزيعات ماء التربة في نظام الري الدقيق عالية التفاوت، وهناك أسئلة رئيسة حول تحديد المواضع الملائمة للمجسات، والتأويل الصحيح للقراءات. والتدفق التفضيلي لماء التربة يعتبر في الغالب عاملاً رئيساً وإن كان غير قابل للتقدير الكمي بشكل كبير في توزيعات ماء التربة. وبناء عليه، فإن جدولة الري غالباً ما يتم "معايرتها" من أجل تحديد مواضع معينة للمجسات بالنظر إلى نقطة انبعاث الماء المرتبطة بالقياسات المحتملة لماء النبات أو بغيرها من المتغيرات المستقلة. والمعايرة هي أمر مطلوب بشكل نمطي لتحسين استغلال الماء والعناصر المغذية (Smajstria and Locascio, 1996). ويمكن التقليل إلى الحد الأدنى من عدد المجسات المطلوبة من خلال اختيار عينات من النباتات وأنواع التربة عبر أرجاء الحقل.

كما أن تحديد الموضع المثالي للمجسات سيتأثر أيضاً بالفترات بين الريات؛ لأن تدرج ماء التربة سيبدأ من المنقط على محيط بلل متزايد في المقدار المبلل خلال الري. وهذا التدرج في منحنى البلل سيأخذ في النقصان بعد الري، بسبب توزيع الماء، والمحتوى المنتظم للماء مع أساليب مقاربة مقدار التربة المبللة. ومن ثم، فإن المجسات المستخدمة في التحكم في نوبات الري اليومية أو الأكثر تكرارية توضع بوجه عام في مواضع في حدود ١٠ إلى ١٥ سم من المنقطات، ولكنها قد توضع أبعد من ذلك لنوبات الري الأقل تكرارية. أما المجسات الإلكترونية لقياسات التربة فغالباً ما تكون ملائمة لمثل هذه التطبيقات.

المجسات التي تحدد متى يتم الري، فبشكل طبيعي يتم وضعها فيما بين الربع العلوي إلى النصف العلوي للحيز الجذري داخل المناطق الأكثر نشاطا في امتصاص الماء والعناصر المغذية. والمجسات الموضوعة في الجزء السفلي من الحيز الجذري يمكن أن تستخدم للتحكم في مقدار الماء المضاف ولتفادي التطبيقات الجائرة.

(١٧,١٠,٤) معايير التصميم الخاصة بالجدولة

عادة ما يتم تصميم نظم الري الدقيق بمعامل انتظامية يبلغ ٩٠٪، لا سيما عندما يفترض أن يتم حقن الكيماويات الزراعية عبر نظام الري. وحتى في ظل وجود نسبة انسداد للمنقطات تبلغ ١٠٪ فإن معامل الانتظامية سيظل أعلى من ٧٠٪. وبناء عليه، فغالباً ما يتم استخدام كفاءة "جدولة" حقلية تبلغ ٨٠٪، وتشمل تأثيرات المنقط وحالات عدم الانتظامية الهيدروليكية. وعلاقات الكفاءة فيما بين التطبيقات الإجمالية والصافية قد تمت مناقشتها في الفصل الخامس والفصل الواحد والعشرين ولن يتم الاسهاب فيها هنا.

(١٧,١١) الانسداد في نظم الري الدقيق

إن الانسداد الجزئي أو الكلي للمنقطات مشكلة مزمنة، إلى جانب كونها العائق الأكثر خطورة في وجه التشغيل طويل الأمد لأي من نظم الري الدقيق. فالاهتمام غير الكافي بالخصائص المادية والبيولوجية والكيميائية لإمدادات الماء سينتج عنه مشكلات انسداد خطيرة. وعوامل التصميم الأكثر أهمية والتي تؤثر في الانسداد تشمل تصميم المنقط، والترشيح، ونظام المعالجة الكيماوية للماء. وإن تشغيل وصيانة النظام، بما يشمل الغسيل غير الملائم بالدفق لخطوط الأنابيب، سيكون لها تأثيرات رئيسة على مشكلات انسداد نظام الري الدقيق، وكذلك فإن سوء التركيب، مثل وضع أشرطة الري بحيث تكون مواضع التنقيط بها مواجهة للأسفل، هو أمر يساهم بجزء من مشكلات الانسداد بسبب تراكم الرواسب على امتداد قاع شريط الري.

(١٧,١١,١) أسباب الانسداد

قد يطرأ انسداد نظم الري الدقيق عن عامل منفرد أو عن عوامل عدة. والعوامل المادية مثل الطين الصمغي المعلق، والطمي، وغيرها من المواد التي تمر عبر المرشحات، والأنابيب المكسورة، وتداخلات الجذور، وسحب جسيمات التربة إلى داخل فوهات المنقطات، هي من المسببات المادية الشائعة لمشاكل الانسداد. والعوامل الكيميائية مثل

ترسيب الكربونات وأكاسيد الحديد، والجسيمات المترسبة عن عمليات الحقن الكيميائي هي أيضاً من العوامل الهامة لانسداد المنقطات. وبالمثل، فإن العوامل العضوية والبيولوجية مثل الزيوت والطحالب والحشائش، والملوثات البكتيرية، والفطريات، بالإضافة إلى كل من العناكب، والحشرات، والديدان، والأسماك، والضفادع، والقواقع، وأسماك البَطْلِينوس الصدفية، وبيضها أو يرقاتها، يمكن لها جميعاً أن تكون من المسببات الرئيسة المساهمة في مشاكل الانسداد. وضغوط النظام المنخفضة، ومعدلات التصرف المنخفضة له سوف تتسبب جميعاً في تفاقم مشاكل الانسداد.

(١٧,١١,٢) الرواسب

إن الغسيل الروتيني بالدفق لخطوط الأنابيب هو أمر مطلوب لمنع انسداد المنقطات نتيجة للتراكم المنتظم للجسيمات التي هي أصغر من أن يتم حجزها بالمرشحات، والتي تستقر بالخارج أو تلبد عند النهايات البعيدة لخطوط الأنابيب. ولابد لسرعات الغسيل بالدفق أن تبلغ حوالي ٠,٦ م/ث لضمان نقل وتصريف الجسيمات المترسبة من خطوط الأنابيب. و هذا الأمر يستلزم معدلات تصرف عند نهاية خطوط الأنابيب تبلغ حوالي ٠,١٢ لتر/ث للأنابيب بقطر ١٥ مم، وتبلغ ٠,٢٢ لتر/ث للأنابيب بقطر ٢٢ مم. أما تكرارية الغسيل بالدفق فلابد أن تكون على الأقل مرة في الشهر، ولكنها ستكون متغيرة طوال الموسم اعتماداً على معدل تراكم البقايا والجسيمات. أما تطبيق استخدام المواد النشطة السطح أو عوامل القشع (الإجلاء) مثل هكساميتافوسفات الصوديوم "الصوديوم السداسي متعدد الفوسفات" خلال نظام الري الدقيق، فهو أمر قد يعمل على الحدّ من بعض مشكلات الانسداد، من خلال منع تلبُّد الطمي والطين الصمغي، بأن يسمح لها بالمرور السلس عبر المنقطات أو بأن يغسلها بالدفق من خطوط الأنابيب.

وأحياناً يتم استخدام الصمامات الآلية للغسيل بالدفق عند نهاية الخطوط الفرعية للمساعدة في دفق الجسيمات الدقيقة عند بداية كل نوبة ري، وعلى كل الأحوال، فإن الغسيل اليدوي الدوري بالدفق لا يزال مطلوباً. فاستخدام تلك

الصمامات ليس مستحسنا بوجه عام؛ لأنها تميل لأن تُسرّب وتهدر الماء، مما يستلزم صيانة إضافية، إلى جانب تكلفة الشراء الإضافية. كما أن استخدام مثل تلك الصمامات مع عملية الري الكيميائي يكون أمراً مثيراً للمشاكل بسبب حالات التسريب واحتمالية تراكم المواد الكيماوية في هذه المواضع.

(١٧,١١,٣) الطحالب والأوحال البكتيرية

إن الحقن بالكلور هو الطريقة الأكثر انتشار والأقل تكلفة لمنع الانسداد بسبب النمو البيولوجي (لكل من الطحالب، والأوليات المتطفلة، وبكتريا الكبريت، وغيرها من الكائنات المخاطية الأخرى). وكذلك يمكن للبكتريا التي تقوم بترسيب الحديد والكبريت والمنجنيز، أن يتم مكافحتها بشكل فعال واقتصادي بواسطة المعالجات بالكلور.

أما كبريتات النحاس، والكلور ومركبات الكبريت العضوية، فيتم استخدامها لمكافحة الطحالب و/أو الاوحال البكتيرية في نظم التنقيط وكذا في البرك والقنوات. وسوف تتباين درجة المكافحة مع تباين ظروف الضوء ودرجة حرارة الماء، فبعض المواد الكيماوية مثل الأمونيوم الرباعي، تكون فعالة حين يكون نمو الطحالب ما بين بطيء إلى معتدل، ولكنها ستفشل في ظل ظروف النمو السريع للطحالب. وقد يقتصر القائمون بالزراعة العضوية على استخدام كبريتات النحاس بتركيزات تتراوح ما بين ١٠٠ و٢٠٠ مجم/لتر لمكافحة الطحالب، اعتماداً على الضوابط المحلية.

وفي بعض الأحيان يمكن لبكتريا التربة أن يتم سحبها إلى داخل المنقطات مما ينتج عنه غرين تلتصق به جسيمات صغيرة ومن ثم تسد الفوهات. ولقد كانت هذه الأنشطة ناجحة إلى حدّ معقول، ولكنها كانت باهظة التكلفة، وقد حل محلها المحاليل القوية لحمض الهيدروفلوريك بتركيز ١٠٠ مجم/لتر الممزوجة مع المواد النشطة السطح (Wuertz, 1992).

(١٧,١١,٤) الانسداد الكيميائي

يمكن للجسيمات الكيميائية المترسبة أن تتسبب في انسداد نظم الري (Nakayama and Bucks, 1986; Hills *et al.*, 1989, Burt and Styles, 1994; Burt *et al.*, 1995).

والجسيمات المترسبة من أكاسيد الحديد (ذات اللون البني المائل للحمرة)، وكبريتيدات الحديد (ذات اللون الأسود)، وكربونات الكالسيوم (ذات اللون الأبيض) وأكاسيد المنجنيز (ذات اللون الأسود) في ماء الري يمكن لها جميعا أن تعمل على انسداد المنقطات. كما أن التغيرات في كل من الرقم الهيدروجيني (pH)، ودرجة الحرارة، والضغط، ومستويات الأكسجين المتحلل، ونوبات الحقن بالكلور، وغيرها من الكيماويات الأخرى (مثل بعض الأسمدة) يمكن أن تعمل جميعها على تحفيز الترسيبات الكيميائية. أما نظم إمدادات المياه الجوفية فتميل لأن يكون لها مشاكل مع الترسيبات الكيميائية، أكبر من الماء السطحي، والجسيمات المترسبة التي تتشكل غير قابلة للذوبان قد لا تتحلل حتى بعد المعالجات مثل خفض حمضية الماء، أي خفض الرقم الهيدروجيني (pH) أو الحقن بمواد إذابة خاصة.

والتركيزات المتراوحة ما بين ٠,١٥ و٠,٢٢ مجم/لتر من الحديد (أكبر من ٢ مجم/لتر) في ماء الري قد تكون أمراً مثيراً للمتاعب حين يتجاوز الرقم الهيدروجيني (pH) الرقم ٥. أما تركيزات أكاسيد الحديد والمنجنيز الأكبر من ٢ مجم/لتر فستحتاج إلى معالجة إذا ما كان الرقم الهيدروجيني (pH) يبلغ الرقم ٤ أو أكثر. فالحقن بالكلور سيتسبب في أكسدة وترسيب الحديد والمنجنيز (بالإضافة إلى قتل أي بكتريا مرسبة للحديد وغيره قد تكون موجودة). والتوصيات العامة هنا تشمل حقن ١ مجم/لتر من الكلور الحر لكل ٠,٧ مجم/لتر من الحديد القابل للذوبان، أو ١,٣٣ مجم/لتر من الكلور الحر لكل ١ مجم/لتر من المنجنيز القابل للذوبان قبل نظام الترشيح. أما مشكلات الكالسيوم والماغنسيوم فأفضل علاج لها هو الحقن بالأحماض للإبقاء على الرقم الهيدروجيني (pH) فيما بين ٦,٠ و ٦,٦. والتخزين المؤقت للماء في البرك وغيرها من حاويات التخزين المفتوحة الأخرى، فهو معالجة مسبقة يوصى بها مع المناسيب المرتفعة من الحديد (أكبر من ٤ مجم/لتر) والمنجنيز لتيسير المزيد من الأكسدة والترسيب قبيل دخولها إلى نظام الري.

أما الانسداد بواسطة جسيمات ترسيب كيميائية أخرى فيمكن في الغالب خفضه من خلال المعالجة بالأحماض لتقليل الرقم الهيدروجيني (pH) ومنع جسيمات الترسيب من التكون، مع تجنب حقن الأسمدة غير القابلة للذوبان، أو مخاليط الأسمدة/ والكيماويات غير المتجانسة، ومع الغسيل المنتظم بالدفق لخطوط الأنابيب. ومن الممكن خفض مخاطر ظهور مشكلات تكون ترسيبات من خلال حقن مختلف المواد الكيماوية غير المتجانسة بعناية في مواضع مختلفة في الأنبوب الرئيسي بحيث تخفف بشكل كاف وتمتزج قبيل أن يتم حقن المادة الكيميائية التالية. وعلى سبيل المثال، لابد أن تتم المحافظة على مسافة تباعد تبلغ ١ م بين نقاط حقن الحمض والكلور.

(١٧,١٢) الري بالتنقيط تحت السطحي

الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) يستخدم خطوط أنابيب فرعية، ومنقطات مدفونة لإضافة الماء بشكل مباشر في الحيز الجذري للنبات، حيث يتم وضع الأنابيب الفرعية على عمق كاف لتجنب الضرر من عمليات الحراثة المعتادة للتربة، ولكنه يكون عمقاً ضحلاً بما فيه الكفاية بحيث يعاد توزيع الماء في الحيز الجذري النشط للمحصول بفعل الخاصية الشعرية. ولابد لنظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) أن تكون متوافقة مع نظم التهوية والزراعة الإجمالية المستخدمة.

وتشير المستويات التجارية ومستويات اهتمامات المزارعين الحالية إلى أن الاستخدام المستقبلي لنظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) سيتواصل ازدياداً، ونظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) تستدعي أعلى مستويات الإدارة بين كل نظم الري الدقيق، وذلك لتجنب الصيانة العلاجية. ونظام الري الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) رديء التصميم يكون أقل في إمكانية إصلاحه من نظام الري بالتنقيط السطحي المصمم بشكل غير لائق. ففي حالة الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) يكون من الصعب والمكلف إصلاح أوجه القصور ومشكلات توزيع الماء. وتقدم

دراسة لام وكامب Lamm and Camp (2007) مراجعة ممتازة وتفصيلية للري بالتنقيط تحت السطحي (SDI).

وهذه النظم تتطلب تدابير وقائية، وإجراءات تشغيل خاصة لمنع الانسداد ولتيسير عمليات الصيانة، ولكنها تحظى كذلك بالعديد من المزايا. وقد قدمت دراسة جورجنسون ونوريم Jorgenson and Norum (1992) نظرة عامة للنظرية الكامنة وراء نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI)، إلى جانب تقديمها لتجارب وتطبيقات متنوعة من طرف المزارعين، أما دراسة كامب Camp (1998) فقد جهزت تلخيصاً وتحليلاً ممتازين للنتائج المنشورة للأبحاث على الري بالتنقيط.

أما دراسة فيني وآخرين Phene *et al.* (1987a; 1992) ودراسة فيني Phene (1995) فقد أدرجتا أربعة من الخصائص التشغيلية المميزة لنظام الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) فيما له صلة بتركيبات نظم الري بالتنقيط السطحي، في ضوء كل من عامل المحافظة على الماء، وعامل الملوحة. وهذه الخصائص هي:

- يبقى أعلى سطح التربة جافاً، مما يقلل من البخر السطحي إلى معدل نقل انتشار البخار، ويحد من تراكمات الأملاح على السطح.
- استخدام تكرارية ري عالية للغاية (عدة مرات في اليوم الواحد) تتماشى مع الاستهلاك المائي الفعلي للمحصول، هو أمر سينتج عنه مقدار ثابت من التربة المبللة، مع ميل هيدروليكي صاف متصاعد، مما يقلل من التسرب.
- إضافة الماء والعناصر المغذية بشكل مباشر إلى النطاق الجذري هي أمر يسمح لامتصاصية الجذور بأن تكون فعالة إذا كانت جدولة الري والتسميد ملائمة.
- قشور التربة والتي قد تعيق التسرب وتسبب تكون البرك والجريان السطحي يتم تجنبها ومن ثم تصبح تفاوتية التسرب السطحي غير ذات أهمية.

كذلك وجدت دراسة كامب وآخرون Camp *et al.* (1987) ودراسة قريمز وآخرين Grimes *et al.* (1990) أن توزيع ماء التربة يكون أكثر انتظاماً في نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) منه في نظم الري بالتنقيط السطحي.

وفي ظل وجود إدارة ملائمة، نجد أن نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) الجيدة التصميم والإدارة تقدم العديد من المزايا الأخرى للمزارعين بسبب قابليتها لكل من:

- الإبقاء على إمكانية وصول معدات الحراثة، والزراعة والرش والحصاد إلى الحقول بشكل لا تعوقه عملية الري.
- الحصول على إمكانية قضاء أفضل على الحشائش باستخدام الحد الأدنى من المواد الكيماوية لأنه يكون هناك استنبات أقل للبذور مع أسطح التربة الجافة.
- التطبيق الفعال والآمن لاستخدام مبيدات الآفات الزراعية المصنفة، ومواد تطهير التربة بالتبخير، للمكافحة المحسنة للأمراض والآفات.
- خفض البلل السطحي غالباً ما يقلل من إمكانية ظهور الأمراض الفطرية (مثل العفن والعفن الفطري) من خلال الإبقاء على أسطح النباتات أكثر جفافاً وعلى الهواء أقل رطوبة في داخل ظُلّة النبات.
- التقليل من تعرض العمال لمبيدات الآفات عندما يتم إضافة المواد الكيماوية أسفل سطح التربة.
- استخدام الحدّ الأدنى من الحراثة، والأحواض الدائمة، ونظم المحاصيل المختلفة (Bucks *et al.*, 1981) على الرغم من استمرار وضع الكثير من التعديلات الضرورية في المعدات وفي أساليب الفلاحة.
- التقليل إلى الحدّ الأدنى من حساسية معدل التصرف لتقلبات درجة الحرارة لأن المنقطات تحميها التربة.

كذلك فإن دراسة فيني وآخرين (Phene *et al.* (1987a; 1992 ودراسة Phene (1995) قد عددتا العديد من العيوب التي تشمل:

- التكلفة الابتدائية للنظام قد تكون مرتفعة.
- احتمالية التلف بفعل القوارض.

- الأملاح قد تتراكم فيما بين خطوط المنقطات وسطح التربة.
- التحرك المنخفض للماء نحو الأعلى في التربة ذات القوام الخشن.
- الاحتمالية العالية لانسداد المنقطات.
- عدم كفاية الخبرة الفنية وانتشار المعلومات والتجارب الشخصية فيما بين المزارعين والباحثين.

أما المشاكل النوعية التي تم رصدها فتشمل الانسداد بواسطة أطراف الجذور (Tollefson, 1988; Bui, 1990) وانضغاط الخراطيم بسبب فعل الكبس أو العصر بواسطة الجذور الكبيرة (Bui, 1990)، والتلف بفعل القوارض والحشرات (Bui, 1990). وبالإضافة إلى ذلك، فإن التحكم في الخصوبة يصير أمراً أكثر أهمية مع نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) لأن الجذور تميل للنمو بشكل أعمق مما هو الحال مع نظم الري بالتنقيط السطحي، كما أن بعض العناصر المغذية التي يتم إضافتها عبر السطح قد لا تتوافر بشكل كاف (Phene, 1995).

وقد لوحظ ظهور نطاق واسع من الزيادات في إنتاجية المحاصيل في ظل نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) عند مقارنتها بنظم الري السطحي، أو بالرش، أو حتى بنظم الري بالتنقيط السطحي، حيث كان الفرق يتراوح ما بين أصغر من وأكبر من ١٠٠٪. وقد أجريت البحوث على نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) مع محاصيل شملت القطن (Plaut *et al.*, 1985; Tollefson, 1988; Constable and Hodson, 1990; Hutmacher *et al.*, 1995)، والذرة الحقلية (Lamm *et al.*, 1995) والذرة الحلوة (Davis *et al.*, 1985; Phene *et al.*, 1987a; Bar-Yosef *et al.*, 1989)، والطماطم (Grattan *et al.*, 1988; Bogle *et al.*, 1989), والشمام "الكانتلوب" (Phene *et al.*, 1987b)، والبطاطس (Bisconer, 1987)، والهليون (Sterret *et al.*, 1990)، والبرسيم (Oron *et al.*, 1989; Bui and Osgood, 1990)، والكرنب والكوسة (Rubeiz *et al.*, 1989). وأغلب الزيادات في إنتاجية المحاصيل قد تم عزوها إلى التسميد الأفضل،

والإدارة الأفضل للماء، والانتظامية المحسنة لتوزيع الماء، والمكافحة المحسنة للأمراض والآفات. وقد ذكرت دراسة قراتان وآخرين Grattan *et al.* (1988) المكافحة الأفضل للحشائش على أنها العامل الرئيسي في الزيادات المرصودة في إنتاجية المحاصيل، أما دراسة مور وفيتشين Moore and Fitschen (1990) فقد ذكرت أن تحول ٥٩٠٠ هكتار مخصصة لزراعة قصب السكر في هاواي من نظام الري بالشرائح إلى نظام الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) عبر فترة ١٢ سنة هو أمر قد نتج عنه متوسط زيادة صافي في إنتاجية المحصول بلغ ٢٧٪.

(١٧,١٢,١) تصميم نظم الري بالتنقيط تحت السطحي SDI

يجب أن تتبع التصميمات نفس الشروط العامة المذكورة مع كافة نظم الري الدقيق، وعلى كل الأحوال، فإن إعطاء اهتمام إضافي بأمور مثل التسرب، ومعالجة الماء، وتنظيم الضغط، واختيار المواضع الملائمة لصمامات عدم الرجوع، وصمامات تفريغ الهواء، وعملية الغسيل بالدفق، هو عامل حاسم في نجاح نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI). وكما هو الحال مع نظم الري الدقيق السطحية، نجد أن حقن المواد الكيماوية والأسمدة هو أمر لابد أن يكون متوافقاً مع كافة المواد الكيماوية الأخرى المحقونة، كما نجد أن التحكم في الرقم الهيدروجيني (pH) أمر هام.

وكل من أشرطة الري وشبكات الأنابيب قد تم استخدامها بشكل ناجح مع نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI)، وقد ناقشت دراسة سولومون Solomon (1992) معايير موازنة وانتقاء أدوات التنقيط لنظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI). ومن بين العوامل الرئيسة في إطالة عمر هذه النظم، نجد سمك جدار شريط الري، حيث أشرطة الري ذات الجدران الأكثر سماكة تدوم أكثر. وعلى كل الأحوال، فحتى أشرطة الري الأكثر سماكة تحتاج إلى اعتبارات خاصة ولابد من أن يتم دفنها عميقاً بما يكفي لتجنب أن تؤذيها معدات الحرث أو الحصاد، على أن تكون ضحلة بما يكفي لمنع الانهيار الدائم لشريط الري بفعل وزن التربة أو العمليات الزراعية. وأشرطة الري في

نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) غالباً ما يتم استخدامها مع المحاصيل عالية القيمة، وضحلة الجذور (مثل الفراولة)، والمحاصيل السنوية أو النصف سنوية (مثل مختلف الخضروات، والبطيخ، وقصب السكر، والقطن). وبشكل نمطي يتم وضع الأشرطة على أعماق أكثر ضحالة في الأحواض شبه الدائمة القليلة الحرث أو على الأراضي قليلة الانحدار أو قصيرة الامتدادات لأن أشرطة الري ليست معادلة للضغط. وكقاعدة عامة، لا ينبغي أبداً أن يكون هناك أي مرور لعجلات معدات الزراعة أو أي أنشطة أخرى مباشرة فوق شريط الري قد تؤدي إلى انضغاط التربة وتبطيطه، مما قد يؤدي إلى تدمير نفعيته بشكل دائم.

إن الأنابيب يتواتر استخدامها أكثر مع نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI)، مع المحاصيل الحولية، وقدّ يتم وضعها على أعماق أكبر مما في حالة المحاصيل السنوية. ووجود المنقطات المعادلة للضغط على خطوط الأنابيب يسمح باستخدام نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) على تضاريس متباينة ذات انحدارات حادة. فالأنابيب هي أكثر ثباتاً، ومن ثم فهي أكثر مقاومة للكبس والإنضغاط، ولكن لابد من اتباع نفس اعتبارات التشغيل العامة المتبعة مع أشرطة الري.

والخطوط الفرعية المنفردة لشبكات الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) غالباً ما يتم وصلها بالأنابيب الموزعة عند كلا الطرفين العلوي والسفلي في الأنابيب. فالأنابيب الموزعة السفلية بشكل نمطي تعمل على توفير مرونة أكبر، وتعمل على توفير الوقت مع عمليات الغسيل بالدفق. كما أن الإنفاق الإضافية ستخلق نظاماً هيدروليكيا مزدوجاً يمكنه تطبيق الماء من كلتا نهايتي الخط الفرعي. ويمكن لذلك أن يكون ذا نفع عبر أمد قصير إذا ما كان أحد الخطوط الفرعية المنفردة قد كبسها ضغط الجذور أو التربة والناتج عن معدات الزراعة. وكما أن توفير الاستعدادات اللازمة لضمان التفريغ الملائم للهواء على الخطوط الموزعة لكل من وحدة التوزيع الرئيسة ووحدة الغسيل بالدفق، يعتبر من الأمور الحاسمة في خفض مشكلة انسداد المنقطات نتيجة

لحبيبات التربة التي يتم سحبها إلى داخل الفوهات بواسطة ظروف التفريغ الهوائي عند الإغلاق.

وعملية تبليل سطح التربة، أو ما يعرف باسم "التسطيح"، تعمل على إلغاء الكثير من منافع أسلوب الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI)، وهي في العادة عملية غير مرغوب فيها، لاسيما مع المحاصيل الدائمة، إذ يمكن لهذه العملية أن تزيد من نمو الأعشاب البحرية، وتحرك الأملاح إلى السطح، وتزيد البخر من التربة، وتزيد من فرص ظهور الأمراض الفطرية. ولتقليل الآثار السلبية لعملية التسطيح يستلزم استخدام أغطية المهاد المصنوعة من طبقات فيلمية من البلاستيك، واستخدام ممارسات أكثر صرامة لإدارة المياه والتربة. ومن جهة أخرى، نجد أن عملية التسطيح تكون ملائمة أحياناً من أجل ضمان تبليل ملائم عبر كامل اتساع أحد أحواض الزراعية لضمان الإنبات، وتطهير التربة بالتبخر، و/أو لضمان النمو السليم للمحاصيل غير عميقة الجذور (مثل البصل).

وعملية التسطيح هي نتيجة لمعدلات تطبيق الماء التي تتجاوز معامل التوصيل الهيدروليكي للتربة الغدقة. وعلى كل الأحوال، فإن هذه العملية قد تظهر أيضاً إذا ما كان قد تم وضع الأنابيب على عمق ضحل للغاية، وكان السطح قد تبلل نتيجة الخاصية الشعرية، أو إذا ما كان الماء المنبعث من مختلف المنقطات يسري عبر الأنابيب الفرعية ويتجمع عند نقطة ما، مع كون الارتفاع المنخفض في الجاذبية يدفع الماء إلى سطح التربة. بالإضافة إلى ذلك، فإن عملية التسطيح هذه قد تكون هي المحصلة النهائية للعمليات الكيميائية التي تعمل بشكل فعال على خفض معامل التوصيل الهيدروليكي للتربة الغدقة، والتي تشمل المياه عالية البيكربونات، والتي تعمل على ترسيب الكالسيوم وسدد مسام التربة، أو تشمل تطبيق استخدام مياه الري بمعامل توصيل كهربي منخفض على التربة الملحية أو المشبعة بكربونات الصوديوم، أو تشمل تطبيق الماء ذي مستويات الصودا العالية (انظر الفصل السابع). وقد حاول بعض المزارعين في

ولاية كاليفورنيا باستخدام السيقان ورد ضيقة أعلى آلة تركيب خطوط الأنابيب المدفونة من أجل الحرث فيما هو أعمق من موضع خطوط الأنابيب كطريقة للحد من عملية التسطيح، مع الخروج بنتائج مختلطة.

ومع ذلك، فإن تجاوز معامل التوصيل الهيدروليكي الفعال للتربة الغدقة مع أنظمة الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) يتسبب في أن يتم تصريف الماء ضد الضغوط الأعلى من الضغط الجوي، مما يدفع بالماء إلى سطح التربة. ولأن الصناع يقومون بتصميم المنقطات بحيث تقوم بتطبيق الماء في ظل الضغط الجوي، فإن هذا الضغط المرتد يعمل على خفض معدلات تصرف المنقطات بما يبلغ ٥٠٪ (Shani *et al.*, 1996)، Sadler *et al.*, 1995، Warrick and Shani, 1996. ومن ثم فإن عملية التسطيح تؤثر بشكل عكسي على الانتظامية والقدرة على جدولة مقادير تطبيق الماء بشكل دقيق، وكذلك فإنها تطرح دلالات هامة للتصميم وكذا للإدارة.

وغالباً ما تتسبب عملية التسطيح في خلق ظاهرة القوام الخفيف "المداخن" حيث يتم غسيل حبيبات التربة الدقيقة بالدفق من حول المنقط مما ينتج عنه ممر مباشر منخفض الضغط إلى سطح التربة، مما يميل إلى جعل المشكلة أكثر سوءاً. وهذه المداخن سوف تختفي في بعض الأحيان بعد عام أو اثنين حيث ينضبط تركيب التربة، أو ممراتها مع تشعب الأنابيب، ولكن عادة ما يحتاج إصلاحها إلى حرث التربة. والدفق القصير المتكرر لتطبيق المياه طوال اليوم قد يساعد على خفض مشكلات عملية التسطيح. والمياه ذات معامل التوصيل الكهربي (EC) المنخفض قد تستلزم حقن مسحوق جبس ناعم الحبيبات (أي أكبر من ٢,٥ ممكافئ/لتر) أو غيره من محسنات التربة الأخرى إلى الماء لتحسين الامتصاص في التربة الغدقة بكربونات الصوديوم.

ولتجنب مشكلات التسطيح هذه، نجد أن المنقطات في نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) تميل لأن يكون لها معدلات تصرف أصغر ومسافات تباعد بينها أصغر مما في نظم الري بالتنقيط السطحية، ومن ثم تزداد بها احتمالية الانسداد. وبناء

عليه، نجد أن المرشحات لابد من أن يتم تصميمها لتعمل على التخلص من الحبيبات الصغيرة البالغة ما بين ١٥٠ إلى ٢٠٠ ميكرون. أما صمامات عدم الرجوع، والفاصلات الهوائية، ومنافذ التهوية، فلابد من أن يتم تركيبها بحيث تمنع عمليتي الامتصاص العكسي والسحب لحبيبات التربة إلى داخل فوهات المنقطات عند غلق النظام. ولابد للتصميمات من أن تضمن أن كل أنبوب فرعي يمكن غسيله بالدفق بشكل لائق.

(١٧,١٢,١,١) الاعتبارات الخاصة بالعمق

والعمق المثالي لخطوط الأنابيب في نظام الري بالتنقيط السطحي (SDI) هو أمر يعتمد على معدل التصرف، والمسافة بين المنقطات، ونوعية التربة، والتوزيعات الجذرية للمحاصيل مع الحركة الدوارة للماء من أجل استنبات البذور (التي تتأثر أيضاً بعمق البذرة وملوحة التربة)، وبرامج عملية الري الكيميائي، ومدى الرغبة في عملية التبليل السطحي. ولابد من أن يتم دفن الأنابيب على عمق كاف بحيث لا تتضرر من جراء المعدات، ولكن أيضاً بشكل ضحل بما يكفي لحركة الماء إلى النطاق السطحي للمحصول. وقد يتم ضبط أعماق أنابيب، وأشرطة الري، في أنظمة أحواض الزراعة من خلال استخدام المعدات لنقل أو استبدال التربة.

ومن المستحسن بوجه عام أن يتم وضع الأنابيب على عمق ضحل قدر الإمكان بدون التبليل السطحي، لأن معظم أنشطة استبدال الهواء والأنشطة الحيوية للجذور تقع في الطبقات الدنيا للتربة. وكقاعدة عامة، نجد أن الأنابيب يتم وضعها على أعماق أكثر ضحالة في التربة الخشنة، وبشكل أعمق قليلا في التربة الناعمة. ومعظم نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) يتم تركيبها على أعماق تبلغ ما بين ١٠ إلى ٥٠ سم. ويمكن تركيب نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) مع المحاصيل الصفية الضحلة الجذور، مثل الفراولة، أو البصل، على عمق يبلغ ما بين ٢ إلى ٨ سم، ويبلغ ما بين ٤٠ إلى ٥٠ سم مع محاصيل مثل القطن، أو الذرة الصفراء، أو

البطاطس، أو بنجر السكر. وكثير من محاصيل الخضر تستخدم الأنابيب الفرعية لنظام الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) عند عمق يتراوح ما بين ١٥ و٢٠ سم قرب الشتلات. أما منتجات أشرطة الري الرقيقة الجدران فنادراً ما يتم دفنها على عمق أكبر من ١٥ سم أسفل السطح في أحواض الزراعة.

وهناك توازنات فيما يخص عمق موضع الأنابيب، وقد بينت دراسة فيليب Philip (1991) أنه في حالة السريان المستقر لمصدر ري تحت سطحي، فإنه كلما ازداد عمق المصدر عن الجذور، ازداد التسرب وقل تبخر التربة. أما دراسة بارث Barth (1995) فقد ناقشت وضع حواجز غير منفذة من ورق القصدير المخروطية على شكل الحرف (V) تحت الأنابيب الفرعية لنظام الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) للتحكم في حركة الماء إلى أسفل، وقدمت نتائج طيبة مع التربة الرملية. فأما التركيبات الأكثر عمقاً لنظم الري فقد قللت من استنبات الحشائش السطحية كما أنها تسمح بالمزيد من عمليات حراثة التربة. وعلى كل الأحوال، إذا كانت الأنابيب الفرعية عميقة جداً، فإن الكثير من الماء سيتم تطبيقه أسفل النطاق الجذري للمحصول، مما يقلل من النشاط الحيوي (الهام لامتصاص العناصر المغذية) في طبقات التربة الضحلة. وبالإضافة إلى ذلك، فإن نظم الري العميقة قد تحد من إمكانية استنبات بذور المحصول، وتحد من استخدام بعض من المواد الكيماوية المستخدمة على السطح. وقد يكون من المستطاع حقن الهواء من خلال أنابيب أعمق لتشجيع المزيد من نمو الجذور، ونمو الأنشطة الحيوية في التربة، إلى جانب تهوية التربة الغدقة بالهواء، ولكن تلك الممارسة لم يتم التحقق منها بشكل كلي بعد. أما الأعماق الضحلة فقد ينتج عنها ملوحة جائرة في سطح التربة نتيجة استخدام المياه المالحة، كما أنها قد تكون أكثر عرضة للتلف من حفر القوارض والحشرات. أما المواضع الأعمق للأنابيب فسوف تتطلب قوة جرار زراعي أكبر من أجل التركيب.

الموضع الضحل للأنابيب قد يكون أمراً ضرورياً لإضافة الماء قرب سطح التربة مع الشتلات ذات النطاقات الجذرية المحدودة. وبالنسبة لبعض الترب يمكن تبليل مرقد

البذرة من على عمق يتراوح بين ٣٠ و٥٠ سم. وعلى كل الأحوال، في التربة ذات الخشنة، قد يكون لابد من وضع المنقطات في حدود ما بين ٥ و٢٠ سم من السطح.

(١٧,١٢,١,٢) نظام الري بالتنقيط تحت السطحي مع المحاصيل الصفية السنوية

ناقشت دراسة هانسون وآخرين (1994) Hanson *et al.* تركيب وتشغيل وصيانة نظام الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) مع المحاصيل الصفية، فالمحاصيل الصفية السنوية يمكن زراعتها في أحواض مؤقتة أو مستديمة، سواء مع أو بدون استخدام أغطية المهاد البلاستيكية. وعلى كل الأحوال، من الضروري في بعض الأحيان استخدام الري بالرش من أجل تنشيط مبيدات الحشائش أو لاستنبات المحاصيل ذات البذور الصغيرة مثل الخس أو البصل، لاسيما في ظل ظروف التربة المالحة. فأما المنقطات ذات معدلات التصرف العالية، أو أشرطة الري ذات مواضع التنقيط المتقاربة (كل ٢٠ إلى ٤٥ سم) والتي تعمل جميعاً على تبليل سطح التربة فهي شائعة جميعاً مع المحاصيل السنوية. أما أشرطة الري الضحلة العمق فمن المتوقع لها بوجه عام أن تعيش لفترة تتراوح ما بين عام واحد وعامين، على الرغم من أن بعض نظم الري ذات أشرطة الري ذات الجدران الأكثر سماكة في أحواض الزراعة الدائمة قد تدوم لفترة تبلغ ما بين ٥ إلى ١٥ سنة. وهذه تحتاج إلى ممارسات حرث وزراعة خاصة (مثل حركة مرور محكومة للآلات الزراعية مع وجود مسارات محددة للعجلات) وذلك لتجنب تعريضها للتلف. ولضمان تبليل ملائم للنطاق الجذري للمحاصيل السنوية، ولتجنب المناطق الجافة نتيجة لانسداد، لابد عندئذ من المباعدة بين المنقطات بمسافات متقاربة بما فيه الكفاية لإنتاج شكل بلل متداخل ذي مصدر توزيع خطي للماء. والمباعدة بين خطوط المنقطات أو أشرطة الري غالباً ما تبلغ ما بين ١ و١,٥ م، ولكنها ستتباين اعتماداً على نوع التربة، والخصائص المميزة للمحصول، والممارسات الزراعية.

إن استخدام نظام الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) مع المحاصيل الصفية السنوية أو النصف سنوية أمر قد يتطلب تثبيت مسافة منتظمة بين الصفوف لكافة المحاصيل المستخدمة في الدورة الزراعية وإعادة الزراعة في نفس المواضع. فإن لم يتم اتباع

تلك الممارسات، فإن موضع أنبوب التنقيط الفرعي قد يتفاوت ما بين أن يكون متمركزاً أسفل مرقد البذرة والصف، إلى أن يكون موضوعاً أسفل أخدود (أو شق) الزراعة. وعلى كل الأحوال، فقد أوضحت نتائج الدراسات أن إنتاجية المحاصيل لم تنخفض حين لم تكن أنابيب التنقيط متمركزة بالضبط أسفل مرقد البذرة (Ayars *et al,* 1995) مع محصول القطن. ولكن، احتمالية التلف بفعل الميكنة الزراعية اخذت تزداد مع ترحيل خط الأنابيب الفرعية من المركز نحو حافة جورة البذرة. وسوف تساعد ظهور التقنيات الحديثة، مثل التوجيه الآلي على الجرارات الزراعية وآلة الحصاد، على ضمان توافر محاذاة ملائمة فيما بين الأحواض وخطوط أنابيب التنقيط عاماً بعد عام.

(١٧,١٢,١,٣) نظام الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) مع المحاصيل الحولية

نظام الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) مع محاصيل الأعناب أو الأشجار الحولية، لابد أن تكون له فترة دوام تشغيل متوقعة تبلغ ما بين ٧ و٢٠ سنة مع ملاءمة التصميم والصيانة. وتعتبر الأعماق ما بين ٢٠ و٤٠ سم أعماقاً شائعة، مع بلوغ بعدها ما يقرب من ١ م اعتماداً على نمط نمو جذور المحصول ونوع التربة. وبوجه عام، نجد ان المنقطات منخفضة التصرف (أقل من ٤ لتر/ساعة) يتم استخدامها للإبقاء على سطح التربة جافاً ولخفض النمو السنوي للحشائش. وتقدم دراسة سشونكل وآخرين Schwankl *et al.* (1995) مناقشة تفصيلية حول محاصيل الأشجار والأعناب المروية بنظام الري الدقيق.

(١٧,١٢,٢) التركيب

معظم نظام الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) يتم تركيبه بواسطة ساق حاقن مثبت على جرارات زراعية ولها شكل قطع مكافئ، ولها رؤوس أطراف مدببة أو نقطية الشكل لتصنع تجويفاً لشريط الري أو الأنابيب. ويوصى باستخدام ساق اهتزازية لتركيب نظام الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) على أعماق أكبر من ٢٠ سم؛ لأنها تتطلب قدرة حصانية أقل، كما أن القطع عبر الجذور وحول الصخور يكون ايسر،

كذلك التجويف فيما حول الأنابيب يميل لأن يُعاد ملؤه بشكل سريع. وكما هو مذكور من قبل، لابد للمنقطات من أن توضع ووجهها لأعلى وذلك للعمل على الحد من الانسداد نتيجة لتراكمات الحبيبات في قاع خطوط الأنابيب فيما بين نوبات الغسيل بالدفق. وكذلك لابد من تجنب ليّ خطوط التنقيط ومطها (أي شدها بشكل جائر) خلال عملية التركيب، وتناقش دراسة لام وآخرين (1995) Lamm *et al.* بعض المشكلات المرتبطة بتركيب نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI).

وفي العادة يتم أولاً تركيب خطوط الأنابيب الفرعية، ويتم حفر خنادق الخطوط الرئيسة أو الموزعة بشكل متقاطع مع الخطوط الفرعية وعلى عمق حوالي من ٠,٣ إلى ٠,٥ م أعمق من خطوط الأنابيب الفرعية، مارقة خلال خطوط الأنابيب الفرعية المركبة سلفا. ولابد أن تكون الخنادق أضيق ما يمكن حتى توفر تثبيتاً جانبياً للأنابيب البلاستيكية PVC منخفضة الضغط. وغالباً ما يتم تجميع الخطوط الرئيسة وشبه الرئيسة على السطح، ثم يتم إنزالها إلى داخل الخنادق. والخنادق المفتوحة توفر وصلات سهلة، وتيسر من عملية الفحص الهيدروليكي لكافة الملحقات وخطوط الأنابيب الفرعية، من خلال السماح بالفحص البصري للتأكد من سلامة التشغيل. بالإضافة إلى ذلك، يمكن بسهولة إصلاح حالة التسرب. أما أي ملحقات معدنية أو أسلاك مستخدمة في عمل الوصلات فلابد من أن تكون جميعاً من الصلب المقاوم للصدأ (الإستانلس ستيل).

ويتم توصيل الأنابيب الفرعية بالأنابيب الموزعة بشبكة من أنابيب البلاستيك PVC الصلب أو البولي إيثلين PE المرن بحجم يبلغ من ٦ إلى ١٣ مم. أما الوصلات بأنابيب أو أشرطة التنقيط فلابد أن تتلافى أي التواء أو انثناءات حادة. ولابد للقائمين على التركيب من أن يتركوا مساحات كافية من الأنابيب عند الأطراف البعيدة بحيث يمكن بشكل صحيح مد وصلات الغسيل بالدفق. ولابد من الإبقاء على الأنابيب الفرعية متماثلة العمق ومستقيمة قدر الإمكان.

بالإضافة إلى ذلك، لابد للخطوط شبه الرئيسة، والرئيسة أن تكون أعمق من الأنابيب الفرعية وذلك لمنعها من الصرف، ولتسهيل عمليتي بدء تشغيل النظام وموازنة ضغطه. وبالمثل، لابد لصمامات التحكم من أن تكون موضوعة فوق سطح الأرض ليسهل الوصول إليها وللمساعدة على الإبقاء على الخطوط الرئيسة وشبه الرئيسة مليئة بالماء. وإذا ما تم وصل الأنابيب الفرعية بالأنابيب الموزعة من أجل الغسيل بالدفق، عندئذ فإن أنابيب الغسيل بالدفق الموزعة ذات الحجم الملائم لابد من أن تكون على نفس العمق الذي تتخذه الأنابيب الفرعية.

(١٧,١٢,٣) تدخّل الجذور

إن تدخّل الجذور هو مشكلة رئيسة مع أنظمة الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI)، ويمكن الحدّ منها من خلال المواد الكيماوية، وتصميم المنقطات، وإدارة الماء. فأما ضوابط السيطرة بالمواد الكيماوية فتشمل استخدام مبيدات الحشائش بطيئة الإطلاق (مثل المركب البلوري) المطمورة داخل المنقطات، أو المحقونة بمعدلات منخفضة (حيث تسمح نوعية مبيد الآفات)، أو الحقن الدوري الحذر لمركبات تطهير التربة بالتبخير (مثل مركبات الصوديوم) خلال الماء. وأما التدابير الكيميائية الأخرى فتشمل الحقن المتواتر للكلور (من ٧ إلى ٨ مجم/لتر) لتثبيط نمو الجذور قرب المنقطات. وحقن حمض الفوسفوريك عالي الجودة بتركيز حوالي ١٥ مجم/لتر على أساس مستمر، سوف يقلل من نمو الجذور من خلال تحميض التربة وكذلك سيوفر بعض السيطرة على الطحالب، ولكنه قد لا يؤثر في أنواع معينة من البكتريا. أما برامج مكافحة تدخل الجذور فهي غالباً ما تحتاج إلى استخدام العديد من التدابير.

والمنقطات التي يصيبها الانسداد نتيجة تدخل الجذور قد يتم تسليكها أحياناً من خلال زيادة الضغوط المقترنة بحاقنات الأحماض التي تخفض الرقم الهيدروجيني pH للتربة إلى مستويات منخفضة للغاية (pH أقل من ٤) مقرونة بجرعات عالية للغاية من الكلور (أي ما بين ٣٠٠ و٥٠٠ مجم/لتر) يتم تركها في خطوط الأنابيب لمدة حوالي ٢٤ ساعة على الأقل قبل عملية الغسيل بالدفق وذلك لرد الجذور إلى الخارج. أما حقن

كبريتات النحاس بتركيز (حوالي ١٥ مجم/لتر) فأحياناً ما يكون أمراً نافعاً. غير أن مثل تلك الممارسات يمكن أن تتسبب في إتلاف أنواع معينة من المنقطات وأنابيب الري. وبالإضافة إلى ذلك، فإن إضافة الماء منخفض الرقم الهيدروجيني (pH) لفترات طويلة، يمكن أن يتسبب في جعل بعض العناصر المغذية غير متوفرة ويخلق ظروف تربة سامة.

ويبدو أن تصميم المنقطات هو من العوامل المهمة في مشكلة تدخل الجذور. فقد لوحظ أن الجذور تميل لأن تتبع شق اللحام في أشرطة الري، وأن المنقطات الموضوعة فوق أو قرب شق اللحام، هي أكثر عرضة للانسداد بفعل تدخل الجذور. وبعض المنقطات وأشرطة الري يتم بناؤها بحواجز مادية خاصة لمنع تدخل الجذور، لكن أغلبها أقل نجاحاً من ضوابط السيطرة الكيماوية. وكل من منقطات نظام الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI)، أو الأنابيب المسامية، أو أشرطة الري التي لا تتم معالجتها كيميائيا، و/أو لها حاجز مادي ستعاني من مشكلات تدخل الجذور. أما الفوهات الأقل حجماً فتميل لتثبيط تدخّل الجذور، ولكن من السهل أكثر انسدادها بأشياء أخرى (Tollefson, 1988; Bui, 1990).

وأحياناً يكون الري الناقص أمراً مرغوباً فيه لزيادة كل من جودة وإنتاجية المحاصيل، أو للتحكم في النمو الخضري، ولكن استخدامه سوف يزيد من فرص تدخّل الجذور نتيجة لزيادة التركيزات الجذرية في المنطقة المبللة فيما حول المنقطات. أما الدفق العالي التكرارية جدا من أجل إشباع مقدار التربة بشكل متواتر، فسوف يعمل على تثبيط نمو جذور الكثير من النباتات حول المنقط، ولكن جذور بعض النباتات المحبة للماء مثل الكرفس، سوف تنمو بنشاط في التربة الغدقة ويمكنها من ثم أن تسبب انسداد المنقطات.

(١٧,١٢,٤) الغسيل بالدفق

ولأن نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) تتميز بكونها مدفونة، فمن الملائم في الغالب تركيب الخطوط الموزعة للغسيل بالدفق عند الأطراف البعيدة للأنابيب الفرعية، خصوصاً مع خطوط الأنابيب ذات المسافات الفاصلة المتقاربة (أي

من ٣٠ إلى ١٢٠سم). ومن الفعال والاقتصادي أكثر في العادة أن يتم غسيل الخطوط الفرعية بالدفق بشكل فردي لا سيما مع الخطوط الفرعية ذات المسافات الفاصلة الواسعة. وتعتبر متطلبات تصميم الغسيل بالدفق هي نفسها في حالة أنظمة الري السطحية، ولكن قد يتم تعديلها لتلافي كبسها بسبب ضغط الجذور أو التربة والناتج عن معدات الزراعة.

(١٧,١٢,٥) إدارة الملوحة

قد تمثل الملوحة مشكلة مع نظم الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) في المناطق الجافة وشبه الجافة؛ لأن أي ترشيح فوق الأنابيب لا يظهر إلا كنتيجة للمطر. ومن ثم فإن الأملاح تميل لأن تتراكم في هذه المنطقة خلال الموسم. وقدّ وجد ان تركيزات الملح العالية التي تتجاوز (١٠ مليموز/سم) تتواجد في ٦ إلى ١٠ سم من طبقات التربة العليا (Ayars *et al.*, 1995). وقد أوضحت قياسات توزيع الملوحة أن الأملاح تتحرك إلى ما تحت صف النبات عندما يتم وضع الخطوط الفرعية أسفل أخاديد الزراعة أكثر مما تتحرك إلى ما تحت جور الزراعة (Ayars *et al.*, 1995). وقدّ أوردت دراسة هانسن Hanson (1993) نتائج مشابهة.

(١٧,١٣) الري التحتي

من الاستخدامات غير التقليدية لنظام الري الدقيق تحسين كفاءة الري التحتي. فمع الري التحتي، يكون مستوى الماء الأرضي في الحقل محكوماً عند منسوب يقع مباشرة أسفل النطاق الجذري للمحصول، بحيث يتجه الماء لأعلى إلى داخل الحيز الجذري بواسطة الخاصية الشعرية. ولأن مستوى الماء الأرضي الضحل لابد من تكوينها والإبقاء عليها، من ثم لا يمكن استخدام الري التحتي إلا فقط مع الأراضي المنبسطة نسبياً حيث تتوافر إمدادات مياه كبيرة، وتكون النفاذية الجانبية لطبقات التربة العليا مرتفعة، وتتواجد بالفعل طبقات حاجزة متماثلة من التربة، أو مستويات الماء

الأرضي ضحلة دائمة. ومن ثم فشرط توافر إمدادات مياه كبيرة غير مكلفة يقصر، بوجه عام، استخدام الري التحتي على المناطق الرطبة الخالية من مشكلات الملوحة.

وقد يتم التحكم في مستوى الماء الأرضي على عمق ثابت يسمح له بالتقلب مع تغير النطاق الجذري أثناء نمو المحصول. وفي كلتا الحالتين، تظهر تقلبات مستوى الماء الأرضي النهارية مع انخفاض مستوى الماء الأرضي نتيجة لارتفاع معدلات الاستهلاك المائي المقدّر للمحصول (ET) لأعلى مستوياتها، ثم ما يلبث أن يسترد وضعه ليلاً أو خلال انخفاض الطلب على الاستهلاك المائي المقدّر للمحصول (ET). ومع نظم الري التحتي، يتم التحكم في مستوى الماء الأرضي في الحقل من خلال التنظيم المادي لمناسيب المياه في خنادق الصرف الحقلية المفتوحة، أو بالسيطرة على الضاغط في أنابيب الصرف تحت السطحية. وغالباً ما يتم استخدام خنادق الصرف الحقلية المفتوحة بسبب انخفاض تكلفتها، وفي بعض المناطق فإن أنابيب الصرف تحت السطحية يمكن أن يصيبها الانسداد بواسطة أكسيدات الحديد الملونة أو غيرها من الترسيبات الكيماوية.

وفي السنوات الأخيرة، شاع استخدام كلا نوعي الري بالتنقيط سواء السطحي أو تحت السطحي في تطبيقات الماء بالري التحتي بدلاً من نظام الصرف. فالماء المستخدم بمعدلات مرتفعة بواسطة نظام الري بالتنقيط يترشح بشكل متسارع إلى مستوى الماء الأرضي. وهذا الماء الفائض يرفع مستوى الماء الأرضي عبر الحقل أعلى بقليل من قاع الحيز الجذري للنبات، ومن ثم يخلق مستوى ماء أرضي مرتفع بشكل مؤقت حيث يتم صرفه ببطء بمرور الوقت.

ومنافع نظم الري بالتنقيط بالنسبة للتحكم في مستوى الماء الأرضي تتمثل في زيادة انتظامية توزيع الماء المضاف، وفي خفض متطلبات ماء الري. فأما الانتظامية فتزداد لأن الماء يتم إضافته بواسطة خطوط الأنابيب الفرعية، والتي يتم التحكم فيها بواسطة الخصائص الهيدروليكية للنظام. أما متطلبات ماء الري فتنخفض لأن الماء يتم وضعه بشكل مباشر في أحواض الشتلات، وبعض الماء يوفره مستوى الماء الأرضي،

ويتم خفض احتمالية الجريان السطحي للماء بشكل كبير. وعلى كل الأحوال، قد يظهر بعض الجريان السطحي لأن حداً أدنى من ميل السطح يكون مطلوباً لتوفير صرف ملائم لماء المطر الزائد.

وقد أوردت دراسة ستانلي وكلارك Stanley and Clark (1991) أن احتياجات ماء الري لإنتاج الطماطم في جنوب فلوريدا قد تم خفضها إلى ما بين ٣٣٪ و٤٠٪ مع نظام الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) بالمقارنة بنظم خنادق الري المفتوحة تحت السطحية التقليدية بسبب معدلات الجريان السطحي المنخفضة، أما دراسة سماجسترلا وآخرين Smajstrla *et al.* (1995) فقد أوردت أن إنتاجية محاصيل البطاطس كانت متجانسة إحصائياً ولكن مع استخدام ٣٣ ٪ أقل من الماء للتحكم في مستوى الماء الأرضي مع نظام الري بالتنقيط تحت السطحي (SDI) بالمقارنة بنظام خنادق الري المفتوحة تحت السطحية التقليدية.

(١٧,١٤) الري الدقيق في المشاتل والبيوت المحمية

الكثير من نباتات البيوت المحمية والمشاتل يمكن ريها بشكل اقتصادي وفعال بالعديد من طرق الري التقليدية، كالري بالتنقيط، والرشاشات الصغيرة، والمبخرات (باعثات البخار)، أو رشاشات الضغط أو غيرها من الرشاشات الدوّارة، ونظم المحسار التدفق، والمرشّات ذات الأذرع المتحركة، وأنظمة الري اليدوي. فأما أنظمة المحسار التدفق فيتم استخدامها مع الشتلات الموضوعة في أصص (شوالي) في حوض غير منفذ يتم غمره بالماء ثم تفريغه بشكل دوري، ويتم استخدام الماء الزائد في ري الحوض التالي، ومن ثم يتم استخدام الماء بدون هدر. أما أنظمة المرشّات ذات الأذرع المتحركة فتقوم بإضافة الماء بواسطة فوهات رشّ على خطوط أنابيب فرعية تتحرك على قضبان معلقة أعلى النباتات. ويتم ضبط سرعة التحرك بحيث تقوم بإضافة القدر المطلوب من الماء. وهذا النظام قابل للتطبيق بشكل أساسي مع خطوط إنتاج البيوت

المحمية، وهو أكثر كفاءة مع الحاويات ذات المسافات الفاصلة المتقاربة، بحيث يتم التقليل من فاقد الماء بين الحاويات إلى الحدّ الأدنى. أما الري اليدوي، والذي له تكاليف صيانة منخفضة، فيمكن له أن يكون بديلاً اقتصادياً لنظم الري الدقيق في بعض خطوط الإنتاج، وفي بعض المناطق حيث تكون تكلفة العمالة منخفضة.

ونظام الري الدقيق يقدم عدداً من المزايا لكثير من خطوط إنتاج المشاتل والبيوت المحمية، لاسيما خفض متطلبات ماء الري والعناصر المغذية إلى جانب خفض تكاليف العمالة (Ross, 1994 ،Ross, *et al.*, 1990). وعلى كل الأحوال، فإن نظم الري الدقيق غالباً ما تكون لها تكلفة أولية أكثر ارتفاعاً من طرق الري التقليدية، لاسيما عند ري الشتلات الصغيرة ذات المسافات الفاصلة المتقاربة، بسبب ما تحتاجه من متطلبات مثل الشبكة الكثيفة من خطوط الأنابيب والأعداد الكبيرة من المنقطات. وهذه التكلفة الأولية المرتفعة يمكن في الغالب موازنتها من خلال التوفير في تكاليف التشغيل (مثل تكاليف العمالة، وماء الري، والأسمدة، ... إلخ). ويمكن لفترة عمر منقطات نظام الري ان تتراوح ما بين ٤ و٥ أعوام في ظل الصيانة الملائمة. فمع استبعاد التلف نتيجة للحوادث، عندئذ يمكن لنظام توزيع الماء أن يدوم لفترة تتراوح ما بين ١٠ و١٥ سنة.

وغالباً ما يعتبر نظام الري الدقيق هو الأكثر فعالية في التكلفة والأكثر ملاءمة للتطبيق مع الشتلات الكبيرة أو ذات المسافات الفاصلة الواسعة، مما يقلل إلى الحد الأدنى من عدد خطوط الأنابيب الفرعية المطلوبة والمنقطات المطلوبة، ومن ثم يخفض من تكلفة النظام. وبشكل منتظم يتم استخدام أنظمة الري بالتنقيط مع الشتلات عالية القيمة المزروعة في حاويات صغيرة بقطر يبلغ حتى ١٥سم. أما طريقة الري بالرشاشات المعلقة فوق المحصول فلا يمكن استخدامها مع بعض نظم خطوط إنتاج نباتات الزينة، بسبب مشكلات إصابة النبات بالأمراض، والناتجة عن التبليل المتواتر لأوراق النباتات، أو لأن جودة الماء من تلك النوعية التي قد يتضرر النبات منها من خلال التبليل المباشر للأوراق، أو الثمار، أو الجذوع.

وهناك إمكانية للاستخدام المكثف لنظام الري بالتنقيط مع معظم المحاصيل المزروعة في حاويات، والتي تتراوح ما بين الشتلات التي في حاويات (شوالي) كبيرة (حجم أكبر من ٤ لتر) وصولاً إلى حاويات أقل من واحد لتر، اعتماداً على كل من كثافة النبات (أي المسافة ما بين الأصيص والأصيص)، والقيمة الاقتصادية للمحصول. أما أنظمة الرشاشات الصغيرة فغالباً ما يتم تفضيلها مع تطبيقات إضافة الماء أسفل ظلة النبات مع محاصيل مثل أشجار الزينة الكبيرة، والشجيرات المزروعة في أحواض زرع كبيرة (مثل النباتات المتكورة المتشابكة). أما الأسمدة القابلة للذوبان في الماء فيمكن بشكل فعال تطبيقها من خلال أنظمة التنقيط بشكل مباشر إلى النبات، ويمكن جدولة نوبات الري حسب الضرورة بدون التداخل مع عمليات المشتل الأخرى. أما المواد الكيماوية الموزعة على أوراق النباتات بواسطة الرشاشات الدقيقة، فتميل لأن تكون أكثر فعالية من تطبيقات الرشاشات العادية؛ لأن تطبيق الماء المنخفض تقلل إلى حدّ كبير من عملية كسح المواد عن الاوراق بواسطة ماء الغسل.

أما شتلات الأحواض والكثير من النباتات الزهرية الاصغر حجما والمحتواة في أصص (شوالي) والتي يتم زرعها في صحاف (صواني) فيتم ريها بشكل نمطي بالرشاشات (ذات الأذرع الثابتة أو المتحركة) أو يتم ريها يدوياً. وتكون الحاويات بشكل نمطي أصغر من ٢ لتر وذات مسافات فاصلة متقاربة. ولا يتم استخدام نظم الري الدقيق مع شتلات الأحواض التي تتم زراعتها في مسطحات أو صحاف (صواني). أما النباتات الخضراء (ذات الأوراق) المحتواة في أصص (شوالي) فغالباً ما يتم تبليلها يدويا أو ريها بواسطة نظم المرشّات ذات الأذرع المتحركة.

ومعظم المشاتل الحقلية لأشجار الزينة الغابية، تستخدم الري بالتنقيط، في حين أن بعضها يستخدم نظم الري بالرشاشات أو بالرشاشات الدقيقة. أما النباتات الغابية المزروعة في الحاويات فغالباً ما يتم ريها بالرشاشات، على الرغم من أن نظم الري الدقيق يشيع استخدامها مع النباتات المزروعة في حاويات أكبر من ٤ لتر.

ونظم الري بالتنقيط ليست قابلة للتكيف بشكل مباشر مع شتلات نبات سرخس الزينة الحزين، أو ما يماثله من محاصيل لها نمو جذري جانبي متواصل، وظلل نبات تغطي كامل سطح التربة. وفي مثل هذه الحالات، يميل أداء كل من نظم الري بالتنقيط والري بالرشاشات الصغيرة لأن يكون رديئاً؛ لأنها أكثر قابلية للتكيف مع الحيز الجذري الجزئي أو مع إضافات الماء المركزة أكثر من قابليتها للتكيف مع أنماط التبليل الضحلة المتماثلة اللازمة لهذه المحاصيل. أما الحركة الجانبية للماء من نظم الري بالتنقيط فتكون محدودة بالخصائص الهيدروليكية لوسيط الزراعة في الأصص، بسبب ارتفاع مساميته وارتفاع قدرته على الصرف.

أما المحاصيل ذات أنظمة الجذور ذات النمو الجانبي الضحل فيتم ريها بفاعلية إما بواسطة نظم الرشاشات، أو الري السطحي أو الري تحت السطحي، والتي تعمل جميعها على توزيع الماء بشكل منتظم عبر السطح بكامله عوضاً عن مجرد التغطية الجزئية للحيز الجذري كما في حالة الري الدقيق. وعلى سبيل المثال، تتم زراعة الطبقة العليا من التربة باستخدام أساليب الري التي تشجع النمو الضحل للجذور، باستخدام توزيعات صغيرة متواترة بواسطة الرشاشات أو بواسطة المحافظة بشكل اصطناعي على مستوى الماء الأرضي مرتفعاً. كما أن أسلوب الري سوف يؤثر كذلك في مدى الفعالية التي يتم بها حصاد محاصيل معينة وإعادة غرسها بواسطة الطرق المختلفة والمعدات المتاحة.

وبعض المحاصيل، مثل سرخس الزينة، قد تستخدم الري بالرشاشات المعلقة فوق المحصول لأن ذلك قد يكون ضرورياً للوقاية من التجمد. وفي مثل هذه الحالات، يتم كذلك استخدام الرشاشات أيضاً في الري، وعلى كل الأحوال، فإن كفاءة استخدام الماء تكون رديئة.

كما أن نظم الري الدقيق في المشاتل والبيوت المحمية تستلزم أيضاً أنظمة ترشيح خاصة، وأنظمة خاصة للمعالجة الكيميائية للماء وذلك للحد من انسداد المنقطات، على شاكلة تلك المطلوبة مع المحاصيل الحقلية. كذلك فإن الممرات فيما بين أحواض النباتات قد

تصير جافة عند استخدام نظم الري الدقيق ، وقدّ تظهر مشكلات تتعلق بالجودة، بسبب تطاير الرمل أو التراب، مما قد يتطلب إنفاقاً إضافياً على أنظمة الرشاشات أو على التبليل اليدوي الدوري لمكافحة الأتربة. وعلى كل الأحوال، فإن الممر الجاف قد يكون مرغوباً للتقليل من تعرض النبات للأمراض، والحشرات والحشائش المائية، ولتيسير حركة انتقال الأفراد. وهذه التكاليف الأعلى يمكن في العادة تبريرها اقتصادياً بالقيمة النقدية العالية للكثير من (وليس كل) تطبيقات نباتات الزينة والتجميل.

أما أنظمة تجميع المياه لإعادة تدوير مياه الجريان السطحي والمتسربة من الأصص (الشوالي) والحاويات، فيشيع استخدامها مع كافة أساليب ري المشاتل والبيوت المحمية. وبعض أنظمة إعادة استخدام المياه تستخدم أسطحاً غير منفذة للماء في البيوت المحمية والمشاتل لتمرير وتجميع مياه الجريان السطحي والصرف إلى خزان تجميع. وهذه الطريقة عالية النفع وصديقة للبيئة، لأن كلا من الماء الزائد والعناصر المغذية الزائدة يعاد استخدامهما في نوبات ري لاحقة. وعلى كل الأحوال، فإن احتمالية ازدياد إصابة النبات للأمراض وتحسن تكاثر الحشرات هي احتمالية قائمة دوماً مع أنظمة تجميع وإعادة استخدام الماء. وقد يتطلب الأمر اللجوء إلى تدابير الصحة العامة وتدابير المعالجة الكيماوية الاستثنائية المحتملة، وذلك للحد من انتشار أمراض النبات وغيرها من الآفات الناشئة عن الماء المعاد تدويره.

المراجع

Anyoji, H., and 1. P Wu. 1987 Statistical approach for drip lateral design. Trans. ASAE 30(1): 187-192.

ASAE. 2005a. S-376.1: Design, installation and performance of underground, thermoplastic irrigation pipelines. St. Joseph, Mich.: ASAE.

ASAE. 2005b. EP-405.1: Design and installation of microirrigation systems. St. Joseph, Mich.: ASAE.

ASAE. 2005c. EP-435: Polyethylene pipe used for microirrigation laterals. St. Joseph, Mich.: ASAE.

ASAE. 2005d. EP-458: Field evaluation of micro irrigation systems. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Ayars, J. E., C. J. Phene, R. A. Schoneman, B. Meso, F Dale, and J. Penland. 1995. Impact of bed location on the operation of subsurface drip irrigation systems. In Proc. 5th Int'l Microirrigation Congress, 141-146. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Bar-Yosef, G., B. Sagiv, and T. Markovitch. 1989. Sweet com response to surface and subsurface trickle phosphorous fertigation. Agron. J. 81: 443-447.

Barth, H. K. 1995. Resource conservation and preservation through a new subsurface irrigation system. In *Proc. 5th Int'[Microirrigation Congress,* 168-174. S1. Joseph, Mich.: ASAE.

Bisconer, 1. 1987. Subsurface microirrigation of potatoes in Colorado. ASAE Paper No. 87-2033. S1. Joseph, Mich.: ASAE.

Bogle, C. R. T. K. Hartz, and C. Nufiez. 1989. Comparison of subsurface trickle and furrow irrigation on platic-mulched and bare-soil for tomato production. JAm. Soc. Hort. Sci. 114(1): 40-43.

Boman, B. J., and L. R. Parsons. 1998. Microsprinkler selections considerations for humid-region tree crops. ASAE Paper No. 98-2044. S1. Joseph, Mich.: ASAE.

Bralts, V F., and L. 1. Sergerlind. 1985. Finite elements analysis of drip irrigation submain unit. Trans. ASAE 28(3): 809-814.

Bralts, V. F., 1. P Wu, and H. M. Gitlin. 1981. Manufacturing variation and drip irrigation uniformity. Trans. ASAE 24: 113-119.

Bralts V. F., D. M. Edwards, and 1. P Wu. 1987a. Drip irrigation design and evaluation based on the statistical uniformity concept. Adv. Irrig. 4: 67-117.

Bralts V. F., 1. P. Wu, and H. M. Gitlin. 1987b. Drip irrigation uniformity considering emitter plugging. Trans. ASAE 24(5): 1234-1240.

Bucks, D. A., L. 1. Erie, O. F French, F S. Nakayama, and W. D. Pew. 1981. Subsurface trickle irrigation managment with multiple cropping. Trans. ASAE. 24: 1482-89.

Bucks, D. A. 1995. Historical developments in microirrigation. In Proc. 5th Int'l Microirrigation Congress, 1-5. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Bucks, D. A., F. S. Nakayama, and R. G. Gilbert. 1979. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. Agric. Water Mgmt. 2: 149-62.

Bui, W. 1990. Performance of "turbo model" drip irrigation tubes. In Proc. Third Nat 'I. Irrigation Symp., 198-203. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Bui, W., and R. V Osgood, 1990. Subsurface irrigation trial for alfalfa in Hawaii. In Proc. Third Nat 1. Irrigation Symp., 658-660. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Burt, C. M., K. O'Connor, and T. Ruehr. 1995. Fertigation. San Luis Obispo, Calif.: Irrigation Training and Research Center, California Polytechnic State Univ.

Burt, C. M., and S. W Styles. 1994. Drip and Microirrigation for Trees, Vines and Row Crops. San Luis Obispo, Calif.: Irrigation Training and Research Center, California Polytechnic State Univ.

Camp, C. R. 1998. Subsurface drip irrigation: A review. Trans. ASAE 41(5): 1353-1367.

Camp, C. R., W 1. Bussher, and E.J. Sadler. 1987. Wetting patterns for line-source trickle emitters. ASAE Paper No. 87-2524. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Camp, C. R., E. J. Sadler, and W. J. Busscher. 1997. A comparison of uniformity measures for drip irrigation systems. Trans. ASAE. 40(4): 993-999.

Chalmers, D. J., P D. Mitchell, and L. van Reek. 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density and summer pruning. J. American Soc. Hort. Sci. 106: 307-312.

Clark, G. A. 1992. Drip irrigation management and scheduling for vegetable production. HortTech. Jan./Mar. 2(1).

Clothier, B. E., D. R. Scotter, and E. R. Harper. 1985. Three dimensional infiltration and trickle irrigation. Trans. ASAE 28(2) :497-501.

Constable, G. A., and A. S. Hodson. 1990. A compariosn of drip and furrow irrigated cotton on a cracking clay soil: Yield and quality offour cultivars. *Irrig. Sci.* 11: 149-53.

Davis, K. R., C. J. Phene, R. L. McCormack, R. B. Hutmacher, and D. W Meeks. 1985. Trickle frequency and installation depth effects on tomatoes. In Proc. of the Third Int'l Drip/Trickle Irrigation Congress, 896-902. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Doorenbos, 1., and A. H. Kassam. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization.

Drake, S. R., and R. G. Evans. 1997. Irrigation management influence on fruit quality and storage life of 'Redspur' and 'Golden Delicious' apples. Fruit Varieties J. 51: 7-12.

Ebel, R. C., E. L. Proebsting, and R. G. Evans. 1995. Deficit irrigation to control vegetative growth in apple and monitoring fruit growth to schedule irrigation. HortSci. 30(6): 1229-1232.

Evans, R. G. 1994. Chapt. 16: Designing multipurpose water application systems. In Proc. 1994 Pacific Northwest Fruit School: Tree Fruit Irrigation, 171-192. Yakima, Wash.: The Good Fruit Grower.

Evans, R. G., T. W. Ley, M. W. Kroeger, and M. O. Mahan. 1988. Evaluation of micro sprinklers for undertree frost protection. Paper 2C-3. In Proc. 4th Int'!. Micro-Irrigation Congo Albury- Wodonga.

Evans, R. G., S. E. Spayd, R. L. Wample, and M. W Kroeger. 1990. Water requirements and irrigation management of Vitis vinifera grapes. In Proc. Third Nat'/. Irrigation Symp., 154-161. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Evans, R. G., S. E. Spayd, R. L. Wample, M. W Kroeger, and M. O. Mahan. 1993. Water use of Vitus vinifera grapes in Washington. Agric. Water Mgmt. 23(1993): 109-124.

Feng, J., and L P. Wu. 1990. A simple computerized drip irrigation design. In Proc. Third Nat'l. Irrigation Symp., 348-353. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Gilad, Y., D. Peleg, and G. Tirosh. 1968. Irrigation equipment tests. Report No. 81268. Israel: ICWA.

Grattan, S. R., L. J. Schwankl, and W T. Lanini. 1988. Weed control by subsurface drip irrigation. Calif. Agric. 42(3): 22-24.

Grimes, D. W., D. S. Munk, and D. A. Goldhamer. 1990. Drip irrigation emitter depth placement is a slowly permeable soil. In Proc. Third Nat'l. Irrigation Symp., 248–254. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Hanson, B. R. 1993. Salinity under drip irrigation of row crops. In Proc. 1993 irrigation Association Exposition and Technical Conference, 196-202.

Hanson, B. R., L. Schwankl, S. R. Graham, and T. Pritchard. 1994. Drip irrigation of row crops. Water Management Series Publication No. 93-05. Davis, Calif.: Univ.California-Davis, Cooperative Extension.

Hills, D. 1., F M. Nawar, and P M. Waller. 1989. Effects of chemical clogging on drip tape irrigation uniformity. Trans. ASAE 32(4): 1202-1206.

Howell, T. A., and E. A. Hiler. 1974. Trickle irrigation lateral design. Trans. ASAE 17: 902-908.

Hutmacher, R. B., C. 1. Phene, K. R. Davis, S. S. Vail, T. A. Kerby, M. Peters, C. A. Hawk, M. Keeley, D. A. Clark, D. Ballard, and N. Hudson. 1995. Evapotranspira–tion, fertility management for subsurface drip Acala and Pima cotton. In Proc. 5th Int'l Microirrigation Congress, 147-154. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Jensen, M. E., R. D. Burman, and R. G. Allen. 1990. *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements.* ASCE Manual and Report on Engineering Practice No. 70. New York, N.Y.: American Soc. Civil Engineers.

Jorgenson, G. S., and K. N. Norum, eds. 1992. Subsurface Drip Irrigation: Theory, Practices and Application. CATI Publication No. 92-1001. Fresno, Calif.: CSRF.

Karmeli, D., L. J. Salazar, and W R. Walker. 1978. Assessing the Spatial Variability of Irrigation Water Application. Environmental Protection

Technology Series. Cincinnati, Ohio: U.S. Environmental Protection Agency.

Keller, J., and D. Karmeli. 1974. Trickle irrigation design parameters. Trans. ASAE 17(4): 678-684.

Kopec, A. R., M. N. Langley, and M. G. Bos. 1984. Major variables which influence effective precipitation. Int. Comm. Irrig. Drain. Bull. 33(2): 65-70, 84.

Lamm, FR., J. E. Ayers, and F- S. Nakayama, eds. 2006. Microirrigation for Crop Production. Elsevier. 642 pp.

Lamm. FR., and C. R. Camp. 2007. Subsurface drip irrigation. Chapter 13 in Microirrigation for Crop Production, 473-551. F R. Lamm, J. E. Ayars, and F. S. Nakayama, eds. New York, N.Y.: Elsiever.

Lamm, F. R., G. A. Clark, M. Yitayew, R. A. Schoneman, R. M. Mead, and A. D. Schnieder. 1995. Installation issures for SDI systems. In Proc. of 1995 Annual Irrigation Association Exposition and Technical Conference. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Leib, B. G., H. W Caspari, C. A. Redulla, P K. Andrews, and J. D. Jabro. 2006. Partial root zone drying and deficit irrigation of 'Fuji' apples in a semi-arid climate. Irrig. Sci. 24(2): 85-99.

Meshkat, M., and R. C. Warner. 1985. A user friendly interactive trickle irrigation design model. In Proc. of the Third Int'l Drip/Trickle Irrigation Congress, I: 439–451. S1, Joseph, Mich.; ASAE.

Middleton, J. E., E. L. Proebsting, and S. Roberts. 1981. A comparison of trickle and sprinkler irrigation for apple orchards. Wash. Agric. Exp. Sta. Bulletin 0895.

Mitchell, P. D., P. H. Jerie, and D. J. Chalmers. 1984. The effects of regulated water deficits on pear tree growth, flowering, fruit growth and yield. J. American Soc. Hort. Sci. 109(5): 604-606.

Moore, R., and J. Fitoschen. 1990. The drip irrigation revolution in the Hawaiian sugarcane industry. In Proc. Third Nat'l. Irrigation Symp., 223-227. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Moser, E. 1979. Technically-oriented research on drip irrigation equipment for special crops. Int. Soc. Hort. Sci. (ISHS) 79: 37-45.

Nakayama, F- S., B. J. Boman, and D. J. Pitts. 2007. Maintenance. Chapter 11 in Micro irrigation for Crop Production, 389-430. F. R. Lamm, J. E. Ayars, and F. S. Nakayama, eds. New York, N.Y.: Elsiever.

Nakayama, F. S., and D. A. Bucks. 1991. Water quality in irrigation: A Review. Jrrig. Sci. 12: 187-92.

Nakayama, F S., and D. A. Bucks, eds. 1986. Trickle Irrigation for Crop Production: Design, Operation and Management. New York, N.Y.: Elsevier and S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Or, D., and F E. Coelho. 1996. Soil water dynamics under drip irrigation: Transient flow and uptake models. Trans. ASAE 39(6): 2017-2025.

Oron, G., Y DeMalach, and Z. Hoffman. 1989. Subsurface trickle irrigation of alfalfa with treated wastewater. Progress Report. Israel: Ben Gurion Univ., Institute of Desert Research.

Parchomchuk, P 1976. Temperature effects on emitter discharge rates. Trans. ASAE 19(4): 690-692.

Peng, G. F., I. P Wu, and C. J. Phene. 1986. Temperature effects on drip line hydraulics. *Trans. ASAE* 29(1): 211-215.

Peretz, 1., R. G. Evans, and E. L. Proebsting. 1984. Leaf water potentials for management of high frequency irrigation of apples. *Trans. ASAE.* 27(2): 437-442.

Phene, C. 1. 1995. The sustainability and potential of subsurface drip irrigation. In *Proc. 5th Int'l Microirrigation Congress,* 359-367 S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Phene, C. 1., K. R. Davis, R. B. Hutmacher, and R. L. McConnick. 1987a. Advantages of subsurface drip irrigation for processing tomatoes. *Acta Horticulturae* 200: 101-113.

Phene, C. J., K. R. Davis, and R. L. McCormick. 1987b. Evapotranspiration and irrigation scheduling of drip irrigated cantaloupes. ASAE Paper No. 87-2526. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Phene, C. 1., R. B. Hutmacher, and J. E. Ayars. 1992. Subsurface drip irrigation: Realizing the full potential. In *Proc. of Conference on Subsurface Drip Irrigation,* 137-158. CATI Publication 921001. Fresno, Calif.: California State Univ.

Philip, 1. R. 1991. Effects of root and subirrigatin depth on evaporation and percolation losses. *J. American Soil Sci. Soc.* 55(6): 1520-1523.

Pitts, D. J., F S. Zajueta, and A. G. Smajstrla. 1986. *Micro Irrigation System Submain Design Evaluation.* Florida Cooperative Extension Service, Univ. Florida.

Pitts, D. 1., K. Petersen, G. Gilbert, and R. Fastenau. 1996. Field assessment of irrigation system performance. *Appl. Eng. in Agric.* 12(3): 307-313.

Plaut, S., M. Rom, and A. Meiri. 1985. Cotton response to subsurface trickle irrigation. In *Proc. of the Third Int'l Drip/Trickle Irrigation Congress,* 916-20. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Proebsting, E. L., J. E. Middleton, and S. Roberts. 1977 Altered fruiting and growth characteristics of 'Delicious' apples associated with irrigation method. *HortSci. 12:* 349-350.

Rawlins, S. L. 1977. Uniform irrigation with a low head bubbler system. *Agric. Water Mgmt.* 1: 166-178.

Rodriguez-Sinobas, L., L Juana, and A, Losada. 1999. Effects of temperature changes on emitter discharge. *J. Irrig. Drain. Eng.* 125(2): 64-73.

Ross, D. S. 1994. Reducing water use under nursery and landscape conditions. In *Recycling and Resource Conservation, A Reference Guide for*

Nursery and Landscape Industries. C. W Heuser, Jr., and P. E. Heuser, eds. Harrisberg, Pa.: Pennsylvannia Nurserymens Assoc., Inc.

Ross, D. S., R. A. Parsons, and H. E. Carpenter. 1990. Trickle irrigation in the eastern United States. Publication NRAES-4. Ithaca, N.Y.: Northwest Regional Agricultural Engineering Service, Cornell Univ.

Rubiez,1. G., N. F Oebker, and 1. L. Stroehlein. 1989. Subsurface drip irrigation and urea phosphate fertigation for begetables on calcareous soils. *J. Plant Nutrition* 12(12): 1457-1465.

Sadler, E. 1., C. R. Camp, and W. 1. Busscher. 1995 Emitter flow rate changes caused by excavating subsurface micro irrigation tubing. In *Proc. 5th Int'l Microirrigation Congress,* 763-768. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Sammis, T. W- 1980. Comparison of sprinkler, trickle, subsurface and furrow irrigation methods for row crops. *Agron. J.* 72: 701-04.

Sammis, T. W., and 1. P Wu. 1985. Effect of drip irrigation design and management on crop yield. *Trans. ASAE* 28(3): 832-838

Scherm, H., and A. H. C. van Bruggen. 1995. Comparative study of microclimate and downy mildew development in subsurface drip- and furrow-Irrigated lettuce fields in California. Plant Disease 79(6): 620-25.

Schwankl, L., B. Hanson, and T. Pritchard. 1995. Micro-irrigation of Trees and Vines: A Handbookfor Water Managers. Water Managment Series Publication No. 94-01. Davis, Calif.: Univ. California-Davis, Cooperative Extension.

Seginer, I. 1978. A note on the economic significance of uniform water application. Irrig. Sci. 1: 19-25.

Shani, D., X. Xue, R. Gordin-Katz, and A. W. Warrick. 1996. Soil-limiting flow from subsurface emitters. I: Pressure measurements. J. Irrig. Drain. Eng. 122(5): 291-295.

Smajstrla, A. G., B. J. Boman, D. Z. Haman, D. J. Pitts, and F S. Zazueta. 1997. Field evaluation of microirrigation water application uniformity. Bulletin 265. Gainesville, Fla.: Florida Cooperative Extension Service, Univ. Florida.

Smajstrla, A. G., and S. 1. Locascio. 1996. Tensiometer controlled, drip irrigation scheduling of tomatoes. Appl. Eng. Agric. 12(3): 315-319.

Smajstrla, A. G., S. J. Locascio, and D. R. Hensel. 1995. Subsurface drip irrigation of potatoes. Proc. Fla. State Hort. Soc. 108 :193-195.

Soloman, K. H. 1979. Manufacturing variation of emitters in trickle irrigation systems. Trans. ASAE 22: 1034-1038, 1043.

Solomon, K. H. 1984. Global uniformity of trickle irrigation systems. ASAE Paper No. 84-2103. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Solomon, K. H. 1992. Subsurface drip irrigation: Product selection and performance. In Subsurface Drip Irrigation: Theory, Practices and

Application, 17-39. CATI Publication No. 92 1001. Fresno, Calif.: California State Univ.

Stanley, C. D., and G. A. Clark. 1991. Water table management using microirrigation tubing. Soil and Crop Sci. Soc. Fla. Proc. 50: 6-8.

Sterret, S. B., B. B. Ross, and C. P Savage. 1990. Establishment and yield of asparagus as influenced by planting and irrigation method. J. American Soc. Hort. Sci. 115(1): 29-33.

Thorton, 1. R., and D. Behoteguy. 1980. Operation and Installation of a bubbler system. ASAE Paper No 80-2059. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Tollefson, S. 1988. Commercial production of field and vegetable crops with subsurface drip irrigation. In 1988 Technical Conference Proceedings, 144-153. Falls Church, Va.: Irrigation Association.

Wample, R. L. 1996. Issues in vineyard irrigation. Wine East 24(2): 8-21.

Wample, R. L. 1997 Important issues in vineyard irrigation. Good Fruit Grower 48(14): 15-22,39.

Warrick, A. W., and D. O. Lomen. 1983. Linearized moisture flow with root extraction over two-dimensional zones. J. Soil Sci. Soc. America 44(5): 869-872.

Warrick, A. W., and D. Shani. 1996. Soil-limiting flow from subsurface emitters. II: Effect on uniformity. J. Irrig. Drain. Eng. 122(5): 296-300.

Wu, I. P. 1988. Linearized water application function for drip irrigation schedules. Trans. ASAE 31(6): 1743-1749.

Wu, I. P. 1992a. Energy gradient line approach for direct hydraulic calculation in drip irrigation design. Irrig. Sci. 13: 21-29.

Wu, 1. P 1992b. A simple graphic solution for drip lateral design. Paper No. 9209103. In Proc. Int'l Conference on Agricultural Engineering.

Wu, I. P. 1993a. Microirrigation design for trees. ASAE Paper No. 93-2128. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Wu, I. P 1993b. Design considerations of drip irrigation systems. In Transactions, R53, Q44,15th Congress on Irrigation and Drainage, 693-711. The Hague, The Netherlands: ICID.

Wu, I. P 1995. A simple optimal microirrigation scheduling, In Proc. 5th Int'l Microirrigation Congress, 781-786. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Wu, I. P., J. S. Feng, and K. Y Yabusaki. 1989. Emitter spacing and uniformity of irrigation application. ASAE Paper No. 89-2080. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Wu,1. P., and H. M. Gitlin. 1974. Drip irrigation design based on uniformity. Trans. ASAE 17: 429-432.

Wu, I. P., and H. M. Gitlin. 1975. Energy gradient line for drip irrigation laterals. J. Irrig. Drain. Eng. 10I(IR4): 323-326.

Wu, I. P., T. A. Howell, and E. A. Hiler. 1979. Hydraulic design of drip irrigation systems. Technical Bulletin No. 105. Manoa, Hawaii: Hawaii Agricultural Experiment Station, Univ. Hawaii.

Wu, 1. P., and 1. M. Irudayaraj. 1987 Evaluation of uniformity parameters for drip irrigation design. ASAE Paper No. 87-2522. St. Joseph, Mich.: ASAE.

Wu, I. P., and 1. M. Irudayaraj. 1992. Hydraulic variation of a drip irrigation sub main unit. ASAE Paper No. 92-2056. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Wu, I. P., 1. M. Irudayaraj, and J. S. Feng. 1988a. Plugging evaluation for a drip irrigation submain unit. A8AE Paper No. 88-2062.81. Joseph, Mich.: ASAE.

Wu, I. P., 1. M Irudayaraj, and 1. S. Feng. 1988b. Grouping effect on the uniformity of drip irrigation. Paper No. 10-4. In Congress Proc. Fourth Int'l Microirrigation Congress, VI.

Wu, I. P., G. Y Lin, and L. S. Lau. 1991. Plugging evaluation in the reuse of sewage effluent by drip irrigation. In Proc. 1991 Nat'l. Con! ASCE, 780-786. Reston, Va.: ASCE.

Wu, I. P., and C. 1. Phene. 1984. Temperature effect on drip emitters and lateral line. ASAE Paper No. 84-2628. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Wu, I. P., K. Y. Yabusaki, and J. M. Irudayaraj. 1985. Computer simulation of total emitter flow variation: Drip/trickle irrigation in action. Proc. Third Int'l Drip/ Trickle Irrigation Congress 2: 873-886.

Wu, I. P., and R. Yue. 1993. Drip lateral design using energy gradient line approach. Trans. ASAE 36(2): 389-394.

Wuertz, H. 1992. Subsurface drip irrigation on Sundance Farms Ltd. In Proc. of Conference on Subsurface Drip Irrigation, 73-83. CATI Publication 921001. Fresno, Calif.: California State Univ.

Yitayew, M., K. Didan, and C. Reynolds. 1999. Microcomputer based low-head gravity-flow bubbler irrigation system design. Computers and Electronics in Agric. 22: 29-39.

Yitayew, M., C. A. Reynolds, and A. E. Sheta. 1995. Bubbler irrigation system design and management. In Proc. 5th Int'l Microirrigation Congress, 402-413. S1, Joseph, Mich.: ASAE.

Zur, B., and S. Tal. 1981. Emitter discharge sensitivity to pressure and temperature. J. Irrig. Drain. Eng. 107(IR1): 1-9.