

تصميم وتشغيل نظم الري بالرش

ديريل ل. مارتن (جامعة نبراسكا، لينكولن، نبراسكا)
دينيس س. كينكيد (USDA-ARS، كيمبرلي، أيداهو)
ويليام م. ليل (جامعة تكساس أوم، لوبوك، تكساس)

ملخص: يتم عرض ومناقشة تصميم وتشغيل نظم الري بالرش في هذا الفصل، إضافة إلى توفير المعلومات المتعلقة بمكونات نظم الري وخصائص النظام التي تؤثر على كفاءة إضافة المياه وانتظاميتها. وسيتم تقييم تفاعل خصائص النظام مع خواص التربة والمحصول نسبة إلى تصميم وتشغيل نظم الري للعمل على تقليل الجريان السطحي، والتسرب العميق، وفواقد البخر المفرطة.

الكلمات الأساسية: كفاءة الإضافة، الري المحوري، الحركة المستقيمة، الجريان السطحي، البكرة الجانبية، الوضع الثابت، الري بالرش، خط السحب، الانتظامية.

(١٦،١) مقدمة

قامت نظم الري بالرش بثورة تطوير الزراعة المروية، وتتضمن إضافة المياه الفعالة باستخدام الري بالرش تصميم وتشغيل المضخات، والأنابيب، وأجهزة الرش لتتوافق مع ظروف التربة والمحصول ومصدر المياه. وبالتالي، يمكن تصميم نظم الري

بالرش وتشغيلها للقيام بري فعال عبر مدى واسع من الظروف. ويعمل الري بالرش أيضاً على تسهيل اتساع الزراعة المروية للأراضي التي تصنف على أنها غير مناسبة للري السطحي. وبشكل أولي فإن العمالة المطلوبة لنقل النظام عبر الحقل أعاقت قبول استخدام الري بالرش. ومن خلال التشغيل الآلي أمكن خفض العمالة المطلوبة للري بالرش بدرجة كبيرة مما ساعد المنتجين على الري بشكل أكثر تكراراً وإضافة كميات أقل من المياه والذي أنهى من غير قصد التسرب وزاد من تخزين مياه الأمطار في منطقة جذور المحصول، وفي نفس الوقت لبي الاحتياجات المائية للمحصول.

وأوضح مورجان (1993) Morgan أن أجهزة الرش استخدمت من وقت مبكر يرجع إلى عام ١٨٧٣ م، وبحلول عام ١٨٩٨ م سجلت سبع عشرة براءة اختراع لأجهزة الرش، ومنذ تلك البداية المبكرة حدث الكثير من التطوير، وأصدرت براءة الاختراع للرشاشات المضغوطة التي نعرفها اليوم عام ١٩٣٤ م. وأنتجت أنابيب الألمونيوم ذات الحشيات المطاطية لأول مرة في فترة الأربعينات في حين تم إنتاج نسخة مبكرة من آلات البكرة الجانبية لأول مرة في حقبة الخمسينات، واختراع النظام المحوري ذاتي الدفع ونظم الحركة المستقيمة في أواخر الأربعينات. واعترف المنتجون بسرعة بأن مراقبة نظام الري يعد أمراً ضرورياً للأداء الصحيح، وتم تركيب أجهزة المراقبة للري بالرش لأول مرة عام ١٩٢٤ م.

ووضعت هذه التطورات الأولى الأساس لنمو الري بالرش، وفي أواخر الأربعينات وأوائل الخمسينات بدأ التطور بكبد واستمر بزيادات كبيرة في فترة الستينات والسبعينات عندما أضحت النظم الآلية متاحة تجارياً، واستمرت الزيادة في مساحات الأراضي المروية بنظام الري بالرش، ومعظم التطور اليوم مخصص لنظم الري بالرش الآلية وشبه الآلية. وطبقاً لإحصائية هيئة ري مرابي الماشية والمزارع (USDA-NASS, 2003)، استخدم الري بالرش على تقريباً ١٥٪ من الأراضي المروية في الولايات المتحدة (الجدول رقم ١٦، ١). وحالياً، تستخدم النظم المحورية تقريباً ٧٩٪ من الأراضي المروية باستخدام الري بالرش. وتستخدم النظم المحورية منخفضة الضغط

بشكل أكثر بقليل من النظم المحورية متوسطة الضغط ، واستخدم القليل من النظم المحورية عالية الضغط نسبياً عام ٢٠٠٢.

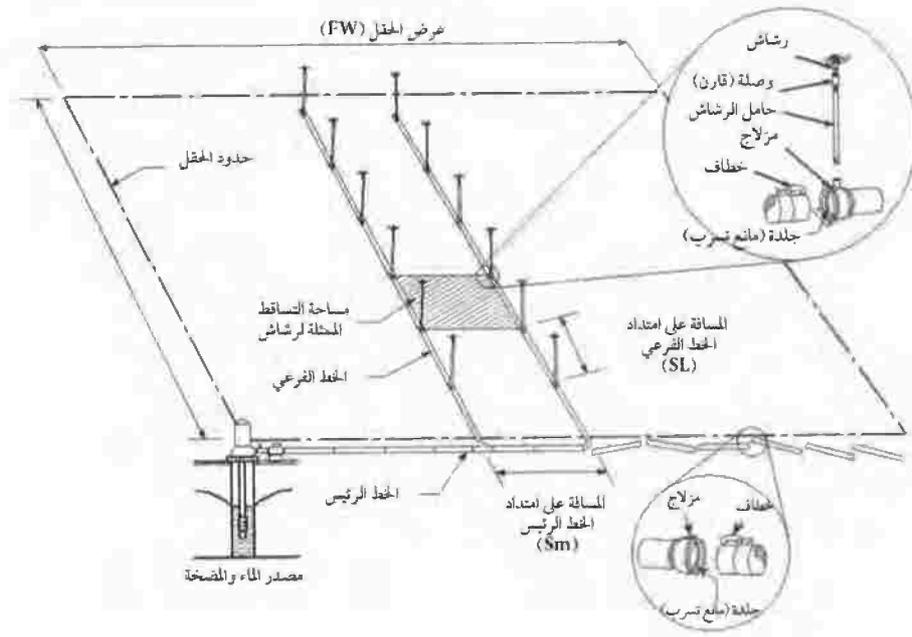
الجدول رقم (١٦,١). توزيع الأراضي المروية بالرش في الولايات المتحدة عام ٢٠٠٢ (المصدر: USDA-NASS, 2003).

النظام	مساحة الأراضي (هكتار) بمدى الضغط		المساحة الكلية	
	أقل من ٢٠٧ كيلوبسكال	من ٢١٠ إلى ٤١٤ كيلوبسكال	هكتار	نسبة الأراضي المروية بالرش
المحوري	٣,٩٢٥,٨٨٣	٣,٩٠٩,٨٦٠	٨,٦٢٠,٦٨٥	٧٩,٠
ذو الحركة المستقيمة	٦٠,٥٥٣	٧٨,٧٨٤	١٣٩,٣٣٧	١,٣
الوضع الثابت	١١٢,٥٥١	٣٦,٣٥٣	٤٧٦,٩٠٤	٤,٤
ذو البكرة الجانبية	---	---	٧٣٩,٢٣١	٦,٨
المتنقل أو المدفعي	---	---	٢٥٦,٣٥١	٢,٤
المتنقل يدوياً	---	---	٦٧٣,٤٩٨	٦,٢
الأراضي الكلية المروية بالرش			١٠,٩٠٦,٠٠٦	
الأراضي المروية باستخدام كل أساليب الري			٢١,٢٨٨,٣٣٨	

(١٦,٢) مكونات نظم الري بالرش

تتكون نظم الري بالرش بشكل عام من المضخة المستخدمة لرفع وضغط المياه ، ومن خط أنابيب رئيس لنقل المياه من المضخة إلى الخطوط الفرعية المستخدمة لنقل المياه عبر الحقل المروي ، وأجهزة رش لإضافة المياه داخل الحقل (الشكل رقم ١٦,١). وفي بعض الحالات يتم تقسيم الخط الرئيس إلى خطوط شبه رئيسة تستخدم لنقل المياه لأجزاء الحقل ، ويمكن استخدام خطوط فرعية متعددة إذا كان الحقل كبيراً أو إذا كان الحقل بحاجة إلى أن يتم ريه بشكل متكرر. ويتم تركيب أجهزة الرش على مسافات متساوية على امتداد الخط الفرعي. وغالباً ما يتم استخدام أنبوب يسمى حامل الرشاش لضبط ارتفاع الرشاش على الارتفاع المطلوب لتجنب تداخل المحصول مع

المياه المتدفقة من الرشاش ، ولبعض التطبيقات باستخدام النظم المحورية أو نظم الحركة المستقيمة ، يتم تعليق الرشاشات أسفل الخط الفرعي باستخدام أنابيب متدلية لتقليل البخر والبعثرة للقطرات الخارجة من الرشاش.



الشكل رقم (١٦, ١). المكونات والمخطط العام لنظم الري بالرش.

وتعد المسافات البينية الصحيحة للرشاشات على امتداد الخط الفرعي أمراً ضرورياً لتوفير تداخل كاف للمياه من الرشاشات المتجاورة ولتحقيق الري المنتظم. ويمكن أن تكون الخطوط الفرعية للرشاشات دائمة التركيب كما هو الحال مع نظم الري بالرش الثابتة ، أو يمكن أن تكون الخطوط الفرعية متنقلة عبر الحقل. ويمكن أن تنتقل الخطوط الفرعية بشكل دوري من أحد المواقع (غالباً ما يسمى "بالوضع الأول") إلى الموقع التالي كما هو الحال مع نظم الري بالرش المنقولة يدوياً أو أن الخطوط الفرعية

يمكن أن تنتقل بشكل متواصل عبر الحقل كما هو الحال مع النظام المحوري ونظام الحركة المستقيمة. وعندما يتم نقل خط الرش الفرعي بشكل دوري عبر الحقل يجب أن تكون المسافة بين الأوضاع المتعاقبة للخط الفرعي ضيقة بدرجة كافية لتوفير تداخل كافي. وهناك كثير من الأنواع المتاحة من أجهزة الرش ، وبعضها موضح في الشكل رقم (١٦،٢). وتستخدم كل أجهزة الرش فوهات للتحكم في التصريف من الرشاش ، ويعمل قطر وشكل فوهة الرشاش وضغط المياه على الفوهة على التحكم في معدل التصريف ، وتعمل الفوهة على تحويل ضغط الماء داخل نظام الأنابيب إلى سرعة أثناء خروجه من الرشاش والتي تعمل على دفع القطرات خلال الهواء لتوفير حيز ميلل حول الرشاش ، ويحدد تصميم فوهة الرشاش قطر البلب وتوزيع المياه داخل المنطقة المبللة.



الشكل رقم (١٦،٢). أمثلة على الرشاشات المستخدمة في نظم الري.

وكما هو الحال مع أي نظام الري، فلا بد من تصميم نظام الرش ليتلاءم مع حدود الحقل. وتحدد أبعاد الحقل فيزيائياً أو اقتصادياً في الغالب نوع نظام الرش الذي يجب استخدامه. وفي نهاية المطاف لا بد من أن تتوافق مكونات نظام الرش مع الري بشكل فعال واقتصادي. فالمواصفات غير الصحيحة لأي من المكونات سوف تؤثر سلباً على النظام بأكمله.

(١٦,٣) أساسيات التصميم

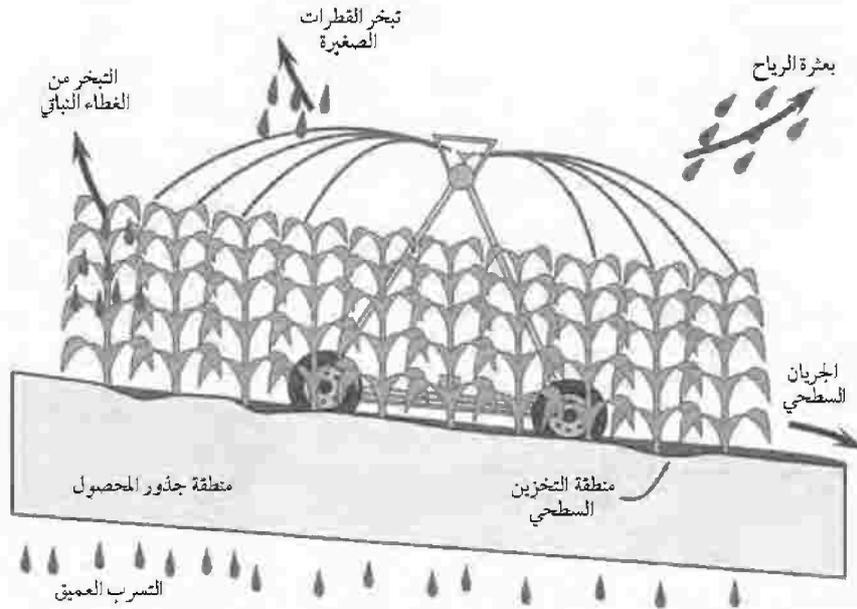
لا بد من تصميم نظم الري بالرش لتلبية الاحتياجات المائية للمحصول في الوقت الذي يتم فيه إضافة المياه بمعدل يعمل على تقليل الجريان السطحي والتسرب الزائد. ولتحقيق تلك الأهداف، يجب أن يكون توزيع الضغط في الخط الرئيس للأنايب والخطوط الفرعية للرشاش ملائماً كما تمت مناقشته في الفصل الخامس عشر. وهناك جهود جارية لتصميم النظم التي تقوم بإضافة أعماق متغيرة من المياه داخل الحقل طبقاً للإدارة الخاصة بالموقع، وحالياً فإن التركيز هو على النظم التي تضيف المياه بشكل منتظم عبر الحقل بأكمله. وهناك مفاهيم عامة تنطبق على تصميم وتشغيل نظم الري بالرش سيتم ذكرها في هذا الجزء، وهناك تفاصيل لنظم محددة سيتم عرضها لاحقاً.

(١٦,٣,١) كفاءة الإضافة

كفاءة الإضافة هي الجزء من المياه المضافة التي تبقى في منطقة جذور المحصول بعد عملية الري، والمياه التي تتسرب وتبقى في منطقة الجذور هي صافي عمق ماء الري، وعليه فإن كفاءة الإضافة هي نسبة صافي عمق الري (d_r) إلى العمق الكلي للمياه المضافة (d_g).

وهناك تمثيل للفوائد المحتملة في الري بالرش موضح في الشكل رقم (١٦,٣)، فبعض من المياه يمكن أن تتبخر قبل أن تصل إلى مظلة المحصول أو إلى سطح التربة، وجزء من المياه يحتجزه الغطاء النباتي بينما تسقط باقي المياه من خلال المظلة إلى سطح التربة. ويمكن الإبقاء على المياه التي يحتجزها الغطاء النباتي فيه، وربما تسقط عبر

سيقان النبات إلى سطح التربة، أو ربما تسقط عن النبات. وأوضح ستينر وآخرون (Steiner *et al.* (1983) أنه في حالة محصول ذرة تام النمو فإن ما يصل من المياه المضافة باستخدام النظام المحوري ليس إلا ٥٠٪ والتي تتدفق على امتداد الأوراق والسيقان إلى الأرض. ويمكن أن تتبخر المياه التي تحتجز و/أو التي تبقى فوق الغطاء النباتي أثناء وبعد الري. ويمكن أن تتبخر المياه التي تصل إلى سطح التربة، أو تتسرب، أو تنساب سطحياً، أو أن يتم تخزينها في مناطق منخفضة (حفر) على امتداد سطح التربة.



الشكل رقم (١٦،٣). رسم تخطيطي لفوائد المياه في حالة الري بالرش.

وعندما يتجاوز التسرب التخزين المتاح في منطقة جذور المحصول، فإن الإضافة الزائدة سوف تتصرف عبر قطاع التربة مما يسبب التسرب العميق. وقد تم إطلاق اسم على التخزين السطحي المياه المخزونة فوق سطح التربة، أو تخزين المنخفض، أو

التخزين المحتجز، وتعد هذه المياه متاحة للتسرب بعد أن يقل معدل إضافة المياه لأقل من معدل تسرب التربة. ويمكن أن تتسرب المياه التي تنساب من نقطة الإضافة إلى موقع آخر في اتجاه السريان ومن الممكن استخدامها. وإذا غادر الجريان السطحي الحقل، فإن المياه تُفقد من الحقل، وإذا تراكم الجريان السطحي في المناطق المنخفضة من الممكن أن يحدث التسرب العميق.

إن نوع النظام، وتصميمه وتشغيله، وظروف التربة والأحوال المناخية في وقت الري تؤثر جميعها على كفاءة الإضافة، ويعتمد تصميم نظم الري بالرش على متوسط كفاءات الإضافة. وهناك إيجاز للكفاءات النمطية مبين في الجدول رقم (١٦، ٢).

الجدول رقم (١٦، ٢). خصائص نظم الري بالرش (مقتبس من Keller et al., 1980).

نوع النظام	تكلفة التركيب (دولار/ساعة)	التكلفة السنوية للصيانة (% من ثمن الشراء)		العمالة لكل عملية ري (ساعة/هكتار)		كفاءة الإضافة (%)	معامل الانتظامية (%)
		قبل بداية الموسم	أثناء الموسم	قبل بداية الموسم	أثناء الموسم		
المتنقل يدوياً	٣٠٠	٢	٠,٢٥	١,٧٣	٠,٢٥	٧٥-٦٥	٨٥-٧٠
الخط المسحوب	٥٠٠	٣	٠,٢٥	١,٠٠	٠,٢٥	٨٠-٧٠	٨٥-٧٠
ذو البكرة الجانبية	٦٧٥	٢	٠,٢٥	٠,٨٦	٠,٢٥	٨٠-٧٠	٨٥-٧٠
ذو الحركة المستقيمة	٦٧٥	٤	٠,٤٩	٠,٦٢	٠,٤٩	٨٠-٧٠	٨٥-٧٠
الوضع الثابت المحوري	٢٠٠٠	٢	٠,٢٥	٠,١٥	٠,٢٥	٨٥-٧٠	٨٥-٧٥
القياسي	٨٠٠	٥	٠,١٢	٠,٠٥	٠,١٢	٩٢-٨٠	٩٥-٨٥
مع ري الأركان	٩٢٥	٦	٠,١٢	٠,٠٦	٠,١٢	٩٢-٨٠	٩٥-٨٥
الخط المتحرك	---	---	---	---	---	---	---
يفذى من قناة	---	---	---	---	---	---	---
يفذى من خرطوم	١٢٥٠	٦	٠,١٥	٠,١٥	٠,١٥	٩٢-٨٥	٩٥-٨٥
يفذى من أنبوب	---	---	---	---	---	---	---
المتنقل	٩٠٠	٦	٠,٢٥	٠,٦٢	٠,٢٥	٧٠-٦٠	٨٠-٧٠

(١٦,٣,٢) تصرف النظام

إن التصرف المطلوب لنظام الري يعد واحداً من الاعتبارات الأولى في عملية التصميم، ولا بد أن يكون التصرف كافياً لتلبية احتياجات المحصول من المياه طبقاً للأحوال المناخية للمنطقة. ونحن نستخدم صافي سعة النظام كمؤشر للإمداد المطلوب لتلبية احتياجات المحصول. وصافي سعة النظام (C_n) هو المعدل الذي يجب إمداد المياه به باستمرار لتلبية احتياجات النبات من المياه.

واستخدم هيرمان وآخرون (1974) *Heermann et al.* ائزان مياه التربة اليومي لمحاكاة تأثير صافي سعة النظام على محتوى التربة من المياه. ولسعة ما، حسبوا أقصى استنزاف لمياه التربة تم الوصول إليه خلال العام، وقاموا بمحاكاة ائزان مياه التربة لفترة من ٥٩ عاماً لوضع قاعدة بيانات لاحتمالية توزيع متطلب صافي سعة النظام. وتم استخدام نتائج من فون بيرنوز وآخرين (1984) *von Bernuth et al.* لوضع الخطوط الإرشادية للتصميم للري المحوري في نبراسكا (الشكل رقم ١٦,٤). واستخدم هويل وآخرون (1989) *Howell et al.* ، ولندستروم وستيتمان *Lundstrom and Stegman* (1988) إجراءات مماثلة لمناطق أخرى في السهول العظمى.

إن معدل التدفق المطلوب للنظام هو كمية المياه التي يجب أن يتم إمدادها لتجنب الإجهاد المائي. ويُعطى تدفق النظام بالعلاقة:

$$(١٦,١) \quad Q_s = 0.116 \left(\frac{C_n T_i}{E_g} \right) \left(\frac{A_i}{T_0} \right) = 0.116 \left(\frac{d_g A_i}{T_0} \right)$$

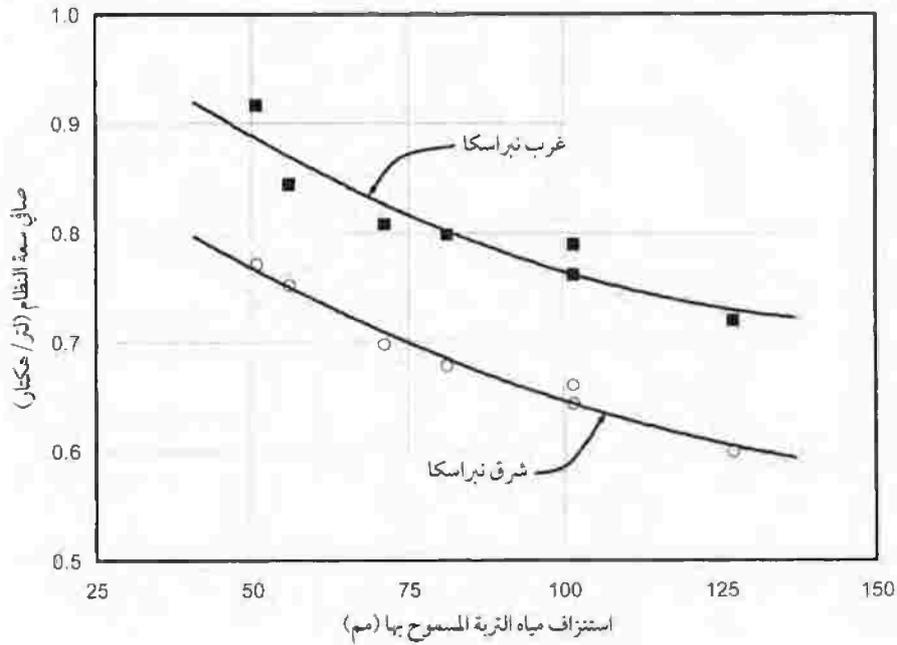
حيث إن:

Q_s = تدفق نظام الري بالرش (أي، سعة النظام الكلية)، لتر/ث.

C_n = صافي سعة النظام، مم/يوم.

T_i = الفترة بين الريات، يوم.

- E_a = كفاءة الإضافة، كسر عشري.
 A_i = المساحة المروية، هكتار.
 T_0 = زمن التشغيل للري، يوم.
 d_g = العمق الكلي لمياه الري المضافة، مم.



الشكل رقم (٤، ١٦). صافي سعة النظام في حالة استخدام النظام المحوري في نيراسكا (مقتبس من

(von Bernuth *et al*, 1984).

والفترة بين الريات هي الزمن منذ بدء الري حتى بداية عملية الري التالية. وتعد الفترة بين الريات في الغالب قيمة اسمية تمثل الممارسات الطبيعية أثناء فترة أقصى احتياجات مائة في موسم الري. وزمن التشغيل هو المقدار الزمني الذي تضاف به المياه

خلال الفترات الزمنية. وهناك أوقات من الممكن فيها أن يتوقف نظام الري لأجل الصيانة، ولإعادة تغيير موضع خطوط الرشاشات الفرعية، أو عمليات الزراعة، أو لوضع وسائل الراحة. ومن الممكن أن يُشار لهذا الزمن بزمن الركود، وهو الفرق بين الفترة بين الريات وزمن التشغيل. فاختيار الفترة بين الريات وزمن الركود لا بد من تنسيقه من قبل من يقوم بالتشغيل ولا يجب اختياره عشوائياً من قبل المصمم. ولا يمكن أن تتجاوز سعة النظام الكلية مجموع إمدادات المياه المتاحة. وإذا كانت متطلبات سعة النظام عالية جداً، فإنه يجب تقليل مقدار المساحة المروية، أو سوف يكون هناك عجز حتمي في الري.

(١٦,٣,٣) تصرف الرشاش

يمكن تحديد التصرف المطلوب للرشاش عن طريق عدد الرشاشات وعدد الخطوط الفرعية داخل الحقل، وفي حالة نظم الوضع الثابت ونظم النقل اليدوي يتم تحديد عدد الرشاشات عن طريق المسافة بين الرشاشات على امتداد الخط الفرعي والمسافة بين الأوضاع على امتداد الخط الرئيس (الشكل رقم ١٦,٢). إن المساحة المثلثة لرشاش واحد هي حاصل ضرب المسافة بين الرشاشات على امتداد الخط الفرعي (S_L) والمسافة بين الخطوط الفرعية أو عرض الوضع (S_m). ويتم تحديد عدد الرشاشات على الخط الفرعي (N) من خلال طول الحقل (F_L)، وعدد الخطوط الفرعية المستخدمة على امتداد طول الحقل (N_L)، والمسافة بين الرشاشات (أي، $N = F_L / N_L S_L$). ويتم تحديد عدد الأوضاع لكل خط فرعي (n) عن طريق عرض الحقل (F_w)، وعدد الخطوط الفرعية على امتداد عرض الحقل (N_s)، والعرض لكل وضع منفرد ($n = F_w / N_s S_m$). ولا بد أن يكون عدد الرشاشات لكل خط فرعي وعدد الأوضاع لكل خط فرعي أعداداً صحيحة.

وتعتمد الفترة بين الريات على عدد الأوضاع لكل خط فرعي (n)، والزمن التشغيلي لكل مجموعة على الخط الفرعي (T_s)، والزمن المطلوب لتحريك الرشاش فيما بعد بين الأوضاع (T_m)، وزمن التوقف بين الريات المتعاقبة:

$$(١٦,٢) \quad T_i = n(T_s + T_m) + T_d$$

وغالباً ما يُشار إلى الدمج بين الزمن التشغيلي والزمن المطلوب للتحرك من وضع إلى الذي يليه باسم زمن الوضع. ولا بد من أن يتم اختيار زمن الوضع من خلال استشارة المالك أو المشغل للتوافق مع العمالة المتاحة. وأقل زمن توقف هو الزمن المطلوب لإعادة تحديد مواضع الخطوط الفرعية من الوضع الأخير في الحقل إلى وضع البداية من أوضاع الري التالية. ويمكن كذلك أن يكون هناك وقت إضافي مطلوب للصيانة وللعمليات داخل المزرعة.

إن التصرف من رشاش منفرد ما في مثل هذا النظام يعتمد على (١) عمق المياه التي يجب إضافتها لكل رية، و(٢) المساحة الممثلة لرشاش واحد، و(٣) الزمن الذي تضاف فيه المياه لوضع منفرد، كما يلي:

$$(١٦,٣) \quad q_s = \frac{1}{3600} \left(\frac{C_n T_i}{E_a} \right) \left(\frac{S_L S_m}{T_s} \right) = \frac{d_g S_L S_m}{3600 T_s}$$

حيث إن:

q_s = التصرف من الرشاش الواحد، لتر/ث.

S_L = المسافة بين الرشاشات، م.

S_m = المسافة بين الخطوط الفرعية، م.

T_s = الزمن التشغيلي لكل وضع بالنسبة للخط المفرد، ساعة.

ويمكن أن يروي الرشاش جزءاً من دائرة عند نهاية الخط الفرعي لتوفير منتظم بدون إضافة المياه خارج حدود الحقل. ولا بد أن يكون التصرف لرشاش طرفي ما جزءاً من تصرف الرشاشات على امتداد الخط الفرعي مبنياً على نسبة جزء الدائرة التي يرويها الرشاش الطرفي إلى الدائرة الكاملة المروية بباقي الرشاشات.

وتصمم بعض نظم الوضع الثابت بحيث تكوّن المساحة بين الرشاشات المتجاورة مثلثاً متساوي الأضلاع. وبالنسبة لهذا الترتيب فإن المسافة بين الرشاشات تساوي المسافة على امتداد الخط الفرعي (S_L) وتكون المسافة بين الخطوط الفرعية هي $S_m = 0.866 \times S_L$. وقد تم إيجاد مزيد من العلاقات في الأجزاء اللاحقة في حالة التصرف من الرشاشات المنفردة لأنواع أخرى من النظم. ويحدد الضغط المتاح لأداة الرش (الرشاش) والقطر الفعال للفوهة التصرف من الرشاش، وفي حالة الفوهات المستديرة فإن العلاقة تُعطى بالمعادلة:

$$q_s = 0.00111 C_d D_n^2 \sqrt{P} \quad (١٦,٤)$$

حيث إن:

q_s = التصرف لكل فوهة، لتر/ث.

C_d = معامل التصرف.

D_n = القطر الداخلي للفوهة، مم.

P = الضغط عند قاعدة الرشاش، كيلويسكال.

ويعد معامل التصرف، الذي يتضمن خصائص ضاغط الرشاش والفوهة،

خاصاً بنوع الرشاش والفوهة. ووضع هيرمان وشتال (Heermann and Stahl (2006) معادلات لتقدير معامل التصرف للرشاشات المختارة:

$$C_d = d_0 + d_1 D_n^2 + d_2 P \quad (١٦,٥)$$

حيث إن d_0 ، d_1 ، و d_2 معاملات عملية، والقيم النمطية لهذه المعاملات

واردة في الجدول رقم (١٦,٣) لرشاشات مختارة، ولا بد أن يتم إضافة التصرف من

فوهة المدى وفوهة الفرش للرشاشات المجهزة بفوهتين. ولأن بعض الفوهات لا تكون

ذات فوهة دائرية القطر ويجب استخدام القطر الفعال للفوهة في المعادلة رقم (١٦,٤)،

والمعادلة رقم (١٦,٥).

الجدول رقم (١٦,٣). معاملات معامل التصريف (مقتبس من Heerman and Stahl, 2006).

اسم الشركة	رقم الموديل	أدنى ضغط (كيلويسكال)	d ₀	d ₁	d ₂
مؤسسة نيلسون للري	F32AS	٢٤٥	٠,٩٥٤	٣-١٠×٥,٠٦١	٥-١٠×١,٨٥٩
مؤسسة نيلسون للري	F32S	٢٤٥	٠,٩٥٤	٣-١٠×٥,٠٦١	٥-١٠×١,٨٥٩
مؤسسة نيلسون للري	F33A	٢٤٥	٠,٩٧٦	٣-١٠×١,٦١٧-	٦-١٠×٢,٥٦٧-
مؤسسة نيلسون للري	F33AS	٢٤٥	٠,٩٧٦	٣-١٠×١,٦١٧-	٦-١٠×٢,٥٦٧-
مؤسسة نيلسون للري	F33S	٢٤٥	٠,٩٧٦	٣-١٠×١,٦١٧-	٦-١٠×٢,٥٦٧-
مؤسسة نيلسون للري	F33DN	١٩٦	١,٠١١	٤-١٠×٢,٢٦٧-	٤-١٠×٣,٤٤١-
مؤسسة نيلسون للري	F43A	٢٤٥	١,٠١١	٣-١٠×٤,٨٨٩-	٦-١٠×٥,٧٣٧-
مؤسسة نيلسون للري	F43AP	٢٤٥	٠,٩٥٤	٥-١٠×٣,٣٦٣-	٦-١٠×٢,٩٢٨-
مؤسسة نيلسون للري	F43P	٢٤٥	٠,٩٧٥	٣-١٠×١,٣٩٠-	٦-١٠×٨,٢٣٤-
مؤسسة نيلسون للري	F70A	٢٩٤	٠,٩٩٦	٣-١٠×٢,٠١٨-	٦-١٠×١,٣٥٧-
مؤسسة نيلسون للري	F80A	٣٩٢	٠,٩٩١	٣-١٠×١,٠٠٢-	٦-١٠×٣,٢١٣
مؤسسة نيلسون للري	R30	١٤٧	١,٠٣٥	٣-١٠×٢,٨٤٥-	٦-١٠×١,٣٥٩-
مؤسسة نيلسون للري	R3000	١٩٦	٠,٢٩٤	٠	٠
مؤسسة نيلسون للري	R30D4	٢٩٤	٠,٩٦٩	٠	٠
مؤسسة نيلسون للري	R30D6	٢٩٤	٠,٩٥٧	٠	٠
مؤسسة نيلسون للري	SPRI	٩٨	٠,٩٨٦	٣-١٠×٢,٦٩٢-	٥-١٠×٩,٦٩٦-
مؤسسة رين بيرد	20	١٩٦	٠,٩٦٦	٣-١٠×٧,٧٦٨-	٥-١٠×٧,٣٩٤
مؤسسة رين بيرد	L20	٢٤٥	١,٠٥٩	٣-١٠×٢,٣٤١-	٦-١٠×٤,١٥٤-
مؤسسة رين بيرد	L2020	٢٤٥	١,٠٨٤	٣-١٠×١,٥٨٥-	٦-١٠×٦,٤٦٦-
مؤسسة رين بيرد	30	٢٤٥	٠,٩٩٥	٣-١٠×٣,١٤٩-	٦-١٠×٥,٤٤٩-
مؤسسة رين بيرد	L30	٢٤٥	١,٠٠٩	٣-١٠×٩,٩٨٩-	٦-١٠×٨,٥٧٢-
مؤسسة رين بيرد	L3030	٢٤٥	١,٠٨١	٣-١٠×٤,٩٦٢-	٥-١٠×٦,٤٥٦-
مؤسسة رين بيرد	35	٢٩٤	٠,٩٥٢	٣-١٠×٢,٩٠٤-	٦-١٠×٤,٩٢٧-
مؤسسة رين بيرد	40	٢٤٥	١,٠٠٠	٣-١٠×٢,٦٥٦-	٦-١٠×٤,٣٥٨

تابع الجدول رقم (١٦،٣).

اسم الشركة	رقم الموديل	أدنى ضغط (كيلوبسكال)	d_0	d_1	d_2
مؤسسة رين بيرد	65	٣٩٢	٠,٩٨٤	٣-١٠×٣,٠٦١-	٠-١٠×٧,٥٤١
مؤسسة رين بيرد	70	٣٩٢	١,٠٠٢	٣-١٠×٣,٧٨٠-	٠-١٠×٦,٠٨٥
مؤسسة رين بيرد	85	٢٤٥	٠,٩٦٠	٣-١٠×١,٢٧٨-	٠-١٠×٣,٣٠٠
مؤسسة رين بيرد	8X	٩٨	٠,٩٢٢	٣-١٠×٩,٨٧٠-	٠-١٠×١,٠٠٥
مجموعة سينقر للري	S4006	٢٤٥	٠,٩٦٣	٤-١٠×٦,١٨٣-	٠-١٠×١,٢٦٩
مجموعة سينقر للري	S5006	٢٤٥	٠,٩٩٠	٣-١٠×٢,٥٠٢-	٠-١٠×٧,٨٩٦-
مجموعة سينقر للري	SSPR	٥٩	٠,٩٨٣	٤-١٠×٦,٦٢٢-	٠-١٠×٨,١٠٠-
مجموعة فالنوت الصناعية	SPR06	٥٩	٠,٨٦٥	.	.
مجموعة فالنوت الصناعية	SPR10	٩٨	٠,٨١٦	.	.

(١٦،٣،٤) قطر التغطية

إن قطر التغطية، والذي يُسمى أيضاً بقطر الببل، (W_d)، هو مساحة الشكل الدائري الذي يُبلل من خلال رشاش واحد. ولقطر التغطية تأثير كبير على الرشاش والمسافة بين الخطوط الفرعية وبالتالي على تكلفة النظام. ويعتمد قطر التغطية على سرعة نفث الرشاش، وزاوية محور الفوهة مع الأفقي، وحجم قطرات المياه التي تخرج عندما يبدأ الرشاش في النفث. وإلى حد ما، فكلما ازداد الضغط، ازداد قطر التغطية وأصبح من الممكن القيام بإضافة منتظمة. وينبغي زيادة الضغط بزيادة أحجام الفوهة لضمان تكسير وتحول القطرات إلى رذاذ وأن تكون قطرات الرش متساوية.

ويوفر مصنعو الرشاشات بتوفير بيانات عن الأداء والتي تشمل التصرف وقطر التغطية كدالة في ضغط التشغيل وأقطار الفوهات كما هو موضح في الجدول رقم (١٦،٤). ويعمل قطر التغطية الذي يوفره المصنعون على تحديد ارتفاع الفوهة فوق الأرض عند اختبار الرشاش. ونتائج الاختبارات تكون في الغالب في ظروف بلا الرياح وهي تشمل المدى الذي يُنصح به من ضغط التشغيل بالنسبة للأشكال المذكورة.

وهناك أنواع متعددة متوفرة من الفوهات للرشاشات ، والأنواع التقليدية على التوالي هي فوهات من النحاس الأصفر السوي (والتي يكون لها فوهات مستديرة) أو فوهات من البلاستيك قطرية الشكل تعطي أشكالاً وأنماطاً جيدة عند الضغوط المتوسطة إلى المرتفعة. وتعطي الفوهات غير المستديرة (مع دفعات انتشارية) أنماطاً جيدة عند الضغوط المنخفضة، ولكن نصف القطر المبلل يكون غالباً أصغر منه في حالة الفوهات الدائرية. ووضع كينكيد (1982) Kincaid معادلات للتنبؤ بقطر التغطية على أساس ضغط الفوهة والتصرف من الرشاش ، واستخدم هيرمان وشال (2006) Heermann and Stahl قطر الفوهة وضغط الرشاش للتنبؤ بنصف قطر الببل لمدى من الرشاشات :

$$W_r = r_0 + r_1 (D_n^2 P)^2 + r_2 (D_n^2 P)^3 \quad (١٦,٦)$$

حيث إن :

W_r = نصف قطر الببل (التغطية) ، م.

D_n = قطر الفوهة ، مم.

P = ضغط الفوهة ، كيلوبسكال.

r_0, r_1, r_2 = معاملات (ثوابت) عملية.

ويوضح الجدول رقم (١٦,٥) بياناً للمعاملات العملية للرشاشات المختارة.

(١٦,٣,٥) زمن التشغيل

لا بد من اختيار زمن التشغيل لكل مجموعة (T_g) لتلبية الاحتياجات المائية للمحصول خلال الفترة بين الريات بأكملها وفي نفس الوقت للعمل على تجنب التسرب العميق ، ولا بد أيضاً أن يكون زمن التشغيل مقبولاً للمشغل ، ويعتمد زمن المجموعة المناسب على معدل إضافة المياه.

ومتوسط معدل إضافة المياه هو المعدل المتوسط الذي يتم به إضافة المياه إلى سطح التربة/المحصول. ويعتمد معدل الإضافة على التصرف والمساحة الممثلة لرشاش

مفرد، ومتوسط معدل الإضافة في حالة الوضع الثابت والنظم دورية التنقل يُعطى بالمعادلة:

$$R_a = \frac{3600 q_s}{S_L S_m} \quad (١٦,٧)$$

حيث إن R_a = متوسط معدل الإضافة، مم/ساعة.

ويعد معدل الإضافة مهماً طالما أن الجريان السطحي من الممكن أن يحدث عندما يتجاوز معدل الإضافة معدل التسرب. ويحتوى الجدول رقم (١٦,٦) على أقصى وأدنى معدل إضافة موصى به لتصميم الرشاش النمطي في حالة النظم دورية التنقل ونظم الوضع الثابت، وتمثل هذه القيم الظروف المتوسطة التي يلزم تعديلها عندما تكون المعلومات المحلية متاحة أو حيثما يكون الجريان السطحي سائداً.

الجدول رقم (١٦,٥). معاملات نصف قطر البلب للرشاشات المختارة (مقتبس من Heerman and Stahl, 2006).

المعاملات		رقم الموديل	اسم الشركة	
r_2	r_1			
$10 \times 5,9017$	$10 \times 1,0188$	٧,٦٦	F32AS	مؤسسة نيلسون للري
$10 \times 8,8466$	$10 \times 4,4340$	١١,١٦	F32S	مؤسسة نيلسون للري
$10 \times 2,0504$	$10 \times 6,7152$	٩,٩٥	F33A	مؤسسة نيلسون للري
$10 \times 2,0504$	$10 \times 6,7152$	٩,٩٥	F33AS	مؤسسة نيلسون للري
$10 \times 1,7156$	$10 \times 6,0956$	١٠,٧٤	F33S	مؤسسة نيلسون للري
$10 \times 1,1985$	$10 \times 4,2715$	٩,٦٧	F33DN	مؤسسة نيلسون للري
$10 \times 7,8742$	$10 \times 4,2364$	٩,٢٥	F43A	مؤسسة نيلسون للري
$10 \times 6,0400$	$10 \times 3,9817$	٩,٣٦	F43AP	مؤسسة نيلسون للري
$10 \times 7,2575$	$10 \times 4,0998$	١٢,٣٤	F43P	مؤسسة نيلسون للري
$10 \times 1,9555$	$10 \times 2,5634$	١٢,٦٢	F70A	مؤسسة نيلسون للري
$10 \times 3,0453$	$10 \times 1,1757$	١٦,٨٧	F80A	مؤسسة نيلسون للري

تابع الجدول رقم (١٦,٥).

المعاملات		رقم الموديل	اسم الشركة
F ₂	F ₁		
٠	٠	٩,١٥	R30 مؤسسة نيلسون للري
٠	٠	٦,٤٠	R3000 مؤسسة نيلسون للري
٠	٠	٨,٥٤	R30D4 مؤسسة نيلسون للري
٠	٠	٧,٦٢	R30D6 مؤسسة نيلسون للري
٨-١٠×٤,٢٢١٧-	٤-١٠×٧,٧٢١٩	٣,٧٣	SPRI مؤسسة نيلسون للري
٨-١٠×٣,٣٩٢٠-	٤-١٠×٥,٢٨٧٠	١٠,٥٤	20 مؤسسة زين بيرد
٨-١٠×٨,٨١١٠-	٤-١٠×٩,٥٨٩٣	٨,٣٠	L20 مؤسسة زين بيرد
٨-١٠×٢,٦٥٠٤-	٤-١٠×٤,٠٠٩٢	٩,٤٨	L2020 مؤسسة زين بيرد
٨-١٠×١,٦٨١٦-	٤-١٠×٦,٤٤٩٦	١٠,٧٥	30 مؤسسة زين بيرد
٩-١٠×٤,٢٤٩٤-	٤-١٠×١,٨٧٧٢	١٠,٢٣	L30 مؤسسة زين بيرد
٩-١٠×٣,١٥٦٠-	٤-١٠×١,٦٩١٧	١٠,٢٧	L3030 مؤسسة زين بيرد
٨-١٠×١,٩١٢٠-	٤-١٠×٦,٩٧١٠	١٠,٦٤	35 مؤسسة زين بيرد
٩-١٠×٩,١٨٢٦-	٤-١٠×٥,١٨٩٣	١٢,٠٠	40 مؤسسة زين بيرد
٩-١٠×٣,٠٨٤٤-	٤-١٠×٣,٦٠٦٣	١٣,٠٩	65 مؤسسة زين بيرد
٩-١٠×١,٢٤٣٢-	٤-١٠×٢,٧٨٩٢	١٦,٥٢	70 مؤسسة زين بيرد
١١-١٠×٦,١٤٢٨-	٤-١٠×١,٩٢١٢	١٦,٦٩	85 مؤسسة زين بيرد
٩-١٠×٦,٤٣٥٣-	٤-١٠×٣,٤٣٠٦	٦,٤٧	8X مؤسسة زين بيرد
٨-١٠×١,٣٦٧٧-	٤-١٠×٥,٠٤٤٤	١١,٠٢	S4006 مجموعة سينقر للري
٩-١٠×٣,٣٥٠٩-	٤-١٠×٣,٨١٠٥	١١,٤٩	S5006 مجموعة سينقر للري
٨-١٠×١,٣٨٩٤-	٤-١٠×٤,١٧٩٣	٣,٨٣	SSPR مجموعة سينقر للري
٠	٧-١٠×٥,٢٧٦٠	٣,٥٢	SPR06 مجموعة فالنوت الصناعية
٨-١٠×٢,٩٣٣٤-	٤-١٠×٧,٦٥٣٩	٢,٩٧	SPR10 مجموعة فالنوت الصناعية

الجدول رقم (١٦,٦). أقصى معدل إضافة وعمق تسرب بناء على نوع التربة ومعايير الإدارة (مقتبس جزئياً من Keller and Bleisner, 1990).

نوع التربة	أقصى معدل إضافة (مم)			السعة المتاحة للاحتفاظ بالمياه (م/م)	أقصى عمق تسرب (مم)		
	٥-٠	٨-٥	١٢-٨		لعمق جذور ١ م مع نسبة استفاد مسموح به:	٣٥٪	٥٠٪
رملية خشنة	٥٠	٤٠	٣٠	٧٠-٥٠	٢١	٣٠	٣٩
رملية ناعمة	٤٠	٣٢	٢٤	٨٥-٧٥	٢٨	٤٠	٥٢
لومية رملية ناعمة	٣٥	٢٨	٢١	١٠٠-٨٥	٣٢	٤٥	٥٩
لومية رملية	٢٥	٢٠	١٥	١٢٥-١١٠	٤٢	٦٠	٧٨
رملية لومية ناعمة	٢٠	١٦	١٢	١٥٠-١٣٠	٤٩	٧٠	٩١
رملية لومية ناعمة جداً	١٥	١٢	٩	١٦٥-١٤٥	٥٣	٧٥	٩٨
لومية	١٣	١٠	٨	١٧٠-١٥٠	٥٦	٨٠	١٠٤
طينية لومية	١٣	١٠	٨	٢٠٠-١٦٠	٦٣	٩٠	١١٧
رملية طينية لومية	١٠	٨	٦	١٧٠-١٤٠	٥٣	٧٥	٩٨
طينية لومية	٨	٦	٥	١٨٠-١٥٠	٥٦	٨٠	١٠٤
طينية لومية	٨	٦	٥	١٨٠-١٤٠	٥٦	٨٠	١٠٤
طينية	٥	٤	٣	١٨٠-١٣٠	٥٣	٧٥	٩٨

ويمكن حساب عمق المياه المضافة لكل عملية ري (أي، حجم المياه لكل وحدة مساحة من الأرض) في حالة نظم الوضع الثابت ونظم الحركة المستقيمة من المعادلة التالية:

$$(١٦,٨) \quad d_g = R_a T_s = \frac{3600 q_s T_s}{S_L S_m}$$

وعمق المياه المضافة ومعدل الإضافة المناظر للأنواع الأخرى من نظم الري بالرش سوف يتم عرضها في أجزاء لاحقة.

ولا يجب أن يتجاوز عمق الإضافة الصافي ($d_n = E_a d_g$) استنزاف مياه التربة عند وقت الري، ومع هذا، لا بد أن يكون صافي عمق ماء الري كبيراً بدرجة كافية لتلبية استهلاك المحصول من المياه أثناء الفترة بين الريات. وللعمل على التوافق مع هذه القيود فإن زمن التشغيل لكل مجموعة يجب أن يكون متناغماً مع الفترة بين الريات وصافي سعة النظام. وإذا كان العمق المطلوب لصافي السعة متجاوزاً للاستنزاف عند وقت الري فإنه يكون من المطلوب وجود مزيد من الخطوط الفرعية على امتداد عرض الحقل. ولأغراض التصميم يتم حساب الاستنزاف كما يلي:

$$A_D = MAD R_D TAW \quad (١٦,٩)$$

حيث إن:

$$A_D = \text{الاستنزاف المسموح به، مم.}$$

$$MAD = \text{استنزاف الرطوبة المسموح به، كسر عشري.}$$

$$R_D = \text{عمق الجذور أثناء فترة أقصى استهلاك مائي، م.}$$

$$TAW = \text{المياه الكلية المتاحة لكل وحدة عمق من التربة، مم من المياه لكل}$$

عمق ١ م من التربة.

والقيم المثلثة للمعاملات في المعادلة رقم (١٦,٩) متاحة في الفصل الثالث وفي

الجدول رقم (١٦,٦). ولا بد أن يتوافق عمق الماء الصافي ضمن المدى التالي:

$$C_n T_i \leq d_n = \frac{3600 q_s T_s E_a}{S_L S_m} \leq A_D = MAD R_D TAW \quad (١٦,١٠)$$

حيث إن d_n عمق الإضافة الصافي (مم). ويمكن تعديل هذه المعادلة لتعطي أقصى

وأدنى حدود بالنسبة لزمن تشغيل كل مجموعة:

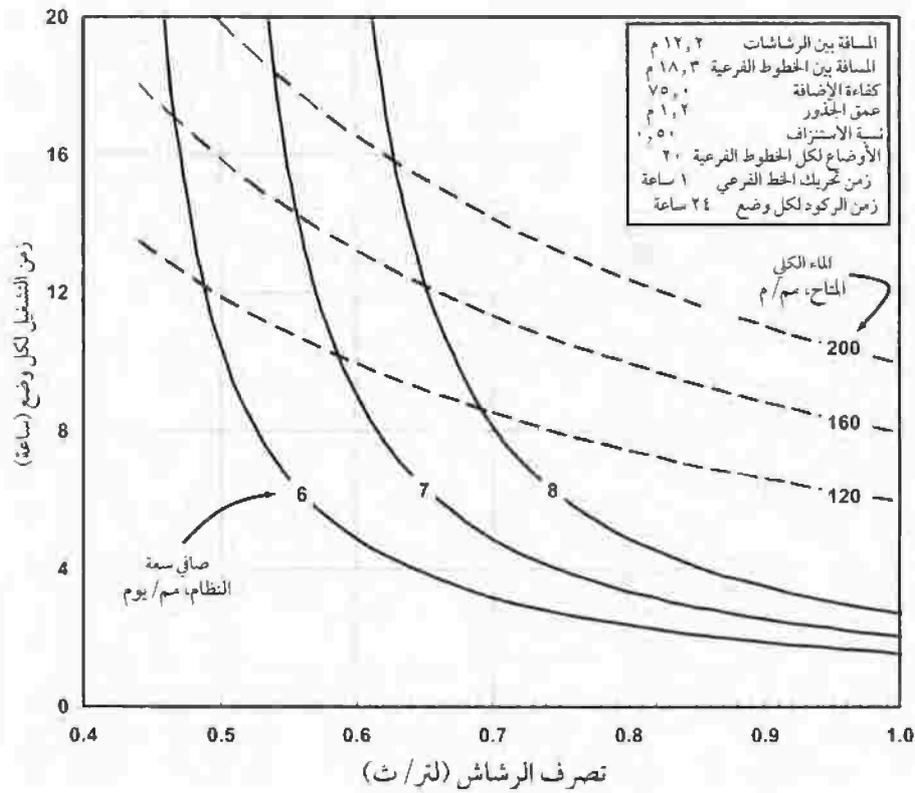
$$(١٦,١١) \quad \frac{n T_m + T_d}{86400 q_s E_a - n} \leq T_s \leq \frac{MAD R_D TAW S_L S_m}{3600 q_s E_a C_n S_L S_m}$$

وتوضح النتائج أن مقدرة التربة على الاحتفاظ بعمق الإضافة الصافي يعمل على توفير أقصى زمن مجموعة في حين يعمل الزمن المطلوب لتلبية صافي السعة على توفير أدنى زمن مجموعة (الشكل رقم (١٦,٥)). وبالنسبة للشروط بين الحدود فإنه يمكن غلق النظام لما يزيد على يوم واحد من زمن التوقف كما هو مستخدم في الشكل. وتوضح هذه النتائج أن كمية زمن التوقف يزداد بزيادة تصرف الرشاش. وإذا لم يكن هناك انحادات محتملة لعدد من الخطوط الفرعية على امتداد الحقل فإنه يجب زيادة العرض. وحيث إن معادلة زمن التشغيل تكون معقدة، فإنها توجز الاعتبارات المطلوبة لمساحة وتربة ما. ويتم تحليل المعادلة بسهولة باستخدام برنامج جدول العمل. ويتضمن الحل غالباً منهج المحاولة والخطأ.

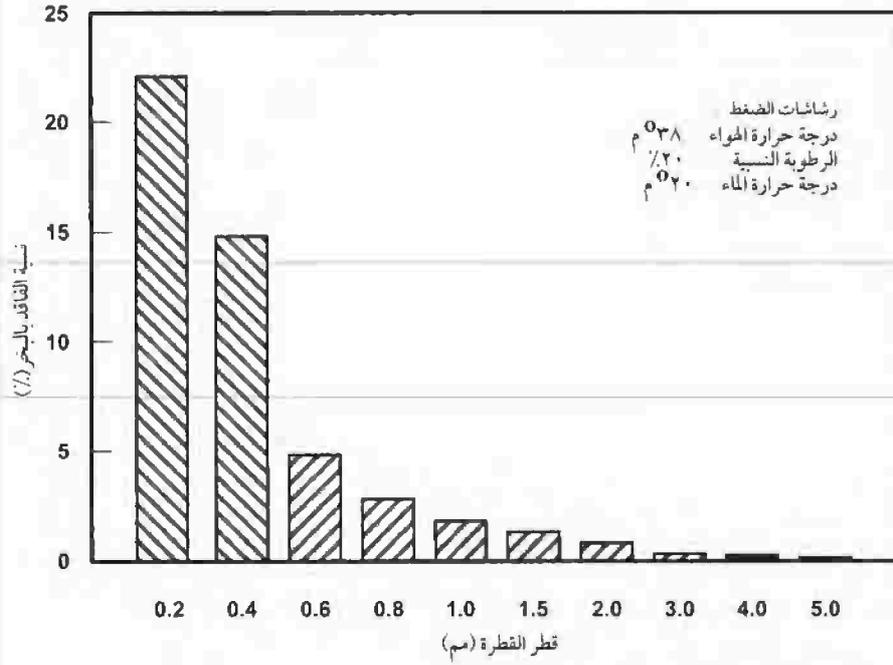
(١٦,٣,٦) توزيع حجم القطرة

يؤثر حجم قطرات الرشاش تأثيراً عميقاً على أداء نظام الري بالرش، وقد أظهرت التحليلات التي قام بها كل من إيدلنق (Edling 1985)، وكوهل وآخرين (Kohl et al. 1987)، وكينكيد ولونقلي (Kincaid and Longley 1989)، واثومسون وآخرين (Thompson et al. 1993) أن القطرات الصغيرة تتبخر أسرع من القطرات الكبيرة (الشكل رقم ١٦,٦). وغالباً ما يتم افتراض أن القطرات المنفردة لها شكل دائري. وبالتالي تُعطى مساحة السطح بالقانون (πd^2) في حين تُعطى كتلة القطرة بالقانون $(\pi p d^3 / 6)$ حيث d قطر القطرة و p كثافة المياه. ولذلك، فإن نسبة مساحة السطح إلى كتلة القطرة تتغير عكسياً مع قطر القطرة. ومن هنا، فإن جزءاً أكبر من المياه

في القطرة الصغيرة يكون معرضاً للغلاف الجوي مما يؤدي إلى معدلات تبخر أكبر نسبياً، ويجب أن تعمل الرشاشات التي تنتج قطرات كبيرة على تقليل الفقد بالبخر وسوف يتضح أنها تزيد من كفاءة الإضافة.



الشكل رقم (١٦,٥). علاقة الزمن المقبول للتشغيل بتصرف الرشاش عندما تكون احتياجات سعة المياه الصافية أقل زمن تشغيلي وعندما تعمل سعة الاحتفاظ بمياه التربة على تقييد أقصى زمن تشغيلي.



الشكل رقم (١٦,٦). توضيح لأثر حجم القطرة على نسبة معدلات البخر.

وأظهرت الأبحاث أيضاً أن القطرات الصغيرة تكون معرضة بشدة إلى الانجراف في أحوال اشتداد الرياح. وقوة السحب الناتجة من الفرق في السرعة بين القطرة والهواء تتناسب مع المنطقة المتوقعة للقطرة في الهواء. وتتناسب كمية الحركة مع كتلة القطرة. وبالتالي، تكون قوى السحب أكثر أهمية في حالة القطرات الصغيرة عن القطرات الكبيرة. ويسبب التأثير الكبير لقوى السحب إبطاء القطرات الصغيرة بشكل سريع في الهواء الساكن. وحيث إن كمية الحركة تمثل أهمية أكبر في حالة القطرات الكبيرة، إلا أن هذه القطرات الكبيرة تكون أقل تأثراً بقوى السحب وتبثاً بشكل أكثر بطئاً عن القطرات الصغيرة. وهذه العمليات تؤدي إلى تغير في أحجام القطرات مع المسافة من الرشاش. وفي

الهواء الساكن، تسقط القطرات الصغيرة عند مواضع أكثر قرباً من الرشاش بينما القطرات الأكبر تنتقل لمسافة أبعد. وفي ظروف اشتداد الرياح فإن قوة السحب الإضافية الناتجة من الرياح تقوم بنقل القطرات في اتجاه الريح. وهذه العملية تسمى بالبعثرة. ويمكن أن تعمل البعثرة على تقليل كفاءة الري عندما يتم إيداع المياه خارج الحقل. ومن الممكن أن تقل الانتظامية إذا ما أدت البعثرة إلى تشوه كبير في نمط الإضافة في حالة الفترات الطويلة.

تعمل كمية حركة القطرات الكبيرة على مقاومة البعثرة في ظروف اشتداد الرياح، ولكنها تؤثر بشكل سلبي على سطح التربة. وقد أظهر ليفاين (1952) Levine وآخرون أن طاقة التصادم الواردة من قطرات المياه والتي تؤدي إلى انهيار التربة تعمل على تكتل التربة وعلى تكوين طبقة غير منفذة على سطح التربة مما يقلل من التسرب ومن الممكن أن يؤدي إلى الجريان السطحي. وقد أظهر ليفاين (1952) Levine أن التربة الرملية كانت أقل تأثراً بضغط القطرة عن التربة ذات القوام الأكثر نعومة. ويمكن أن يتم التعبير عن طاقة الحركة للقطرة الساقطة بالقانون $\pi r^2 v^3 / 12$ حيث v تساوي سرعة القطرة.

وقام ستلمونكس وجيمس (1982) Stillmunkes and James بإيجاز بحث يوضح أن الطبقة غير المنفذة التي تسد السطح ترتبط بمقدار طاقة الحركة لكل وحدة مساحة عن التصادم وتراكم الطاقة عبر الزمن. وتزداد طاقة الحركة لكل وحدة مساحة مع قطر القطرة، ولكنها تصل إلى مرحلة استقرار نسبي عندما تكون طاقة الحركة لكل وحدة مساحة ثابتة تقريباً مع زيادة حجم القطرة. وقد تم عرض نتائج مماثلة من قبل كوهيل وآخرين (1985) Kohl et al. وتتناسب طاقة الحركة لكل وحدة مساحة مع قطر القطرة في الوقت الذي يكون فيه معامل السحب كما قام بعرضه سيجنر Seginer (1965) يتناسب عكسياً مع قطر القطرة. وهذه التداخلات توضح أن هناك اختلافاً بسيطاً نسبياً في سرعة القطرات عندما يتجاوز قطر القطرة ٢ أو ٣ مم (الشكل رقم ١٦,٧). وقد استنتج ستلمونكس وجايمس (1982) Stillmunkes and James أن طاقة الحركة لكل وحدة مساحة غير حساسة لحجم القطرة إذا كانت القطرات أكبر من ٣ مم وأن طاقة الحركة لكل وحدة مساحة تعتمد على معدل الإضافة وطول الفترة الزمنية

التي تضاف فيها المياه. والمعادلة المأخوذة من ستلمونكس وجيمس Stillmunkes and James (1982) بالنسبة لطاقة الحركة لكل وحدة مساحة هي:

$$(١٦,١٢) \quad \frac{K_e}{a} = \frac{\rho d v^2}{2} = \frac{\rho R T v^2}{2}$$

حيث إن:

K_e/a = طاقة الحركة لوحدة مساحة.

ρ = كثافة الماء.

d = عمق الماء المضاف.

v = سرعة القطرة.

R = متوسط معدل الإضافة.

T = زمن التعرض.

واستخدم فون بيرنوث وجيلي (1985) von Bemuth and Gilley بيانات من مصادر متعددة من قبل لتقدير معدل التسرب النسبي لأنواع التربة الجرداء مقارنة بأنواع التربة المحمية بطبقة من التبن أو بغطاء من المحصول (I_r):

$$(١٦,١٣) \quad I_r = 1 - 0.0354 d_{50}^{0.683} v^{1.271} S_a^{-0.353} S_i^{0.237}$$

حيث إن:

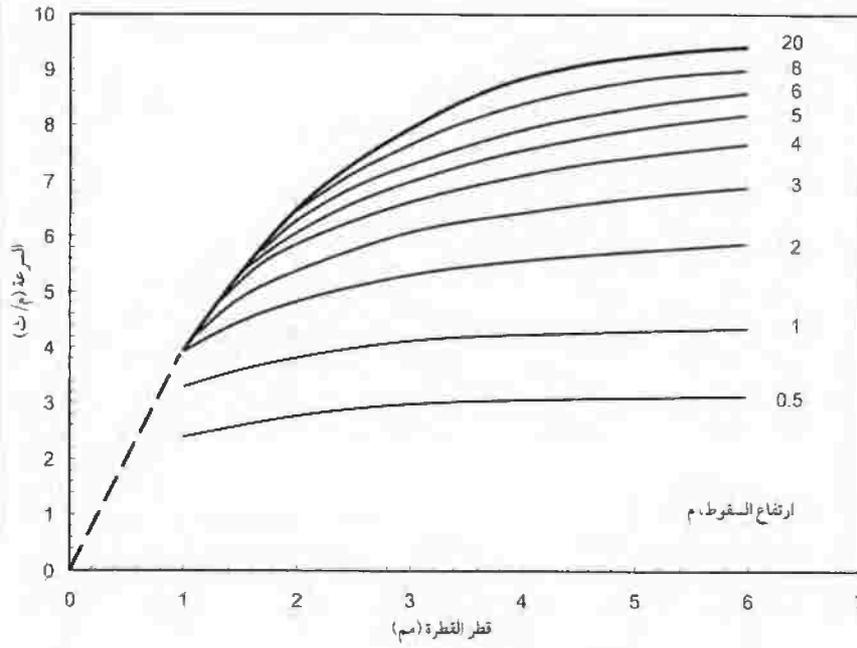
I_r = معدل التسرب النسبي للتربة الجرداء بالنسبة للتربة المحمية، كسر عشري.

d_{50} = القطر المتوسط للقطرة، مم.

v = سرعة سقوط القطرة المتوسطة الحجم، م/ث.

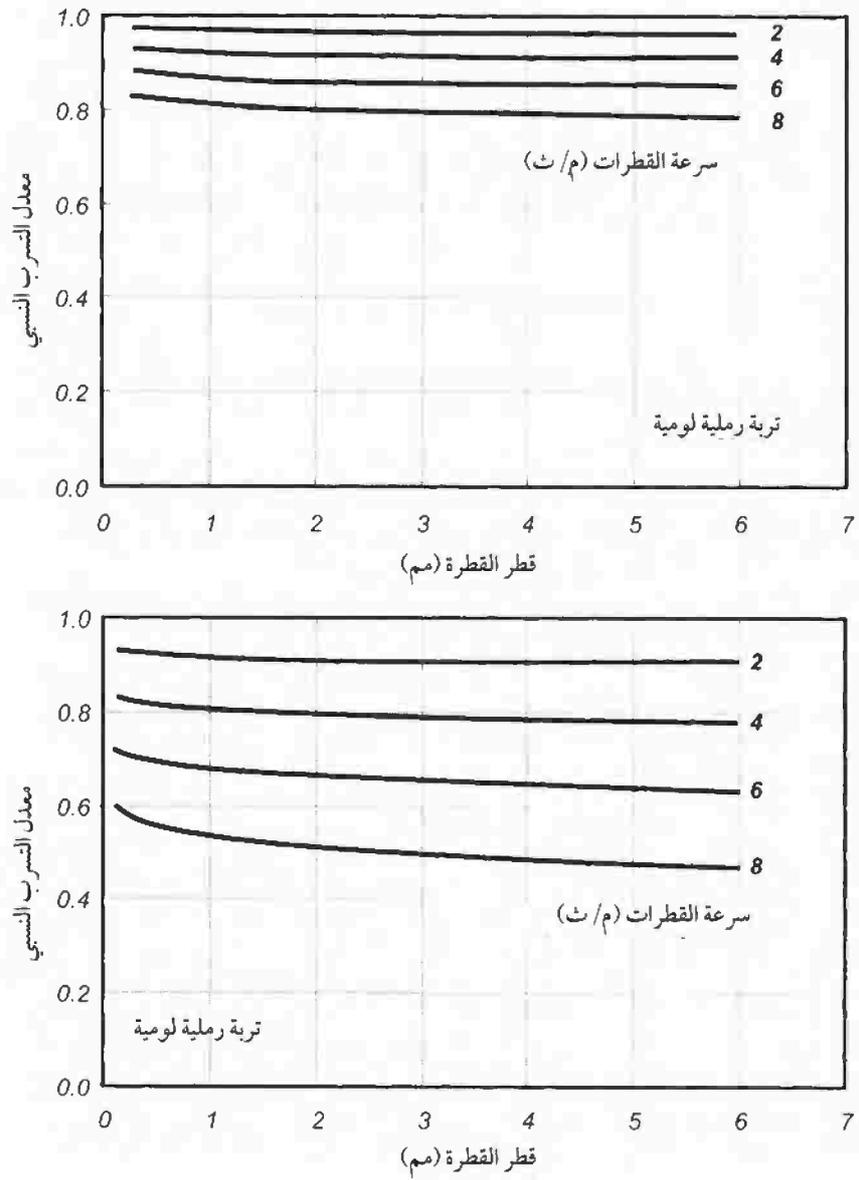
S_a = نسبة الرمل في التربة، %.

S_i = نسبة الطمي في التربة، %.



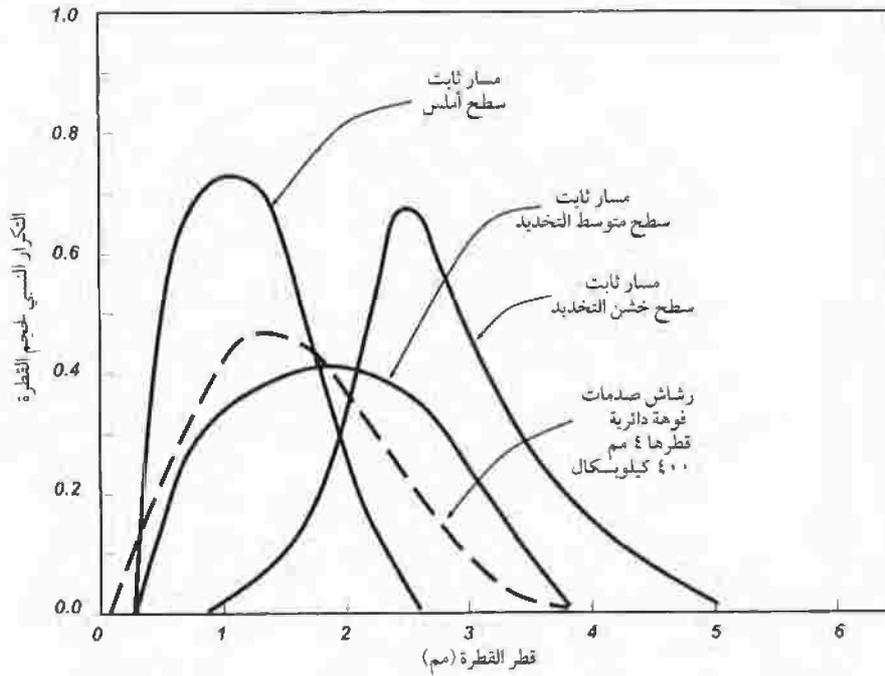
الشكل رقم (١٦,٧). تأثير حجم القطرة وارتفاع السقوط على سرعة القطرات (مقتبس من Stillmunkes and James, 1982).

ويوضح الشكل رقم (١٦,٨) تأثير حجم القطرة والسرعة على التسرب، وفي الوقت الذي يكون فيه تبخر وتبعثر القطرات الصغيرة كبيراً، فإن الحجم النسبي للمياه في مدى معين من حجم محدد لا بد من أخذه في الاعتبار. فعلى سبيل المثال، تبلغ كتلة المياه في قطرة قطرها ٥ مم حوالي ١٠٠٠ مرة من الحجم الموجود في قطرة قطرها ٠,٥ مم. ولا بد من أخذ توزيع حجم القطرة في الاعتبار لتحديد ما إذا كان يمكن أن تكون الفواقد كبيرة.



الشكل رقم (٨، ١٦). تأثير طاقة تصادم القطرة على معدلات التسرب.

وأدى هذا إلى ابتكار طرق لتحديد توزيع حجم القطرات من أجهزة الرش التي تعمل عند ضغوط مختلفة وارتفاعات مختلفة. وقد تم استخدام عديد من الطرق لقياس حجم قطرات المياه (انظر Solomon and Bezdek, 1980، و Eigel and Moore, 1983، و Kohl and DeBoer, 1984، و Dadio and Wlender, 1985 للاطلاع على أوصاف التقنيات المتنوعة). والشكل رقم (١٦،٩) يوضح أمثلة على توزيع أحجام القطرات. وقد قام بزديك وسلومون (Bezdek and Solomon (1983 بتحليل وظائف ميكانيكية متنوعة لوصف توزيع أحجام القطرات. وقد استنتج أن التوزيع اللوغاريتمي للحد العلوي كان كافياً لمجموعات البيانات التجريبية الكثيرة. ومن عيوب هذا التوزيع هو أن الحل يصعب استنتاجه من البيانات التجريبية.



الشكل رقم (١٦،٩). أمثلة على توزيع حجم القطرة في حالة وجود الرشاش على مسار ثابت مع ثلاثة أنواع من الأسطح ورشاش الضغط مع فوهة ذات شكل أسطواني مستقيم.

وحتى وقت قريب، كانت القيود على اعتبار توزيع أحجام القطرات في التصميم ناتجة من ندرة البيانات التجريبية للرشاشات شائعة الاستخدام. وطور كينكيد وآخرون (Kincaid *et al.* (1996) طرقاً لتقدير توزيع أحجام القطرات الناتجة من أربعة عشر جهاز رش. وقد قاموا بتحليل أربعة نماذج للرشاشات التصادمية التي كانت مجهزة بفوهة أسطوانية مستقيمة، ووحدة تحكم في التدفق، أو فوهات مربعة. وقد قاموا أيضاً باختبار عشرة رشاشات تعمل بالضاغط مجهزة بنفائات تصطدم بألواح ثابتة أو متحركة. وقد تم استخدام نموذج أسّي لتوزيع حجم القطرات. وقد أوضح لي وآخرون (Li *et al.* (1994) أن النموذج الأسّي كان مقارناً بدقة نموذج اللوغاريتم حتى الحد العلوي ولكنه أكثر سهولة بكثير في الاستخدام. ويُعطى نموذج التوزيع الأسّي بالمعادلة:

$$(١٦,١٤) \quad P_v = 100 \left\{ 1 - \exp \left[-0.693 \left(\frac{d}{d_{50}} \right)^\eta \right] \right\}$$

حيث إن:

P_v = نسبة القطرات الكلية الأصغر من d .

d = قطر القطرة، مم.

d_{50} = حجم متوسط قطر القطرة، مم.

η = أس لابعدي.

وتم وضع بيانات عن d_{50} و η لكل فوهة ورشاش متحدين معاً خلال مدى من ضغوط التشغيل وأحجام الفوهات، ويمثل النموذج الأسّي على نحو دقيق توزيع حجم القطرة للقطرات الأكبر من ٣ مم والنسبة المئوية لأحجام القطرات الأصغر. وقام كينكيد وآخرون (Kincaid *et al.* (1996) بإجراء تجربة لتقدير القيم المطلوبة للنموذج الأسّي. وتستخدم هذه التجربة القطر الفعال للفوهة وضغط الفوهة. وقد أظهر الباحثون أن نسبة قطر الفوهة إلى ضاغط الضغط عند الفوهة من الممكن

استخدامها لوصف حجم القطرة متوسطة القطر والمعامل العملي η . وتلك العلاقات التي قاموا بوضعها تُعطى بالعلاقة:

$$(١٦,١٥) \quad d_{50} = a_d + b_d \Omega \quad , \quad \eta = a_n + b_n \Omega$$

حيث إن:

Ω = نسبة قطر الفوهة إلى الضغط عند قاعدة الرشاش.

a_d, b_d, a_n, b_n = معاملات الانحسار.

وتم تصنيف النتائج إلى سبع فئات كما هو مذكور في الجدول رقم (١٦,٧)، وتوفر هذه النتائج طريقة أكثر عمومية لتقدير الآثار المترتبة على تصميم وتشغيل نظم الري على حجم القطرة الناتج.

الجدول رقم (١٦,٧). معاملات تقدير قيم توزيع حجم القطرة.

b_n	a_n	b_d	a_d	نوع الرشاش
				رشاش الصدمات
١٥٠٠-	٢,٠٤	١١٩٠٠	٠,٣١	فوهة مستديرة صغيرة (٣-٦مم)
٣٠٠	١,٨٢	٢٤٠٠	١,٣٠	فوهة مستديرة كبيرة (٩-١٥مم)
٦٣٠-	٢,٠٨	١٨٧٠	٠,٧٨	المتذبذب
٨٣٠-	١,٧٠	٣٢٣٠	١,٠٧	الدوار، ٤ قنوات (أخاديد)
١٣٠٠-	٢,٠٧	١٤٨٠	٠,٨١	الدوار، ٦ قنوات (أخاديد)
٧٥٠-	٢,٦٨	٦٢٠	٠,٨٢	مقعر، ٣٠ قناة مسطحة
٩٢٠-	٢,٧٤	٦٨٠	٠,٦٦	لوح أملس مسطح

وعرض كينكيد (Kincaid 1996) بيانات حول طاقة حركة القطرات المرشوشة،

وتم إيجاد العلاقات للتنبؤ بطاقة الحركة لكل وحدة كتلة بناءً على نسبة قطر الفوهة إلى ضاغط الضغط:

$$(١٦,١٦) \quad E_k = e_0 + e_1 \left(\frac{N_d^{e_2}}{H_n^{e_3}} \right) + U^{1.5}$$

حيث إن:

E_k = طاقة الحركة ، ك.جول/كجم.

N_d = قطر الفوهة ، مم.

H_n = ضاغط ضغط الفوهة ، م.

U = سرعة الرياح ، م/ث.

e_0, e_1, e_2, e_3 = ثوابت السحب.

ويوجد الجدول رقم (١٦,٨) قيم ثوابت السحب. وقام كينكايد Kincaid (1996) يربط طاقة الحركة بالمتوسط الحجمي لحجم القطرة والنسبة المثوية للقطرات التي يتجاوز قطرها ٣ مم:

$$(١٦,١٧) \quad E_k = 2.79 + 7.2d_{50} \quad , \quad E_k = 10.41 + 0.249P_3$$

حيث إن:

P_3 = النسبة المثوية للقطرات التي يكون قطرها أصغر من ٣ مم.

ولسرعة الرياح تأثير كبير على طاقة الحركة ، وتزداد الطاقة لكل وحدة كتلة خمسة أضعاف في حالة وصول السرعة إلى ١٠ م/ث مقارنة بالهواء الساكن. وقد أوضح مودلنهاور وكمبر (1969) Moldenhauer and Kemper أن معدل التسرب ينخفض بنسبة واحدة عندما تتجاوز طاقة القطرة المتراكمة لكل وحدة مساحة ٥٠٠ جول/م^٢. والرشاشات التي تنتج قطرات صغيرة بطاقة قدرها ٥ جول/كجم من الممكن أن تضيف كمية قدرها ١٠٠ مم قبل حدوث النقص. وبالنسبة للرشاشات التي

تنتج قطرات كبيرة من المياه مع طاقة قدرها ٢٠ جول/كجم فإنه سوف يتم الوصول إلى النقطة الخارجة مع الوصول إلى إضافة من المياه مقدارها ٢٥ مم. وهذه النتائج تسمح للمصممين بتقييم مشكلات الجريان السطحي المحتملة للأنواع المختلفة من الرشاشات. ومن الممكن تطبيق المفاهيم التي تم عرضها حتى هذه النقطة على تصميم نظم الري بالرش.

الجدول رقم (١٦,٨). معاملات تقدير الطاقة من أجهزة الرش.

نوع الرشاش	e_0	e_1	e_2	e_3
صدعات ، ذو فوهة مستديرة كبيرة	١٤,١	٤٥,١	٠,٥	١,٠
صدعات ، ذو فوهة مستديرة صغيرة	٦,٩	١٣,٢	٠,٥	١,٠
الدوار ، لوحة ٤ قنوات (أحاديد)	١٢,١	٥٠,٧	٠,٥	١,٠
الدوار ، لوحة ٦ قنوات (أحاديد)	٨,٩	٣٨,٠	٠,٥	١,٠
المفازل ، لوحة ٦ قنوات (أحاديد)	٦,٩	٣٦,٩	٠,٥	١,٠
المخاض فوهة البعثة (LDN)	١٠,٤	٠,٥٧	٠,٥	٠,٥
لوحة متوسطة ثابتة الأخدود	٦,٢	٠,٤٥	٢	٠,٥
لوحة ملساء ثابتة الأخدود	٥,٤	٠,٤٠	٢	٠,٥

(١٦,٣,٧) موضع الرشاش

لابد من وضع الرشاشات في الوضع الصحيح وبمحاذاة ، وفي بعض الأحيان لا يتم وضع الرشاشات على ارتفاع عالٍ ولكن بدرجة كافية لتوفير مسار غير معاق لنفث الرشاش. ويعمل الغطاء النباتي الذي يتداخل مع نفث المياه على تقليل قطر التغطية ويؤدي إلى توزيع سيء للمياه. وفي حالة المحاصيل الصفية ، لابد أن يكون الرشاش على الأقل على ارتفاع ٠,٥ م فوق أطول محصول ناضج سوف يتم ريه. وبالنسبة لمحاصيل بساتين الفاكهة لابد من وضع الرشاش في موضع يعمل على توفير منطقة تربة مبللة بدون التسبب في تدهور جودة الفاكهة من خلال بلل الأوراق والفاكهة. وإذا كان

سيتم استخدام الرشاش للتحكم في الصقيع ، فلا بد من وضع الرشاشات عل ارتفاع عالٍ بدرجة كافية لإمداد غطاء من مظلة المحصول. وعلى نظم الري المحورية ونظم الحركة المستقيمة (النظام السيار) فمن الممكن وضع الرشاشات أسفل الخط الفرعي ، ولا بد من وضع الرشاشات بحيث ألا يؤثر مسار التيار المائي على المكونات الهيكلية للآلة. وإذا تم وضع الرشاشات أسفل قمة مظلة المحصول ، فلا بد من وضعها قريبة بدرجة كافية على امتداد خط الأنابيب لإمداد المياه بكميات متساوية من المياه. ويتطلب هذا في الغالب أن يتم وضع رشاشات بديلة فوق الخطوط.

وتعد المحاذاة الرأسية لحامل الرشاش عاملاً مهماً أيضاً. وأوضح ندريتو وهيلز (1993) أن قطر التغطية يقل إذا كان حامل الرشاش في وضع رأسي. وقد أوضحنا أن قطاعات نزول المطر كانت تقريباً نفسها عندما كان حامل الرشاش موضوعاً بزاوية قدرها ١٠° مع الرأسي. ولكن ، تقل انتظامية الإضافة عندما يتم وضع حامل الرشاش بزاوية قدرها ٢٠°. والرشاشات التي تكون حواملها مدعمة بأداة تثبيت تنتج انتظامية أعلى من الحوامل غير المدعمة.

(١٦,٤) انتظامية الإضافة

(١٦,٤,١) التوزيع أحادي الجهة

تعتمد انتظامية الإضافة من نظام الرش على توزيع المياه من الأجهزة الفردية. ويتم قياس الانتظامية باستخدام أوعية التجميع التي يتم وضعها حول جهاز الرش كما هو موضح في الشكل رقم (١٦,١٠)، حيث يتم تشغيل جهاز الرش لوقت طويل بدرجة كافية لقياس عمق المياه المضافة على مسافات من جهاز الرش. ويجب أن تكون أوعية القياس كبيرة وعميقة بدرجة كافية لتوفير عملية قياس دقيقة (Kohl, 1972). وقد أوضح فيشر وولاندر (1988) Fisher and Wallender أن دقة القياس كانت مرتبطة بشكل مباشر بقطر أوعية التجميع. وإذا كان يتم استخدام الأوعية في حقل

مفتوح ، فلا بد من تقدير البخر. وهناك العديد من الطرق المتاحة والتي تشمل استخدام الزيت في الأوعية للحد من البخر (انظر Heermann and Kohl, 1980). وإذا كان نظام الري سيعمل أحياناً في ظروف هادئة وأخرى في ظروف رياح شديدة ، فمن الأفضل القيام بقياس التوزيع تحت كلا الحالتين.

ويكون لنمط توزيع المياه حول الرشاش المفرد شكل التوزيع أحادي الجهة. وأكثر المعادلات شيوعاً في الاستخدام تكون للتوزيع المثلي والبيضاوي (الشكل رقم ١٠، ١٦). ومعادلات التوزيع تُعطى بالمعادلات:

$$d(r) = \frac{3q_s T_0}{\pi W_r^3} (W_r - r) \quad \text{في حالة شكل التوزيع المثلي}$$

(١٦،٨)

$$d(r) = \frac{3q_s T_0}{2\pi W_r^3} \sqrt{W_r^2 - r^2} \quad \text{في حالة شكل التوزيع البيضاوي}$$

حيث إن:

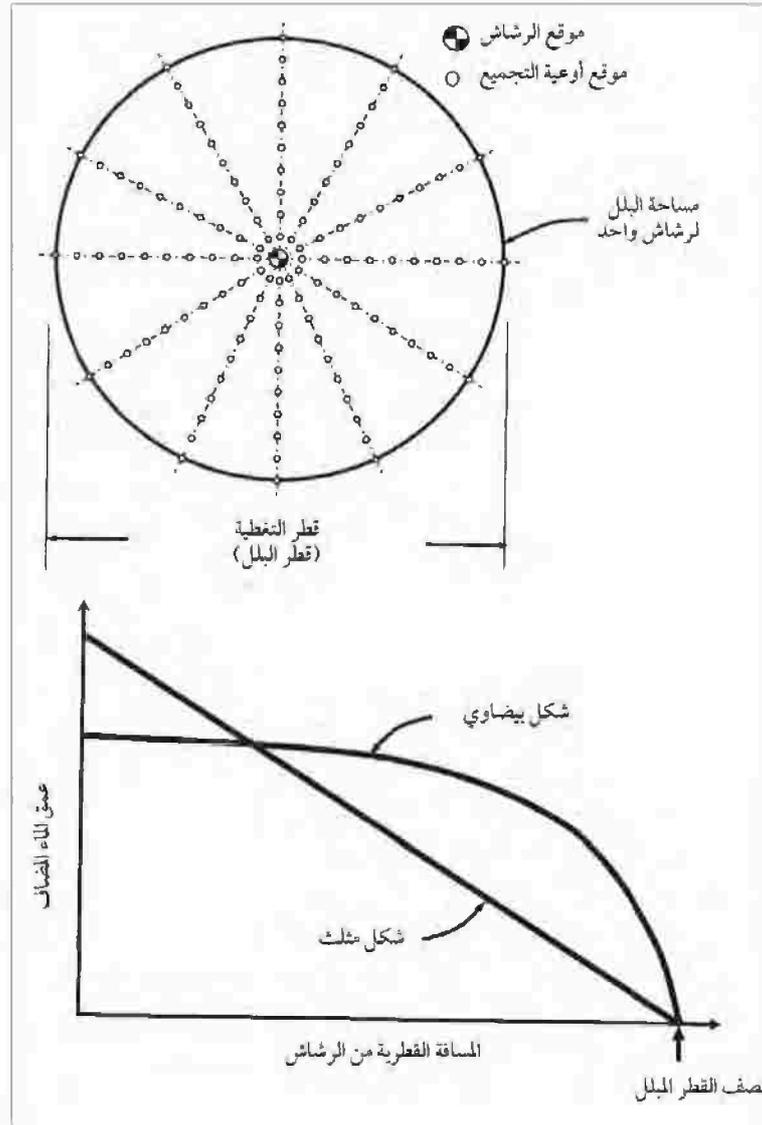
$$d(r) = \text{عمق المياه المضافة عند مسافة قطرية } r \text{ من الرشاش.}$$

$$W_r = \text{نصف قطر التغطية أو نصف القطر المبلل من الرشاش.}$$

$$T_0 = \text{مدة تشغيل الرشاش}$$

(١٦، ٤، ٢) التداخل (الخطوط الفرعية الثابتة)

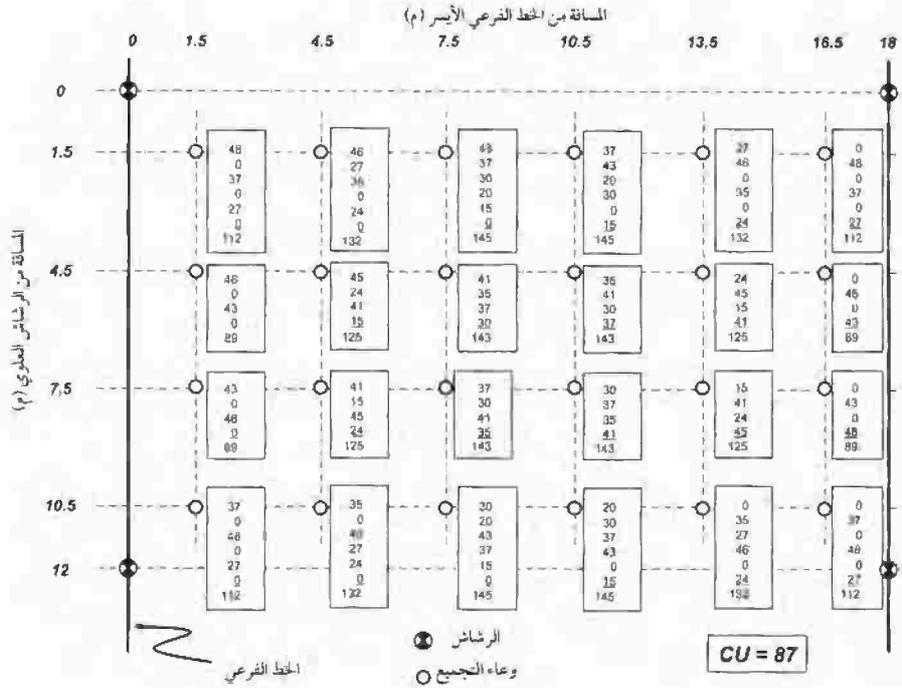
لا بد أن تقوم عدة رشاشات بإضافة المياه إلى موقع في الحقل لتحقيق انتظامية إضافة مقبولة. ويمكن تقدير العمق الكلي للإضافة عن طريق عمق التداخل الذي يتم حسابه من التوزيع أحادي الجهة في حالة الرشاش المفرد. وهناك مثال لهذا الإجراء في الشكل رقم (١٦، ١١).



الشكل رقم (١٦,١٠). الترتيب لقياس توزيع المياه لرشاش أحادي الجهة. أشكال التوزيع الإهليلجي والمثلث للتوزيع أحادي الجهة.

ويستند هذا المثال على رشاش الصدمات الذي يكون له فوهة بحجم $3,18 \times 4,76$ مم والتي تعمل تحت ضغط 350 كيلوسكال والمذكور في الجدول رقم (١٦،٤). وقد تم افتراض توزيع بيضاوي الشكل وزمن ري قدره 10 ساعات في هذا المثال. وتنتج هذه الظروف التوزيع أحادي الجهة الذي يُعطى بـ: $d(r) = 3\sqrt{16^2 - r^2}$. ومن المفترض أن يقوم توزيع أوعية التجميع بحساب الانتظامية. وفي هذه الحالة يتم وضع الأوعية مكونة شبكة مكونة من 3×3 م. ويتم وضع الوعاء الأول على الشبكة على بعد منتصف المسافة بين الرشاشات. وحساب عمق المياه المضافة عند كل وعاء فإنه يتم حساب المسافة نصف القطرية من جهاز الرش إلى الوعاء (r) من العلاقة: $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ حيث x المسافات الأفقية من الخطوط الفرعية و y المسافة الرأسية إلى الرشاش. وأولى أربع قيم لكل وعاء في الشكل رقم (١٦،١١) يتم ترتيبها عن طريق الرش الناتج من الرشاش بدءاً من الرش في أعلى يساراً ويستمر للرش أسفل اليمين. والصفوف العليا والسفلى من الأوعية تستقبل المياه من الرشاشات التي توجد أمام وخلف السريان والغير موضحة في الشكل. والصف الخامس والصف السادس من البيانات الموضحة في الشكل تمثل مساهمة هذه الرشاشات. والعمق الكلي من المياه المضافة موضح عند آخر قيمة في عمود كل وعاء. وبالنسبة لهذا المثال كان أقصى عمق كلي مضاف هو 145 مم بينما كان أدنى عمق كلي مضاف هو 89 مم، وتم حساب معامل الانتظامية فكان 87 باستخدام الخطوات المذكورة في الفصل الرابع.

ويعمل التداخل على توفير الوسائل لتقييم المسافات بين الرشاشات في تصميم النظم الفرعية المتقلة ونظم الوضع الثابت. وتكون بيانات التوزيع المتوفرة من كتيبات المصنعين أو من منظمات الاختبار لكثير من أجهزة الرش. وهناك بيانات فعلية من اختبار أحادي الجهة تم إجراؤه في حالة ظروف الرياح العادية يوفر بيانات أكثر تمثيلاً لتقييم الانتظامية. ويمكن كذلك حساب تأثير تطبيقات التداخل بالنسبة للنظم المتقلة. ويعد هذا الإجراء إلى حد ما أكثر تطبيقاً وسيتم مناقشتها في الجزء اللاحق بالنسبة لتلك النظم.

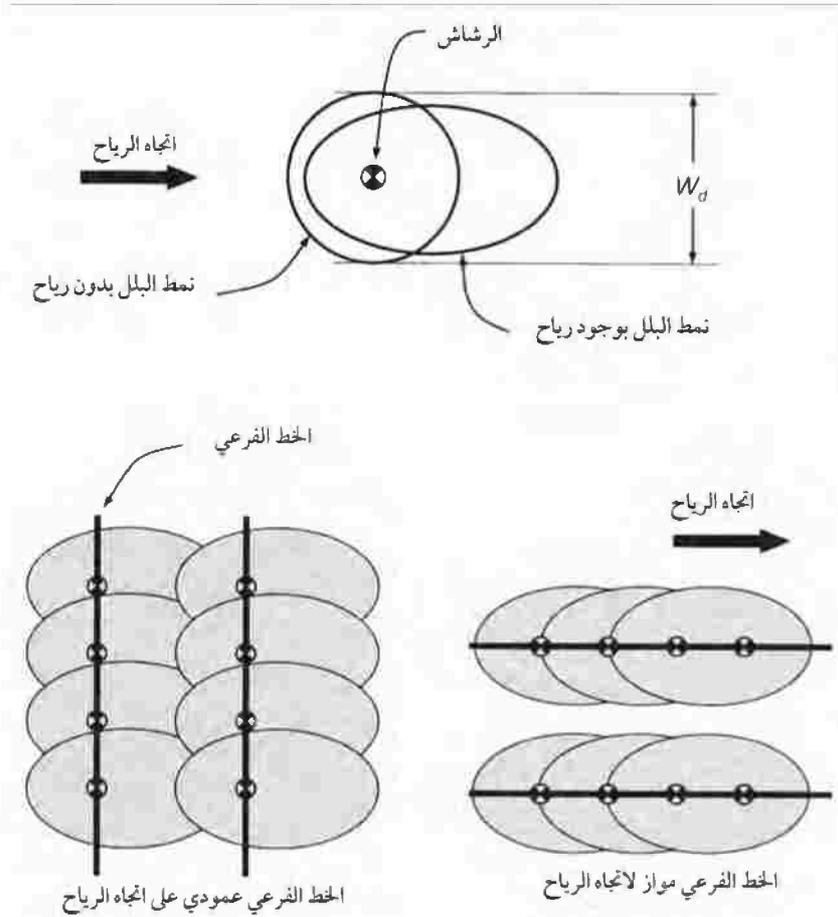


الشكل رقم (١٦، ١١). توزيع المياه من تداخل التوزيع أحادي الجهة لكل رشاش عند كل وعاء.

(١٦، ٤، ٣) تأثير الرياح

إن للرياح تأثيراً واضحاً على توزيع المياه من الرشاشات. وقد أوضحت أعمال كل من كريستيانسن (1942) Christiansen، وفوريس وفون برنيس Vories and von Bernuth (1986)، وسيجنر وآخرين Seginer et al., (1991a) كيف يتم تشويبه نمط الإضافة لرشاش مفرد في ظل الرياح. وتتجلى الآثار العامة للرياح في الشكل رقم (١٦، ١٢). ويتم نقل نمط الإضافة لأسفل كما هو متوقع، ولكن، يقل قطر التغطية العمودي على الرياح. وإن تضيق نمط الإضافة العمودي على الرياح له أثر على تخطيط الخطوط الفرعية لأجهزة الرش. وكما هو موضح فإن تضيق قطر التغطية يمكن

أن يؤدي إلى انتظامية ضعيفة إذا لم تكن الخطوط الفرعية موضوعة قريبة من بعضها البعض عندما تكون الرياح موازية للخطوط الفرعية. وللتعويض عن القطر الصغير للغطية، لابد من وضع الرشاشات قريبة من بعضها البعض في الاتجاه العمودي.



الشكل رقم (١٦, ١٢). تأثير الرياح على توزيع جهاز الرش وانتظامية توزيع المياه الناتجة. لاحظ أن توجيه الخطوط الفرعية بحيث تكون عمودية على اتجاه الرياح السائد يعد بشكل عام الترتيب الأكثر اقتصاداً.

ومن الأكثر اقتصاداً أن يتم وضع الرشاشات قريبة من بعضها البعض على امتداد الخط الفرعي بدلاً من جعل الخطوط الفرعية قريبة من بعضها البعض. ومن هنا فإن النصيحة العامة هي توجيه الخطوط الفرعية بحيث تكون عمودية على الرياح السائدة وأن يتم وضع الرشاشات قريبة من بعضها البعض على امتداد الخط الفرعي بدلاً من جعل الخطوط الفرعية هي المتقاربة. وقد تم وضع خطوط إرشادية عامة لأقصى مسافة بين الخطوط الفرعية للحفاظ على انتظاميات مقبولة (الجدول رقم ٩، ١٦).

الجدول رقم (٩، ١٦). أقصى مسافة بين الرشاشات وبين الخطوط الفرعية كنسبة مئوية من قطر البلس الفعال للرشاش التي تعمل عند ضغط متوسط على امتداد الخط الفرعي.

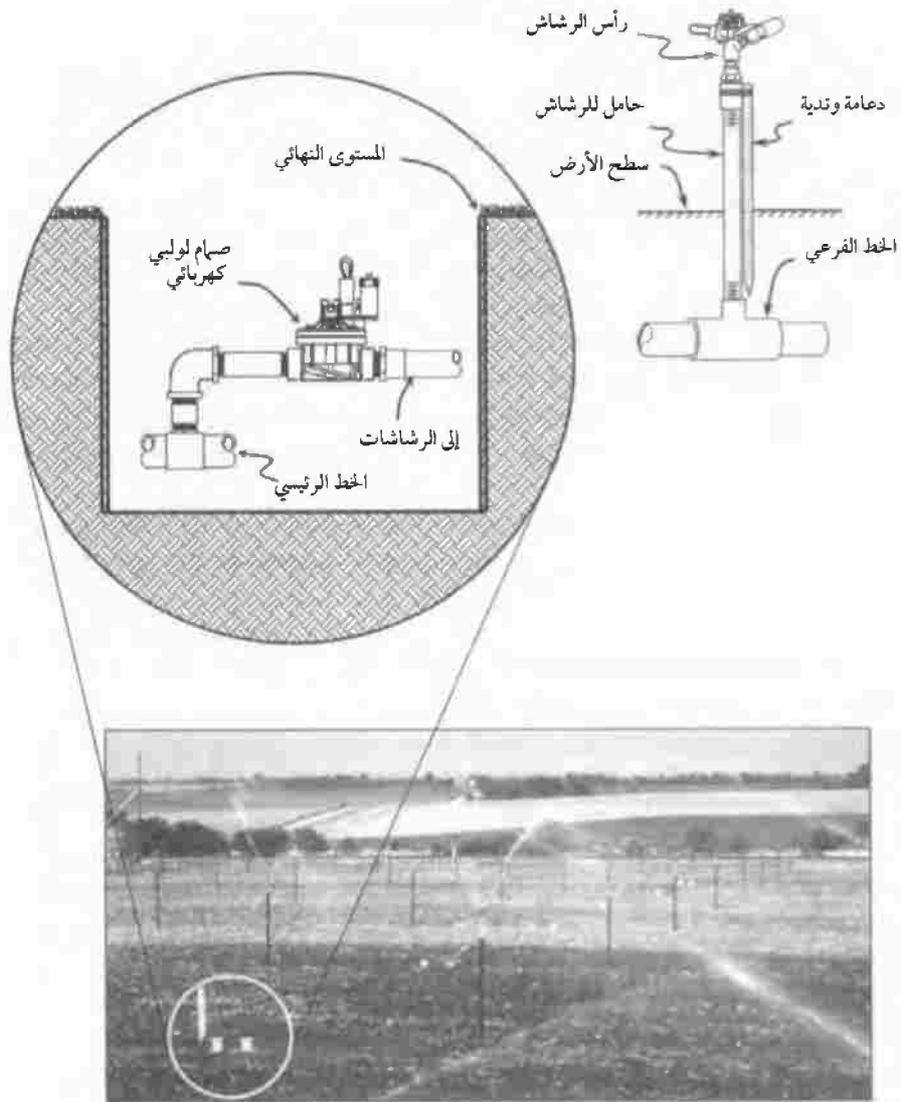
ظروف الرياح	المسافة بين الرشاشات	المسافة بين الخطوط الفرعية
عدم وجود رياح	٤٥	٪٦٥
رياح بسرعة حتى ٨ كم/ساعة	٤٠	٪٦٠
رياح بسرعة ٨-١٦ كم/ساعة	٣٥	٪٥٠
رياح بسرعة أكبر من ١٦ كم/ساعة	٣٠	٪٣٠

وتم وضع نماذج رياضية للتنبؤ بتوزيع المياه حول الرشاش (Vories *et al.*, 1987). وتعامل النماذج قطرات المياه على أنها أشياء بلاستيكية، ومعادلة الحركة التي تشمل آثار الجاذبية والسحب على قطرات المياه سيتم حلها. ويسبب السحب الزائد الناتج من السرعات العالية للرياح في أن تتحرك قطرات المياه لأسفل الرياح. وقد أوضح سيقنر وآخرون (Seginer *et al.*, 1991 b) أنه من الممكن محاكاة التوزيع إذا كان معامل السحب موصوفاً بشكل كاف. وقد كانت الصياغة التي استخدموها لمعامل السحب حساسة لنوع الرشاش المستخدم. ويتطلب الضبط لمعامل السحب القيام بقياسات خارج المختبر (في الهواء الطلق) للحصول على دقة مقبولة. وقد كان معامل الانتظامية حساساً تماماً لعملية الضبط التي تم القيام بها لمعامل السحب.

وطور هان وآخرون (Han *et al.* (1994) نموذجاً رياضياً لتأثيرات الرياح على نمط التوزيع أحادي الجهة. وقاموا باستخدام قطع ناقص لوصف تأثير الرياح على الشكل الأفقي لنمط التوزيع وشكل أنماط التوزيع عبر أربعة قطاعات رئيسة لتوقع عمق الإضافة. وقاموا أيضاً بإجراء اختبارات لمجموعات عديدة من الرشاشات، وأنواع الفوهات، وضغوط التشغيل، وسرعات الرياح. وفي حين أن نموذجهم يعد تجريبياً أكثر من العمل الذي قام به سيجنر وآخرون (Seginer *et al.* (1991 b) إلا أنه يقدم وسائل لتوقع نمط التوزيع ثلاثي الأبعاد للمياه حول الرشاش في ظل ظروف اشتداد الرياح.

(١٦,٥) نظم الوضع الثابت

إحدى طرق تقليل العمالة وجعل نظام الري بالرش آلياً تكون من خلال التركيب الدائم (الثابت)، أو على مدى موسم واحد، للخطوط الفرعية على مسافات بينية متساوية عبر الحقل. وهذا النوع من النظام يُسمى بنظام الوضع الثابت (الشكل رقم ١٦,١٣). وتتكيف نظم الوضع الثابت مع مدى واسع من أنواع التربة، والمحاصيل، والتضاريس، وأشكال الحقول. ولكونها مرتفعة التكلفة نسبياً، فإنه يتم استخدامها عادةً للمحاصيل عالية القيمة (بساتين الفاكهة، والمروج، وإنبات الشتلات) لتوفير العمالة وللتحكم البيئي. ويمكن أن تكون نظم الوضع الثابت مؤقتة أو دائمة. وتقوم النظم المؤقتة باستخدام الخطوط الفرعية المصنوعة من الألمونيوم أو البلاستيك فوق سطح الأرض والتي توضع في الحقل عند بداية الموسم، ويتم تركها في مكانها حتى الانتهاء من عملية الري ثم يتم إزالتها قبل الحصاد. وتقوم النظم الدائمة باستخدام الأنابيب البلاستيك المدفونة، أو أنابيب الأسمنت الأسبستوس، أو أنابيب الحديد الصلب المغطاة للخطوط الرئيسية والخطوط الفرعية مع وجود الصمامات أو منافذها فوق سطح الأرض.



الشكل رقم (١٦, ١٣). رسم تخطيطي لنظام الري بالرش باستخدام نظام الوضع الثابت.

وتسمح أجهزة التحكم بالمرونة الكاملة في تشغيل نظم الوضع الثابت. وتعد أجهزة التحكم المتطورة للنظم الثابتة متاحة للتحكم الطبيعي في فتح الصمامات ذات الغشاء الحاجز التي توجد على خطوط الرشاشات الفرعية. وهناك نوعان من أجهزة التحكم يُشاع استخدامها. بالنسبة للنوع الأول، يتم استخدام ملفات كهربية منخفضة الجهد (٢٤ فولتاً) كصمامات مرشدة للتحكم في ضغط المياه الداخلة إلى الغشاء الحاجز. وتقوم الطريقة الثانية باستخدام النظام الهيدروليكي مع وجود أنابيب صغيرة لإمداد الهواء أو ضغط المياه بشكل مباشر إلى الغشاء الحاجز لفتح الصمام. ويتم تصميم نظم الوضع الثابت في الغالب مع وجود صمام للتحكم عند المدخل إلى الخط الفرعي. وتكون الصمامات في الحالة العادية مغلقة ويتم فتحها من خلال إحداث إثارة كهربية لمدة طويلة من الزمن التي يتم خلالها إمداد المياه. ويسمح هذا بأن يعمل كل خط فرعي بشكل مستقل. ويتم استخدام جهاز التحكم لتحديد مدة تشغيل كل خط فرعي. وعندما يتم تشغيل العديد من الخطوط الفرعية في وقت واحد، فإن هذا الجمع يسمى دائرة أو منطقة. وتقوم نظم الوضع الثابت بتوفير سبل تحكم ممتازة في كمية المياه التي يتم إضافتها. وهناك إيجاز لبعض خصائص نظم الوضع الثابت في الجدول رقم (١٦،١).

تشمل عيوب نظم الوضع الثابت ما يلي:

- التكلفة العالية للتركيب والصيانة - ويكون هناك مزيد من الخطوط الجانبية المطلوبة أكثر لأجل النظام المتحرك بشكل دوري، والذي يعمل على زيادة التكاليف بشكل جوهري. وتعمل الصمامات الإلكترونية وأجهزة التحكم أيضاً على زيادة التكاليف. وتزداد التكاليف بشكل كبير عندما تكون الخطوط الرئيسة، والخطوط الفرعية مدفونة. وتتطلب كل الأجزاء العاملة القيام بالصيانة كي تعمل بصورة صحيحة.
- عدم المرونة الناتجة عن تركيب النظام في مواقع بعينها في الحقل - وإذا تغيرت ممارسات الإنتاج، مثل التغيير في اتساع التنفيذ أو المسافة بين الصفوف، يكون من الصعب تعديل تخطيط نظام الوضع الثابت لتسهيل ممارسات الإدارة الجديدة.

• عدم الملاءمة للتحرك في المزارع - يعيب على هذه النظم التحرك في المناطق المزروعة عبر المزرعة ما لم يتم زراعة محاصيل معمرة وأن تبقى في نفس الموقع على مدى فترات طويلة من الزمن.

ومزايا نظام الوضع الثابت هي :

- تقوم هذه النظم بإمداد المياه بشكل منتظم عبر الحقل.
- تعمل هذه النظم على توفير تحكم سهل.
- يمكن أن تعمل نظم الوضع الثابت سليمة التصميم على تلبية احتياجات الترفيه مثل التحكم في الغابات.

(١٦,٥,١) اختيار الرشاش، والأداء والمسافات البيئية

بشكل عام، يتم تصميم نظم الوضع الثابت لاستخدام التدفق المنخفض، والرشاشات متوسطة الضغط. ولكن، من الممكن استخدام رشاشات كبيرة إذا كان يتم تحريكها يدوياً أو إذا كانت لها صمامات منفردة بها. وسوف تختلف المسافة بين الرشاشات من وضع كل رشاش على مسافة تبعد ٩ م عن الرشاش الآخر، إلى وضع كل رشاش على مسافة تبعد ٧٣ م عن الرشاش الآخر. ومن الممكن أن تكون أحجام الفوهات صغيرة فتصل إلى ١,٥٩ مم أو ذات أحجام كبيرة تصل إلى ٣٦ مم، وتتراوح الضغوط بين ١٧٢ و ٦٢٠ كيلويسكال. وتعتمد المسافة بين الرشاشات على الرشاش والفوهة متحدين، وضغط التشغيل، ومعامل الانتظامية المطلوب (CU)، وسرعة الرياح، واستخدام النظام. وبالنسبة لمحاصيل معينة عالية القيمة، فمن الممكن أن يكون من المطلوب القيام بتصميم نظام لأجل معامل انتظامية عالي القيمة. ويجوز للمحاصيل ذات القيمة الأقل والتي ليس من المبرر ارتفاع تكلفة التصميم الرضا بمعامل انتظامية منخفض. وحيث إنه ليس من الممكن القيام بالتصميم بما يتوافق مع كل ظروف الرياح، فلا بد من القيام بتصميم النظام بالنسبة للحالات المتوسطة. ومن الممكن أن يتطلب النظام الذي يتم تصميمه للغابات وللحماية من الصقيع معامل انتظامية عال كما يحدث عند تصميم نظام للتحكم في رطوبة التربة. والنظام المستخدم لاستكمال

نزول المطر من الممكن ألا يكون بحاجة إلى معامل انتظامية عال كذلك الذي يتم تصميمه بحيث يعتمد إنتاج المحصول فيه كلياً على الري.

(١٦,٥,٢) تصميم الرشاش ثابت التصريف

لقد تم وصف الخطوات العامة لتصميم نظم الوضع الثابت حيث تكون أحجام فوهات الرشاشات وأحجام الأنابيب موحدة، وكما تم الإشارة إلى أن هناك اختلافاً في التدفق على امتداد الخط الفرعي. ومن الممكن استخدام الخطوات التالية لتصميم خطوط الرش الفرعية الفردية، أو مجموعات الخطوط الفرعية والخط الرئيس المرتبط بها أو الخطوط شبه الرئيسة حيث يكون هناك اختلاف أقل بمجرد أن يتم تعيين المسافة بين الرشاشات وتصريفاتها. ومن الممكن حساب التدفق داخل أي مقطع من الأنابيب. ومن الممكن استخدام خطوات العمل لتصميم النظم الكاملة أو الأجزاء المتفرعة من النظم الكبيرة والتي تشمل الخطوات التالية:

- ١- افتراض أنه تم اختيار المسافة المناسبة بين الرشاشات، فإن الخطوة الأولى تتمثل في وضع تخطيط للخطوط الفرعية والخط الرئيس للنظام على خريطة طوبوغرافية للحقل، أو قياس ارتفاع كل موقع مقترح للرشاشات، وكذلك موقع وارتفاع مدخل النظام. ويتم تحديد ارتفاع موضع مخرج كل الرشاش.
- ٢- حساب التدفق في كل مقطع أنبوب على أنه إجمالي خلف سريان في هذا المقطع أو غيره. ومن اللازم إعادة حساب التدفقات عندما يتغير تدفق الرشاشات أو عدد الرشاشات التي يتم تشغيلها.
- ٣- اختيار أقطار الأنابيب للخط الرئيس والمقاطع الفرعية. وبشكل أولي، من الممكن اختيار قطر أنبوب كبير وذي مقطع واحد للخط الرئيس والخطوط الفرعية، ومن ثم يتم تقليل أقطار الأنابيب في مناطق معينة للوصول للتصميم الأمثل.
- ٤- تعيين ضاغط ضغط مفترض عند نقطة البداية في النظام، على أن يكون المدخل النقطة القريبة. ومن الممكن وضع ضغط البداية أقل من أو يساوي أدنى ضغط رشاش كاف.

٥- حساب الضغوط عند كل النقاط عن طريق أنبوب تعمل في وقت واحد من بداية السريان في اتجاه السريان أو عن طريق استخدام علاقة توزيع الضغط التي تم عرضها مسبقاً.

٦- تقييم توزيع الضغط. وإذا كانت بعض ضغوط الرشاشات غير كافية، يتم زيادة الضغط الداخل والعودة إلى الخطوة رقم ٥ إلى أن يتم الحصول على الحد الأدنى لضغط الرشاش. وإذا كانت كل ضغوط الرشاشات ضمن الحدود المطلوبة، فمن الممكن أن يكون التصميم مقبولاً، ولكن من الممكن أن يتم زيادة أقطار بعض الأنابيب. وإذا تجاوز مدى الضغوط الحد المطلوب، فإنه من الممكن أن يتم تقليل أقطار بعض الأنابيب، أو من الممكن أن تكون اختلافات الارتفاعات كبيرة جداً.

٧- تقليل أقطار الأنابيب في مناطق محددة، وعادة قرب نهايات الخطوط الفرعية، أو في المناطق منخفضة الارتفاع، ثم العودة إلى الخطوة رقم ٥. ويتم تكرار العمل عند الضرورة حتى يتم الوصول إلى أفضل قيم لأقطار الأنابيب وتوزيع الضغط.

وعندما يتم حساب توزيع الضغط، فإنه يمكن حساب قطر الفوهة المطلوب لكل رشاش باستخدام التدفق المحدد والضغط المحسوب. وإذا كان مدى الضغوط ضيقاً بصورة كافية، فمن الممكن استخدام قطر واحد للفوهة. وبدلاً من ذلك من الممكن استخدام الرشاشات التي يتم تنظيم عملها بالضغط أو فوهات التحكم في التدفق.

وإذا كان يتم فقط تشغيل جزء من الخطوط الفرعية في كل مرة، فينبغي التحقق من تصميم الخط الرئيس مع كل مجموعة عمل لضمان وجود ضغط كاف لكل الأوضاع. ويمكن عادةً تقليل قطر الخط الرئيس عن طريق توزيع الخطوط الفرعية العاملة بشكل منتظم قدر الإمكان عبر الخط الرئيس بأكمله. ومع ذلك، قد يكون من المرغوب فيه لأسباب زراعية أن يتم التركيز على الخطوط الفرعية العاملة، وفي هذه الحالة فإن الخطوط الفرعية الموضوعة على أبعد مسافة من المدخل سوف تملي عادةً خط التصميم الرئيس.

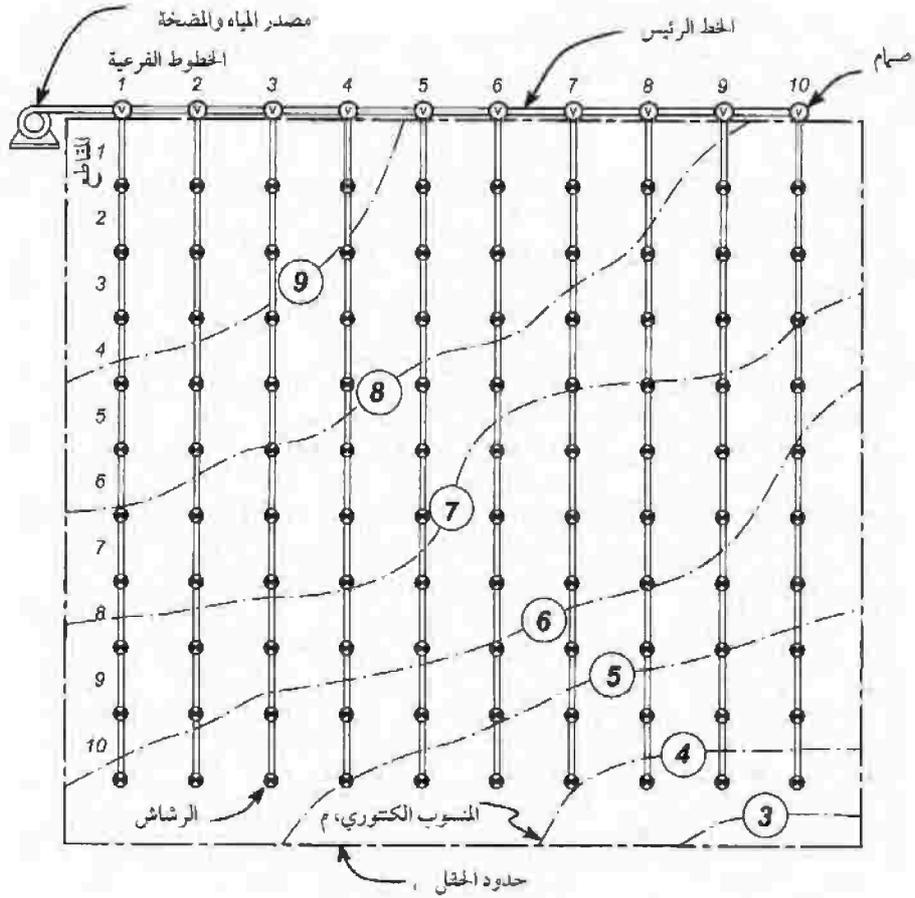
ولا بد من الأخذ في الاعتبار اختلاف التضاريس مع كل وضع من الأوضاع. وإذا كانت اختلافات المناسيب كبيرة في الاتجاه العمودي على الخط الفرعي، فيصبح

من المطلوب استخدام الرشاشات التي يتم تنظيم عملها بالضغط أو الفوهات التي تتحكم في التدفق. وأيضاً، إذا كان من الممكن تشغيل أعداد مختلفة من الخطوط الفرعية في أوقات مختلفة، فمن الممكن أن يتغير ضغط المدخل.

ومن الممكن أن يتم إعادة حساب تدفق الرشاش، أو الضغط الداخل، أو خشونة الأنابيب، أو أي من أقطار الأنابيب التي من الممكن أن تتغير قيمها عند استخدام جداول العمل. وإذا كان يتم تغيير المسافات بين الرشاشات، فإن التخطيط، وبالتالي الارتفاعات ستكون بحاجة إلى أن تتغير وفقاً لهذا. ويمكن تقصير طول الخطوط الفرعية عن طريق جعل أقطار أنابيب في اتجاه السريان تساوي صفرًا.

وفي حالة التدفق لأعلى، فمن الممكن مواجهة اختلافات كبيرة في ضغط لا يمكن تجنبها. ويمكن وضع صمامات تنظيم الضغط التي عند مداخل الخط الفرعي أو النقاط الأخرى لتقليل وتقييد الضغط بقيمة محددة. مثل تلك النقاط التي يتم التحكم بها بالضغط من الممكن أن يتم استخدامها كنقطة بدء لإجراء العمليات الحسابية للضغط. وبدلاً من ذلك، من الممكن استخدام أجهزة تنظيم ضغط على الرشاش منفردة للحد من الضغط وضغط الفوهة، ومن الممكن أن يزداد ضغط المدخل للحفاظ على الحد الأدنى من الضغط عبر النظام بأكمله. وسوف توضح الأمثلة التالية خطوات التصميم.

مثال رقم ١: حقل أبعاده ١٦٠ م × ١٨٠ م، يتم ريه كما هو موضح في الشكل رقم (١٦,١٤). وتم اختيار مسافة قدرها ١٧ م على امتداد الخط الرئيس وقدرها ١٥ م على امتداد الخطوط الفرعية، ويبلغ تدفق الرشاش ٨,٠ لتر/ث، ويقع المدخل عند المضخة التي على بعد مسافة واحدة من الخط الرئيس عن الفرع الأول في اتجاه السريان. ويبلغ ارتفاع المضخة ١٠ م. ويوضح الشكل رقم (١٦,١٥) الحسابات باستخدام برنامج جدول العمل. والأرقام التي يتم كتابتها بخط سميك توضح البيانات المطلوب إدخالها. ويعطي الجزء أ خشونة الأنابيب (معامل هيزن-ويليام C)، وتدفق الرشاشات، والمسافات البيئية، وضغط وارتفاع المضخة (المدخل)، والتصرف الكلي والمتوسط المحسوب ونسبة الاختلاف في ضغوط الرشاشات.



الشكل رقم (١٤, ١٦). منظر مسطح لحقل مروى باستخدام نظام الرش الثابت.

ويعطي الجزء ب عدداً من الرشاشات أو مقاطع الأنابيب على كل خط فرعي، ومناسب وأقطار مقاطع الخط الرئيس أمام سريان من كل خط فرعي، والتي يتم حسابها من الضغوط للخط الرئيس، أدنى ضغوط للخطوط الفرعية، والفرق في الضغط على الخط الفرعي، والتدفق في كل مقطع من الخط الرئيس، والسرعات في الخط الرئيس. ويتم

تسمية الخطوط الفرعية على أن تكون في وضع التشغيل والإيقاف عن طريق إدخال القيمتين ١ أو صفر لعمود التشغيل أو الإيقاف (الشكل رقم ١٥, ١٦). ومن الممكن أن يتم إيقاف الخطوط الفرعية الفردية لمحاكاة الأوضاع الأصغر أو نظم الخطوط الفرعية المتنقلة. وتعطي الأجزاء من ج إلى و المناسب، وأقطار الأنابيب، وضغط الضغط للرشاشات، وأقطار الفوهة المحسوبة على الشبكة المناظرة لشبكة التصميم التي توجد في الشكل رقم (١٥, ١٦). ويتم وضع هذه الرشاشات في نهاية خط السريان من كل مقطع من الخط الفرعي.

وبعد الخطوات السابقة، يتم إدخال المناسب وأقطار الأنابيب (الجزئين ج، د). ويتم حساب التدفقات في الخط الرئيس والخطوط الفرعية عن طريق تجميع تدفقات الرشاشات خلف السريان من كل مقطع من الأنابيب. وضغط المضخة الداخل المقترح الذي يساوي ٥٠ م يصبح الضغط الداخل للخط الرئيس.

ومن المفترض أنه سيتم تشغيل كل الخطوط الفرعية العشرة في وقت واحد، وبهذا يكون التدفق في المقطع الأول للخط الرئيس ٨٠ لتر/ث ويبلغ قطره ٢٠٠ مم، ويبلغ الفاقد بالاحتكاك به ٠,٦ م. وضغط المخرج من المقطع الأول يساوي ٤٩,٥ م ($50 - 0.6 + 10 - 9.9 = 49.5$ m)، والذي يصبح ضغط المدخل للمقطع الثاني من الخط الرئيس وهو ضغط مدخل الخط الفرعي الأول. وقد تم حساب الضغوط للخط الفرعي الأول لكل مقطع منه في وقت واحد، ووجد أن أدنى ضاغط ضغط يساوي ٣٩,٩ م (في المقطع ٨ حيث إن الخطوط الفرعية تنحدر لأسفل). وقد تم حساب المقاطع للخط الرئيس والخطوط الفرعية المتعاقبة حتى نهاية الخط الفرعي الأخير. وكان أدنى ضاغط ضغط هو ٣٩,٦ م في الخط الفرعي ٢.

بعد اختيار قطر الأنابيب وإعادة التعديل العملية التكرارية الأساسية في هذا الإجراء. ففي هذا المثال تم تعديل أقطار الأنابيب بحيث يصبح الفرق في الضغط داخل الخطوط الفرعية أقل من ٢٠٪ من أدنى ضغط. وقد تم تقليل قطر الأنابيب في المقطع الأول من الخط الفرعي ٢ حتى يعمل على تقليل الضغوط الجانبية وبالتالي يعمل على

تقليل الاختلاف الكلي في الضغط إلى أقل من ٢٠٪. وتعد بالتالي أقطار الفوهة المحسوبة منتظمة تقريباً، ومن الممكن اختيار قطر واحد للفوهات. وإذا كان هناك حاجة لأقطار فوهات مختلفة للحفاظ على تدفقات منتظمة، فيمكن للمصمم أن يختار قطر الفوهة المتاح الأقرب للقطر المحسوب.

أ) البيانات الأساسية										
المسافات على الخط الرئيس	١٧ م	المسافات بين الرشاشات	١٥ م							
تصرف الرشاش	٠,٨ لتر/ث	معامل هيزن-ويليم، C	١٢٠							
متسوب المضخة	١٠ م	متوسط الضغط	٤٣,٨ م							
ضاغط ضغط المضخة	٥٠ م	نسبة التغير في الضغط	٧,٣ %							
ب) ملخص الخط الرئيس والخط الفرعي										
Vel	QL	Qtotal	DP	Pmin	Pm	EL	Dia	ON:OFF	Nsp	NL
م/ث	لتر/ث	لتر/ث	م	م	م	م	مم	١:١		
٠,٩	٠	١٦	٠,٠	٩٩٩	٥٠,٠	٩,٩	١٥٠	٠	١٠	١
٠,٩	٠	١٦	٠,٠	٩٩٩	٥٠,٠	٩,٧	١٥٠	٠	١٠	٢
٠,٩	٠	١٦	٠,٠	٩٩٩	٥٠,١	٩,٥	١٥٠	٠	١٠	٣
٢,٠	٠	١٦	٠,٠	٩٩٩	٤٩,٥	٩,٢	١٠٠	٠	١٠	٤
٢,٠	٠	١٦	٠,٠	٩٩٩	٤٨,٩	٨,٩	١٠٠	٠	١٠	٥
٢,٠	٠	١٦	٠,٠	٩٩٩	٤٨,٢	٨,٧	١٠٠	٠	١٠	٦
٢,٠	٠	١٦	٠,٠	٩٩٩	٤٧,٥	٨,٥	١٠٠	٠	١٠	٧
٢,٠	٠	١٦	٠,٠	٩٩٩	٤٦,٨	٨,٣	١٠٠	٠	١٠	٨
٢,٠	٨	١٦	٣,١	٤٢,٤	٤٦,٠	٨,٢	١٠٠	١	١٠	٩
١,٠	٨	٨	٣,٠	٤٢,٣	٤٥,٩	٨,٠	١٠٠	١	١٠	١٠

الشكل رقم (١٦,١٥). تصميم الخط الرئيس والخطوط الفرعية لنظام الوضع الثابت مع وجود ١٠ خطوط فرعية، حيث: P_m ضاغط الضغط عند مخرج الخط الرئيس أو مدخل الخط الفرعي، و P_{min} أدنى ضغط، و DP الفرق في الضغط على الخط الفرعي، و N_r عدد الرشاشات على الخط الفرعي (تشغيل: إيقاف = ١ : ٠)، و Q_r التصرف في الخط الفرعي، و Q_m التدفق الكلي في المقطع من الخط الرئيس، و E_r ارتفاع مدخل المقطع من الخط الرئيس (م).

رقم الخط الفرعي										
المقطع	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠
ج) قطر الأنبوب، مم										
١	٥٠	٥٠	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥
٢	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥
٣	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥
٤	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥
٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥
٦	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠
٧	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠
٨	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠
٩	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠
١٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠
د) النسوب، م										
١	٩,٧	٩,٥	٩,٤	٩,١	٨,٧	٨,٦	٨,٤	٨,٢	٧,٨	٧,٧
٢	٩,٥	٩,٣	٩,٢	٩,٠	٨,٥	٨,٤	٨,٢	٨,٠	٧,٦	٧,٤
٣	٩,٢	٩,١	٨,٩	٨,٥	٨,١	٨,٢	٨,٠	٧,٦	٧,٢	٧,١
٤	٨,٧	٨,٦	٨,٤	٨,١	٧,٨	٧,٥	٧,١	٧,٠	٦,٨	٦,٥
٥	٨,٣	٨,٢	٨,٠	٧,٧	٧,٤	٧,٠	٦,٧	٦,٧	٦,٥	٦,٠
٦	٨,٠	٧,٧	٧,٦	٧,٤	٧,١	٦,٦	٦,٤	٦,٤	٦,٢	٥,٦
٧	٧,٥	٧,٣	٧,٢	٧,٠	٦,٦	٦,٤	٦,١	٦,٠	٥,٧	٥,٤
٨	٧,٠	٦,٧	٦,٦	٦,٤	٦,٢	٥,٨	٥,٤	٥,٣	٥,١	٤,٩
٩	٦,٤	٦,١	٥,٩	٥,٧	٥,٤	٥,٢	٤,٧	٤,٤	٤,٤	٤,٣
١٠	٥,٨	٥,٦	٥,٤	٥,١	٤,٧	٤,٤	٤,١	٣,٧	٣,٦	٣,٥

تابع الشكل رقم (١٦, ١٥). تصميم الخط الرئيس والخطوط الفرعية لنظام الوضع الثابت مع وجود ١٠ خطوط فرعية.

هـ) ضاغط الضغط، م										
٤٥,٤	٤٥,٥	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	١
٤٤,٩	٤٥,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٢
٤٤,٦	٤٤,٨	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٣
٤٤,٨	٤٤,٧	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٤
٤٤,٩	٤٤,٧	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٥
٤٣,٥	٤٣,٢	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٦
٤٣,٥	٤٢,٥	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٧
٤٢,٣	٤٢,٤	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٨
٤٢,٦	٤٢,٨	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٩
٤٢,٣	٤٢,٥	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	١٠
و) قطر الفوهة، مم										
٥,٨	٥,٨	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	١
٥,٩	٥,٩	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٢
٥,٩	٥,٩	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٣
٥,٩	٥,٩	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٤
٥,٩	٥,٩	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٥
٥,٩	٥,٩	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٦
٥,٩	٥,٩	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٧
٥,٩	٥,٩	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٨
٥,٩	٥,٩	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٩
٥,٩	٥,٩	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	١٠

تابع الشكل رقم (١٦,١٥). تصميم الخط الرئيس والخطوط الفرعية لنظام الوضع الثابت مع وجود ١٠ خطوط فرعية.

مثال رقم ٢: هذا المثال يستخدم نفس الحقل ونفس التخطيط في مثال رقم ١، والذي يعمل عن طريق تشغيل كل خطين فرعيين متجاورين للمجموعة الواحدة. وترد النتائج في الشكل رقم (١٦، ١٦) للخطوط الفرعية ٩ و ١٠، وهي الخطوط الفرعية الأبعد عن المضخة. ويقل التدفق الكلي في المضخة إلى ١٦ لتر/ث. ويتم تخفيض أقطار أنابيب الخط الرئيس طبقاً لهذا. وأقطار أنابيب الخطوط الفرعية هي نفسها كما في مثال رقم ١. ومتوسط الضغط P_{av} ، والاختلاف في الضغط P_{var} هي للخطوط الفرعية العاملة فقط.

أ) البيانات الأساسية										
المسافات على الخط الرئيس	١٧ م	المسافات بين الرشاشات	١٥ م							
تصرف الرشاش	٠,٨ لتر/ث	معامل هيزن-ويليم، C	١٢٠							
منسوب المضخة	١٠ م	متوسط الضغط	٤٥,١ م							
ضاغط ضغط المضخة	٥٠ م	نسبة التغير في الضغط	٦,٧ %							

ب) مدخل الخط الرئيس والخط الفرعي										
Vel	QL	Qttotal	DP	Pmin	Pm	EL	Dia	ON:OFF	Nsp	NL
م/ث	لتر/ث	لتر/ث	م	م	م	م	مم	٠:١		
١,٠	٠	٨	٠,٠	٩٩٩	٤٩,٨	٩,٩	١٠٠	٠	١٠	١
١,٠	٠	٨	٠,٠	٩٩٩	٤٩,٨	٩,٧	١٠٠	٠	١٠	٢
١,٠	٠	٨	٠,٠	٩٩٩	٤٩,٧	٩,٥	١٠٠	٠	١٠	٣
١,٠	٠	٨	٠,٠	٩٩٩	٤٩,٨	٩,٢	١٠٠	٠	١٠	٤
١,٠	٠	٨	٠,٠	٩٩٩	٤٩,٨	٨,٩	١٠٠	٠	١٠	٥
١,٠	٠	٨	٠,٠	٩٩٩	٤٩,٨	٨,٧	١٠٠	٠	١٠	٦
١,٠	٠	٨	٠,٠	٩٩٩	٤٩,٧	٨,٥	١٠٠	٠	١٠	٧
١,٨	٠	٨	٠,٠	٩٩٩	٤٨,٩	٨,٣	٧٥	٠	١٠	٨
١,٨	٠	٨	٣,١	٩٩٩	٤٨,٠	٨,٢	٧٥	٠	١٠	٩
١,٨	٨	٨	٣,٠	٤٣,٦	٤٧,٢	٨,٠	٧٥	١	١٠	١٠

الشكل رقم (١٦، ١٦). تصميم الخط الرئيس والخطوط الفرعية بالنسبة لنظام الوضع الثابت مع وجود ٢ خط فرعي في المجموعة، حيث: P_m ضاغط الضغط عند مخرج الخط الرئيس أو مدخل الخط الفرعي، و P_{min} أدنى ضغط، و DP الفرق في الضغط على الخط الفرعي، و N_s عدد أجهزة الرش على الخط الفرعي (تشغيل: إيقاف = ٠، ١)، و Q_1 التدفق الفرعي الكلي، و Q_{tot} التدفق الكلي في الجزء من الخط الرئيس، و E_1 ارتفاع مدخل الجزء من الخط الرئيس (م).

رقم الخط الفرعي										
المقطع	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠
ج) قطر الأنابيب، مم										
١	٥٠	٥٠	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥
٢	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥
٣	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥
٤	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥
٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥	٧٥
٦	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠
٧	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠
٨	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠
٩	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠	٥٠
١٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠	٣٠
د) المنسوب، م										
١	٩,٧	٩,٥	٩,٤	٩,١	٨,٧	٨,٦	٨,٤	٨,٢	٧,٨	٧,٧
٢	٩,٥	٩,٣	٩,٢	٩,٠	٨,٥	٨,٤	٨,٢	٨,٠	٧,٦	٧,٤
٣	٩,٢	٩,١	٨,٩	٨,٥	٨,١	٨,٢	٨,٠	٧,٦	٧,٢	٧,١
٤	٨,٧	٨,٦	٨,٤	٨,١	٧,٨	٧,٥	٧,١	٧,٠	٦,٨	٦,٥
٥	٨,٣	٨,٢	٨,٠	٧,٧	٧,٤	٧,٠	٦,٧	٦,٧	٦,٥	٦,٠
٦	٨,٠	٧,٧	٧,٦	٧,٤	٧,١	٦,٦	٦,٤	٦,٤	٦,٢	٥,٦
٧	٧,٥	٧,٣	٧,٢	٧,٠	٦,٦	٦,٤	٦,١	٦,٠	٥,٧	٥,٤
٨	٧,٠	٦,٧	٦,٦	٦,٤	٦,٢	٥,٨	٥,٤	٥,٣	٥,١	٤,٩
٩	٦,٤	٦,١	٥,٩	٥,٧	٥,٤	٥,٢	٤,٧	٤,٤	٤,٤	٤,٣
١٠	٥,٨	٥,٦	٥,٤	٥,١	٤,٧	٤,٤	٤,١	٣,٧	٣,٦	٣,٥

تابع الشكل رقم (١٦, ١٦). تصميم الخط الرئيس والخطوط الفرعية بالنسبة لنظام الوضع الثابت مع وجود ٢ خط فرعي في المجموعة.

هـ) ضغوط الضغط، م										
٤٦,٦	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	١
٤٦,٢	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٢
٤٥,٩	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٣
٤٦,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٤
٤٦,٢	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٥
٤٤,٨	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٦
٤٣,٨	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٧
٤٣,٦	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٨
٤٣,٩	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٩
٤٤,٦	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	١٠
و) قطر الفوهة، مم										
٥,٨	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	١
٥,٨	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٢
٥,٨	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٣
٥,٨	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٤
٥,٨	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٥
٥,٩	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٦
٥,٩	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٧
٥,٩	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٨
٥,٩	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٩
٥,٩	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	٠,٠	١٠

تابع الشكل رقم (١٦, ١٦). تصميم الخط الرئيس والخطوط الفرعية بالنسبة لنظام الوضع الثابت مع وجود ٢ خط فرعي في المجموعة.

(١٦,٥,٣) توجيهات التشغيل والصيانة

يعتمد نمط تشغيل نظام الرش بالوضع الثابت على تصميم واستخدام النظام، والعمالة المتاحة، ومصدر المياه، ورأس المال المتاح. ويمكن تصميم النظام باستخدام الخطوط الفرعية أو طريقة تصميم المساحة. ومع تصميم الخطوط الفرعية يتم التحكم في الخطوط الفردية عن طريق الصمامات في بدايتها، ومن الممكن أن يتم تشغيل أي خط فرعي كما هو مطلوب. وعادة، يتم تشغيل أكثر من خط فرعي واحد في نفس الوقت، ولكن تكون الخطوط الفرعية العاملة معاً واسعة الفصل فيما بينها في الحقل. وتعمل طريقة تصميم الخط الفرعي على تقليل قطر الخط الرئيس أو قطر أنبوب الإمداد، ولكنها تعمل على زيادة عدد الصمامات المطلوبة وكذلك الزمن المطلوب لفتح وغلق الصمامات عندما يتم استخدام نظام صمامات يدوية. وباستخدام طريقة تصميم المساحة، فإن جزءاً مجاوراً للحقل يتم ريه في المرة الواحدة. وعادة يتم تركيب خط شبه رئيس لإمداد المياه لهذا الجزء من الحقل.

وبالنسبة للحماية من التجمد والصقيع، فمن الممكن أن يتم تشغيل النظام بأكمله مرة واحدة. وبناءً على المحصول الذي يتم حمايته، فإن معدل الإضافة سوف يتراوح بين ٢ و ٥ مم/ساعة. وفي شرق الولايات المتحدة، تم تصميم معظم نظم ري البساتين بحيث يتم إضافة المياه فوق المحصول. وفي غرب الولايات المتحدة، يتم استخدام نظم الري تحت الشجر وفوق الشجر، ولكن، مع وجود مياه مالحة فمن الممكن أن يتم استخدام نظم تحت الشجر بنجاح.

وإذا كان يتم استخدام النظام بشكل حصري لأجل الري، فإن جزءاً فقط من النظام يعمل بشكل طبيعي مرة واحدة. وحيث يكون هناك حاجة للتشغيل على مدى عدة ساعات من الري، فإن التحكم من الممكن أن يكون يدوياً أو آلياً. وبالنسبة لنظام ري محصول ضحل الجذور ينمو في تربة خشنة القوام، أو في مشاتل زراعية حيث يكون من المطلوب القيام بالري اليومي أو المتكرر، فمن الأفضل القيام بالتحكم الآلي في تتابع النظام. وحيثما تكون العمالة محدودة جداً، فإن التحكم الآلي يكون مطلوباً

بغض النظر عن تكرار الري ، ولكن هذا سوف يؤدي إلى زيادة الاستثمار الأولي. وعلى العكس ، فإن رأس المال المحدود من الممكن أن يتطلب نظاماً سنوياً بشكل مجمل. والمصدر المائي المحدود ، مثل بئر أو مجرى مائي ، مما يعني أن جزءاً فقط من النظام يمكن تشغيله في وقت واحد.

(١٦,٦) الخطوط الفرعية المتحركة دورياً

إن نظم الري بالرش في هذا النوع تحتوي على خطوط فرعية يتم نقلها بين مواضع الري. وهي تظل ثابتة أثناء الري. ويتم تفريغ الخطوط الفرعية قبل نقلها إلى الموضع التالي ، ويتم استخدام مجموعة نقل الخطوط الفرعية بين المواضع على نطاق واسع بسبب تكلفتها المنخفضة نسبياً وتكيفها مع مدى واسع من المحاصيل ، وأنواع التربة ، وأنواع الطبوغرافيا ، ومساحة الحقل. وتعد تكلفة المعدات معتمدة بدرجة كبيرة على عدد المواضع المرورية عن طريق كل خط فرعي. وهي تتلاءم بدرجة جيدة مع التربة ذات السعة الكبيرة للاحتفاظ بالمياه ، والمحاصيل عميقة الجذور ، والمحاصيل بطيئة النمو ، والري التكميلي ، وإدارة الري الناقص. ومن الممكن تصنيفها على أنها نظم الحركة اليدوية أو نظم الحركة الميكانيكية. وتعد نظم الحركة الميكانيكية شبيهة بنظم الحركة اليدوية فيما عدا أن أنواع الأنابيب والأحجام غالباً ما تملبه الخواص الميكانيكية فضلاً عن الاعتبارات الهيدروليكية.

ويتكون النظام من الخطوط الفرعية ، خط الأنابيب له منافذ لتوزيع مياه الري إلى الرشاشات التي يتم نقلها بشكل دوري في جميع أنحاء الحقل. ويتكون الخط الفرعي من عدة أنابيب التي تبلغ أقطارها من ٥٠ إلى ١٥٠ مم وأطوالها من ٦ إلى ١٨ م (الشكل رقم ١٦,١). ويتم تركيب مقرنة عند أحد أطراف كل أنبوب. ويتم إدخال الطرف الآخر من الأنبوب إلى مقرنة الأنبوب التالي أمام السريان وتثبيتها بمخاطف مثبت بمزلاج في المقرنة أو الحلقة. وهناك أنواع جديدة من القارنات يتم تطويرها في الوقت الحالي تستخدم الآليات المختلفة لربط أو توصيل الأنابيب. ويتم تركيب الحشوات في

المقرنة لمنع التسريب عندما يُضغط النظام. وتقوم الأنابيب الصغيرة، التي تُسمى بالرافعات أو الحوامل، بنقل المياه من الخط الفرعي إلى الرشاش. ويتم تزويد المياه إلى الخطوط الفرعية عن طريق الخطوط الرئيسية، أو الخطوط شبه الرئيسية التي تتفرع من الخط الرئيس.

والنظم الأكثر شيوعاً في الاستخدام تتكون من خط رئيس مركزي مفرد مع واحد أو أكثر من الخطوط الفرعية التي تقوم بالري على كلا الجانبين من الخط الرئيس. وإذا كان هناك العديد من الخطوط الفرعية، فإنه يتم جعل المسافات بينها بشكل متساو، لذلك بحلول الوقت الذي يصل فيه أي خط فرعي لموضع البداية من الخط الفرعي السابق له، فإن الحقل بأكمله يكون قد تم ريه مرة واحدة. إن المسافة بين الرشاشات على الخطوط الفرعية وبين الأوضاع المتعاقبة لكل خط فرعي هي التي تعطي أنماط توزيع المياه من الرشاشات والتي تمنح تقريباً التداخل الكامل. وغالباً ما تتطلب النظم الكبيرة وجود خطوط رئيسة متعددة، بالرغم من أن النظم البسيطة تكون ممكنة على الحقول المستطيلة حتى على الأقل مساحة ٦٤ هكتاراً.

وعادة يتم وضع الصمامات التي على شكل حرف T في الخط الرئيس عند الفواصل المرغوبة لضبط المسافات بين الخطوط الفرعية. ويتم التحكم في الصمامات التي شكل حرف T عن طريق استغلال كوع فتح الصمام الذي يعمل على الاتصال بين الخط الرئيس والخطوط الفرعية. ومسافات الصمامات الشائعة هي ١٢,٢، ١٥,٢، ١٨,٣، ٢٤,٤ م. وحيث إن الأطوال الشائعة في الأنابيب هي ٦,١، ٩,١، ١٢,٢، ١٥,٢ م، فإن المسافة المرغوبة بين الصمامات يتم الحصول عليها عن طريق استخدام تجميعات مختلفة من الأطوال. وفي كثير من النظم يكون من المفضل استخدام الخطوط الرئيسة المدفونة. ولا بد من وضع الأنابيب بأمان أسفل عمق الحرث ولا بد كذلك أن يكون أقل من عمق الصرف، ما لم يتم القيام بتجهيزات لتصريف الأنابيب.

- إن مزايا النظم دورية الانتقال هي أن :
 - تكاليف الاستثمار منخفضة.
 - يقدم النظام قسطاً كبيراً من المرونة.
 - من السهل فهم وتشغيل النظم.
 - تكون الرشاشات والفوهات من نفس الأحجام بشكل عام، مما يضاعف من القدرة التبادلية على التغيير.
- وعيوب النظم دورية الانتقال هي :
 - متطلبات العمالة العالية.
 - الإضافات الكبيرة نسبياً للمياه في كل عملية ري.
 - الانتظامية القليلة عندما يكون الحجم المنتظم للفوهة يتم استخدامه على الخطوط الفرعية الطويلة أو التضاريس الوعرة.
 - يتطلب زمناً لتفريغ الخطوط الفرعية قبل نقلها.
- وإن إضافة المياه والخصائص الأخرى للنقل اليدوي، وحبل السحب ونظم الحركة المستقيمة تكون متماثلة جداً، وهناك عرض لخصائص النظام في الجدول رقم (١٦،١).

(١٦،٦،١) الهيدروليكا

تمت مناقشة التصميم الهيدروليكي للخطوط الفرعية المتحركة في الفصل الخامس عشر وبشكل مسبق في هذا الفصل. ومع هذه النظم تكون أحجام الرشاش والفوهات بوجه عام ثابتة ويكون قطر الأنابيب في الخط الفرعي منتظماً. وبالتالي، يتم تطبيق الخطوات التي تم ذكرها في أجزاء سابقة من هذا الفصل. والخطوات العامة هي تخطيط حدود الحقل، ومصدر المياه وموقع المضخة. ويتم وضع الخط الرئيس في أغلب الأحيان أسفل منتصف الحقل لتقليل فواقد الضغط في الخطوط الفرعية الطويلة. ويتم اختيار المسافة بين الرشاشات والخطوط الفرعية لتتلاءم مع الحقل. ومع التخطيط الأولي يتم تحديد تصرف الرشاش والخط الفرعي.

ويتم حساب أدنى متوسط ضغط بالنسبة للقطر المختار لأنبوب الخطوط الفرعية. ومن هذه البيانات يمكن تحديد أقطار الفوهات. ولا بد أن يكون قطر التغطية للرشاش كبيراً بدرجة كافية لتوفير التداخل الكافي. وإذا كانت كل المكونات كافية فيلزم حساب ضغط المدخل لكل موضع للخط الفرعي. ولا بد من اختيار الخط الرئيس لتوفير أعلى انتظامية يمكن الوصول إليها. ولا بد من تحديد تكلفة بدائل التصميم. وبالنسبة للتصميم النهائي، لا بد من تحديد مواصفات المنتج والخطة التشغيلية ومناقشتها مع العميل. وهناك مناقشة للاعتبارات الخاصة لكل نوع من النظم دورية الانتقال المذكورة لاحقاً.

(٢, ٦, ١٦) الخطوط الفرعية المنقولة يدوياً

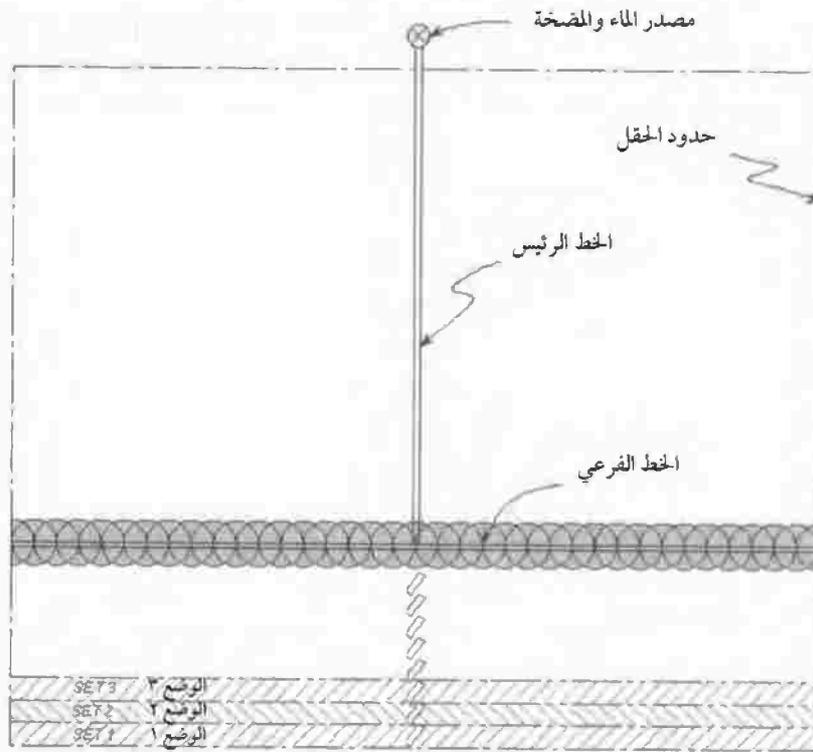
تتضمن النظم الأولى دورية نقل الخطوط الفرعية يدوياً والتي كان يتم نقلها عن طريق حمل أجزاء الأنابيب عبر الحقل. وبين عمليات النقل تعمل الخطوط الفرعية لفترة من الزمن (زمن الري للمجموعة) ويتم إضافة المياه إلى جزء من الحقل (المجموعة) (الشكل رقم ١٧, ١٦). ويُسمى هذا بالنظام المنقول يدوياً. وهو يتطلب كمية مكثفة من العمالة لنقل الخطوط الفرعية من مجموعة أو وضع ما إلى التي تليها، مما يشجع على النقل المتكرر الذي يؤدي إلى إضافات كبيرة من المياه في كل عملية ري.

وتعد النظم المنقولة يدوياً هي أقل تكلفة في المعدات عن نظم نقل الخطوط البديلة، ولكنها تتطلب عمالة أكثر. ونقص العمالة المتاحة هو السبب الرئيس الذي لأجله يميل المزارعون تجاه استخدام نظم الري المحوري أو النظم الآلية الأخرى. ومعظم نظم الري بالرش المنقولة يدوياً تستخدم الآن الخطوط الفرعية من الألمونيوم، بالرغم من إتاحة البلاستيك. ومعظم قارنات أنابيب الخطوط الفرعية تحتوي على حشية مطاطية من نوع شيفرون والتي تمنع التسرب عند تعرضها للضغط، والتي يتم

تصميمها لتتغلق بمزلاج ذاتي عندما يتم ربط الأنابيب معاً. وتحتوي كثير من القارنات على تعديل اختياري لعملية الفك الأسهل. ومن الممكن أن يتم تركيب القارنات الخطافية والتي تتغلق بمزلاج بحيث تنفتح بشكل ذاتي عندما يقوم من يقوم بالري بدفع وليّ الأنبوب. وتقوم القارنات التي على شكل كرة والقارنات المجوفة بالانغلاق بمزلاج بشكل آلي عندما تكون الأنبوب تحت ضغط، وتنفتح عندما يزول الضغط. ولقارنات الغلق بالإسقاط خطافات تتراكم عندما يتم إنزال الأنبوب إلى الأرض. ويعمل الفتح الآلي على توفير بعض السير، ولكنها من الممكن أن تؤدي إلى زيادة خطر الفتح غير المقصود. وفي مقابل حشيات الخط الرئيس، فإنه يتم تصميم حشيات الخط الفرعي لتحرير قبضتهم المحكمة مع الأنبوب عندما يقل الضغط على المياه. ويسمح هذا بتفريغ المياه من الأنبوب عندما يتوقف الضغط وبهذا يمكن تحريك الأنبوب بسهولة إلى الموضع التالي.

ويتم وضع القارنات وراء بعضها بحذر لتتلاقى أنبوب حامل الرشاش، التي يكون قطرها عادة ٢٥ مم. وإذا كان كل من القارنات والحامل من الألمونيوم، فمن المعتاد أن يتم وصلهما معاً بسبيكة من الزنك أو بشريط من التفلون لتجنب إحكام الربط. ولا بد أن يرتفع الحامل على الأقل حتى قمة الغطاء النباتي، ولكن تتحسن انتظامية توزيع المياه إذا امتدت مسافة ٠,٥ م أخرى.

وعادة يمكن تحسين انتظامية توزيع المياه باستخدام أنبوب تعويض بكوع بزاوية ٩٠° عند كل عملية ري تالية. وموضع أنبوب التعويض يجب أن يقابل نصف المسافة بين المواضع الفرعية. واستخدام أنبوب التعويض يسمح بوضع أنبوب الخط الفرعي في منتصف المسافة بين المواقع التي تم استخدامها أثناء عملية الري السابقة. وهكذا، بافتراض أنه تمت إضافة عمليتي ري معاً، فإن ١٢,٢ م بمسافة بينية ١٨,٣ م، على سبيل المثال، يتم تقليلها بفاعلية إلى ١٢,٢ م بمسافة بينية ٩,٢ م.



الشكل رقم (١٦،١٧). صورة ورسم تشغيلي لنظام الري المنقول يدوياً. وتتراوح أقطار الأنابيب الشائعة بين ٥١ و ١٥٢ مم، وأطوالها ١،٦، ٢،٩، ٢،١٢ م. وطول أنابيب الألمنيوم الأكثر شيوعاً في الاستخدام للخط الفرعي ١،٩ أو ٢،١٢ م. والأطوال الأقصر تعني مزيد من السير أثناء النقل. وتكون الخطوط الأطول أكثر صعوبة للنقل ولا توفر المسافات الصحيحة لأحجام الرشاشات الشائعة.

وأحد الإجراءات الجيدة للري الذي يتم اتباعه عند نقل الخطوط الفرعية من وأحد المواضع إلى الذي يليه يكون من خلال البدء بنقل كوع الصمام المفتوح والجزء من الأنبوب المتصل به. وبمجرد أن تصير هذه القطع في مكانها في الموقع الجديد، فإنه يتم فتح الصمام قليلاً وبهذا تخرج كمية صغيرة جداً من تيار المياه من طرف الأنبوب الأول. وعند وضع كل جزء متتابع من الأنبوب في مكانه، فإن هذا الجزء الصغير من التيار المائي يسير خلالها، طارداً أي تربة أو حطام من الممكن أن يكون قد علق أثناء النقل. والجزء الأخير من الأنبوب مع وجود سداداتها في مكانها من الممكن أن يركب قبل أن يصل التيار المائي إلى الطرف ويعمل على تكوين زيادة في الضغط. ثم يعود من يقوم بالري للخلف على امتداد الخط الفرعي، مصححاً وضع توصيل أي رشاش، وأي حشيات مسربة، أو حوامل مائلة. وبعد العودة إلى الخط الرئيس، يتم فتح الصمام بشكل أكبر إلى أن يتم الحصول على الضغط المرغوب. ويتم التحقق السريع من تأكيد ضبط الصمام باستخدام مقياس أنبوب بيتوت على الرشاش الأول. ولتوفير الوقت في كل تنقل فرعي، فإن هناك ميلاً لفتح الصمام بشكل كامل وملء الخط بأكبر سرعة ممكنة. وهذا يتسبب في حدوث طرق مائي عند النهاية القصوى من الخط، وبهذا ربما يكون هناك حاجة لسدادة الدفع عند هذا الطرف. إن الرشاشات شائعة الاستخدام في النظم المنقولة يدوياً من الممكن أن يكون لها فوهة واحدة أو فوهتان. وعادة، تتراوح تصرفات الرشاشات الفردية بين حوالي ٠,٠٦ و ٠,٦٣ لتر/ث. وتتراوح ضغوط التشغيل بين ٢٤٠ و ٤١٥ كيلويسكال.

وتتطلب محاصيل معينة، مثل البساتين، رشاشات مصممة بشكل خاص. عندما يتم استخدام الرشاشات فوق قمم الأشجار، من الممكن أن يتم استخدام النماذج التقليدية. ولكن، عندما يتم استخدامها تحت الأشجار، فلا بد من استخدام الرشاشات التي لها مسار مائي منخفض. وخفض المسار المائي يعمل على تقليل الانتظامية، ما لم يتم تقليل المسافات البينية. وتمثل الأشجار مصفوفة السياج مشكلة صعبة، وخاصة إذا كان من المطلوب الري خلال الأجزاء السفلى من الصفوف.

(١٦, ٦, ٣) نظم السحب بالحبل

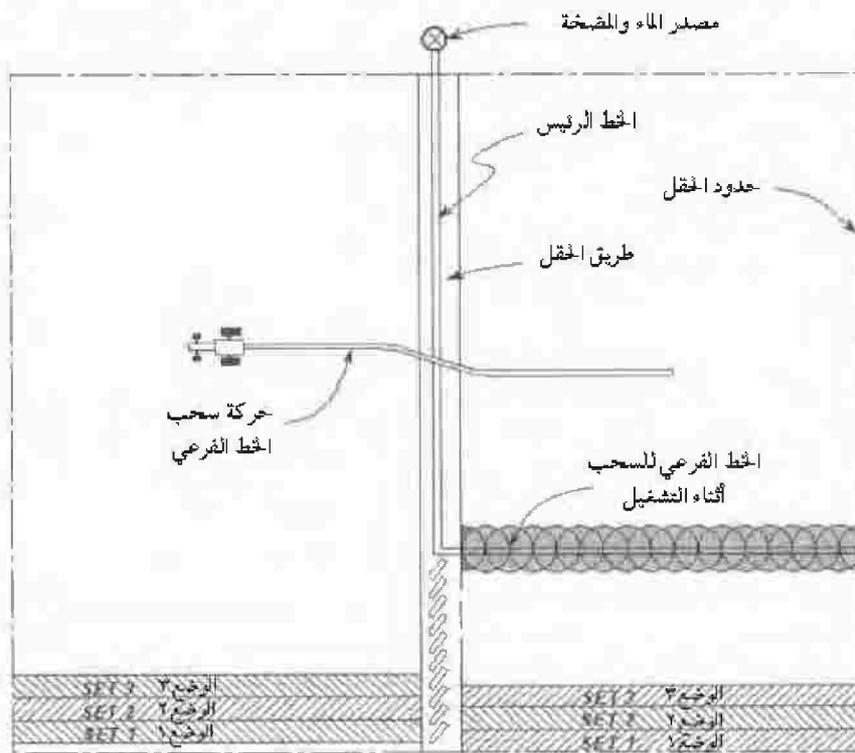
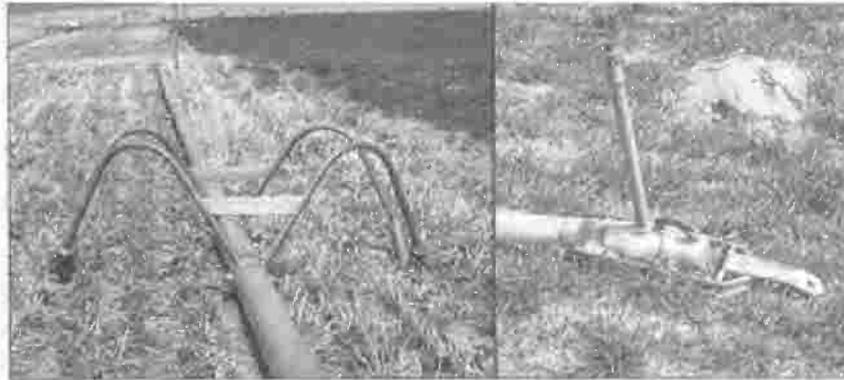
تم تطوير نظم السحب بالحبل أو بالزلق لتقليل العمالة المطلوبة لإعادة وضع الخطوط الفرعية. والتخطيط الأكثر فاعلية لنظم السحب بالحبل يكون عن طريق تقسيم الحقل في المنتصف حتى الخطوط الفرعية وبهذا يمكن سحبها بطريقة متعرجة عبر الحقل (الشكل رقم ١٦, ١٨). وخطوط الري الفرعية في نظم السحب قارنات صلبة نسبياً مزودة بعجلات للترج وبهذا يمكن نقل الخط عن طريق سحبه من نهاية الحقل لبدأته. وتتكون الزلاقات من ألواح معدنية مسطحة موضوعة على الجانب السفلي من الأنبوب من خلال واحد أو أكثر من الملازم. وفي أحد الأنواع، يتم وضع الزلاقة تحت المقرنة ويتم ربطه بإحكام عند كلا الطرفين. وهذا يجعل الزلاقة تأخذ الجزء الرئيس من قوة الدافع الطرفية عند المقرنة عندما يتم سحب الأنبوب. وإذا كان يتم استخدام أجزاء طويلة نسبياً من الأنابيب، فربما يكون هناك حاجة لزلاقة أخرى تحت منتصف كل جزء لتقليل انحراف التربة الناتج من الاتصال. ويتم استخدام المثبتات، أو الركائز، أو سندات العجلات لمنع أطراف الخطوط الفرعية من الميلان. وهناك حاجة لاستخدام اثنين أو ثلاث من الركائز على امتداد الخط الواحد للحفاظ على الأنبوب من التزلج على القاع، وعلى الرشاشات في وضع عمودي.

وبالنسبة لوحداث نوع العجلات، يتم تركيب زوجين من العجلات على إطار على شكل حرف U مع ربطه بإحكام بكل جزء من الأنبوب. ويتم تدوير العجلات بحيث يمكن جر الطول الكلي لأنبوب الخط الفرعي مستقيماً. والأنبوب نفسها تنتصب فقط لمسافة ٠,٣ إلى ٠,٥ م فوق الأرض. وتسمح مرونة الأنبوب ومفاصل القارنات بأن تنحني الخطوط الفرعية قليلاً أثناء نقلها إلى الموقع الجديد. وفي أحد الأنواع، مع هذا، يظل الخط الفرعي مستقيماً. ويتم تثبيت العجلات بحيث تنحرف بزوايا قدرها ٤٥° من الخط الفرعي عندما يتم جره من أحد الأطراف في أحد الاتجاهات، ثم

تنحرف ثانية بزاوية 45° على الجانب الآخر عندما يتم جرها من الطرف الآخر. ومن هنا، فعن طريق الجر التبادلي من كلا الطرفين، ينحرف الطول الكلي للخط الفرعي للمسافة المطلوبة إلى الموقع التالي. ويتم ربط القارئة والعقدة بكل طرف من الخط الفرعي وبهذا يمكن سحبه في أي من الاتجاهين. ويتم استخدام غطاء طرفي لسد نهاية السريان في خط الأنابيب. ويتم تركيب سدادات صرف على امتداد الخط الفرعي لتفريغ المياه من خط الأنابيب قبل النقل. وغالباً ما يتم استخدام خرطوم مرن لربط بداية الخط الفرعي بالخط الرئيس. وإذا كان يتم استخدام أكثر من خط فرعي في حقل واحد، فيكون هناك حاجة للقيام بوضع تجهيزات لفك الخط الرئيس أثناء نقل الخط الفرعي. ويمكن استخدام قارن متداخل لهذا الغرض. وعندما يصل الخط الفرعي إلى حافة الحقل، فلا بد من فك أجزائه ونقله إلى موقع البداية. وإذا كان المكان المحيط سهل الاستخدام، فمن الممكن جر الخط الفرعي حتى موقع البداية.

وإن الطريقة التقليدية لنقل الخطوط الفرعية المسحوبة بالزلق تكون عن طريق دحرجتها خلف الخط الرئيس في منحنى على شكل حرف S حتى موضع جديد على الجانب الآخر (الشكل رقم ١٨، ١٦). وللموضع التالي، فإنه يتم سحب الخط الفرعي في الاتجاه الآخر خلف الخط الرئيس في منحنى على شكل حرف S في اتجاه معاكس. وبهذه الطريقة، فإن كل نقلة تحتاج إلى تقديم الخط الفرعي فقط لمسافة تساوي نصف المسافة بين المواضع المتجاورة.

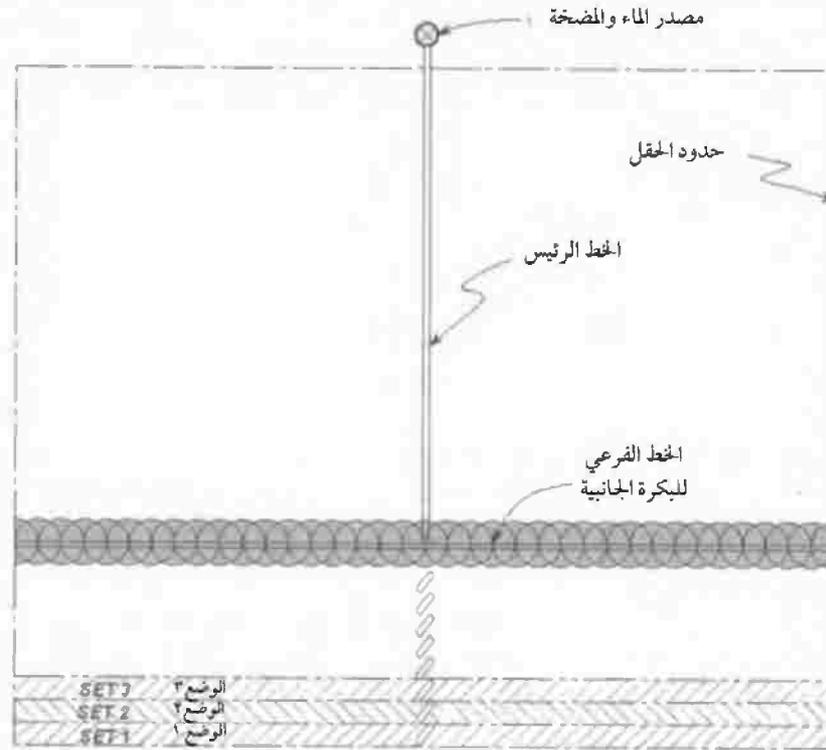
وتعد نظم السحب بالزلق هي الأقل تكلفة بين النظم المنقولة ميكانيكياً. ولكن لا يتم استخدامها بشكل موسع؛ لأن عملية النقل عملية مضجرة، وتتطلب تشغيلاً حريصاً، وتؤدي إلى تلف كثير من المحاصيل. وقد تم استخدام نظم السحب بالزلق بنجاح في بعض محاصيل العلف وفي محاصيل الصيفية. ويتم القيام بعمليات النقل بصورة أسهل إذا كان الخط الرئيس مدفوناً.



الشكل رقم (١٦، ١٨). صورة ومخطط تشغيلي لنظام السحب أو السحب بالزئبق.

(٤, ٦, ١٦) نظم البكرة الجانبية

يعد نظام البكرة الجانبية، أو الحركة بالعجلة هو النوع الثالث من نظم نقل الخطوط الفرعية دورياً. وفي هذا النظام، يتم تركيب العجلات على خطوط الرش الفرعية لتحمل خط الأنابيب فوق المحصول (الشكل رقم ١٩, ١٦). وتعمل العربة الخفيفة على توفير القوة اللازمة لإدارة العجلات، ويمكن وضع العربة الخفيفة ومغذي المياه للبكرة الجانبية في أي مكان على امتداد الخط الفرعي. وكثيراً ما يتم استخدام خط الأنابيب كمحور لعزم الدوران، ولكن، يمكن استخدام عمود إدارة منفصل لإدارة الأنبوب. غالباً ما يتم استخدام عدة خطوط فرعية في الحقل الواحد. وهناك جهاز خاص له حلقة ربط ووزن يتم استخدامه لإبقاء الرشاشات في الوضع الرأسي عندما يكون دوران خط الأنابيب غير دقيق. ويمكن أن يكون الخط الرئيس فوق أو تحت الأرض. وغالباً ما يتم استخدام خراطيم مرنة لربط فرع البكرة الجانبية بالخط الرئيس. وتسمح القارنات الصلبة بدرجعة الخط الفرعي بأكمله للأمام عن طريق بذل عزم دوران عند المركز في حين يبقى الأنبوب في خط مستقيم تقريباً، ويُشاع استخدام الأنابيب الألمونيوم التي قطرها ١٠٠ أو ١٢٥ مم. وللحصول على قوة كافية، فلا بد أن يكون سمك جدار الأنبوب الألمونيوم على الأقل ١,٨ مم. إن وحدة دفع لها محرك، عادة ما تكون قرب مركز الخط الفرعي، تعمل على توفير عزم دوران لتحريك الخط الفرعي وحمل وإبقاء الأنبوب في مكانه أثناء التشغيل. وعادة، تحتوي وحدة الدفع على محرك جازولين وناقل إشارات لاسلكية مع ترس عكسي. ويتم كذلك استخدام المحركات الكهربائية أو المحركات الهيدروليكية. إن طول الخط الفرعي النمطي يبلغ ٤٠٠ م، لكن يتم القيام بعمل خطوط أطول باستخدام وحدتي دفع متباعدتين بمقدار نصف طول الخط الفرعي، ومتصلتين بعمود إدارة. وحيث إنه يتم بذل أكبر عزم دوران على الأنبوب قرب وحدة الدفع، فإنه عادة ما يتم استخدام أنبوب قطره ١٢٥ مم قرب منتصف الخط الفرعي للحصول على قوة أكبر. ويجب أن تكون الأنبوب مرناً بصورة كافية بحيث يمكن استخدام هذه النظم على تضاريس دوارة مع وجود ميول متوسطة.



الشكل رقم (١٦, ١٩). الصورة والمخطط التشغيلي لنظام الري باستخدام البكرة الجانبية.

وإن المسافات بين الرشاشات الأكثر شيوعاً في الاستخدام (وطول الأنبوب) هي ١٢,٢ م. وعادة ما يتم وضع العجلات عند منتصف كل طول أنبوب، مع وضع الرشاشات في منتصف المسافة بين العجلات. وبالتالي، فإن خطأ فرعياً قياسياً طوله ٤٠٠ م يحتوي على ٣٢ أنبوباً و٣٦ عجلة لأنه يلزم وجود أربع عجلات لوحدة الدفع. وأحياناً يتم وضع عجلة إضافية لقطاع الأنبوب الأخير عند كل طرف.

ويمكن فصل القارنات الصلبة بسرعة لتقصير الخط الفرعي في حالة وجود حقول لها أشكال غريبة. وغالباً ما يتم توفير رشاشات لها ضابطات مستوى ذاتية، وبهذا سوف تصحح وضعها إذا لم يتوقف الخط الفرعي حيث سيكون الحامل لأعلى تماماً، أي، على التضاريس المتغيرة، وللمساعدة في محاذاة الخطوط الفرعية مع صمام الخط الرئيس. وقدر العمالة تقريباً بأنها خمس دقائق لكل خط فرعي في كل نقلة. وبعض وحدات دفع البكرة الجانبية يمكن التحكم بها من نهاية الخط الفرعي، مما يلغي الحاجة للسير إلى منتصف وحدة الدفع. وقد قام على الأقل مصنع واحد بتطوير نظام بكرة جانبية آلي يمكن برمجته لتصريف ونقل نفسه وري حتى خمس مجموعات. ويتم إضافة المياه باستخدام خراطيم مرنة.

ولا بد أن يكون قطر العجلة كبيراً بصورة كافية بحيث يمر الأنبوب فوق المحصول بدون التسبب في إتلافه، ولن يمنع المحصول الخط الفرعي من أن يتم دحرجته إلى الموضع التالي. وأقطار العجلة الشائعة هي ١,١٧، و١,٤٧، و١,٦٣، و١,٩٣ م.

ويتم كذلك وضع صمام صرف محمول بزنبك عند منتصف المسافة بين العجلات تقريباً، قرب قارن الأنبوب وقرب الرشاش. وهذا الصمام يُفتح تلقائياً عندما يتوقف الضغط، وبهذا سوف يفرغ الأنبوب بسرعة وتسمح بحركة الخط الفرعي للأمام إلى المجموعة التالية بدون خسارة كثير من الوقت. (ومحاولة دحرجة خط الأنابيب عندما يكون ممتلئاً بالمياه سوف يتلف المعدات).

وإن تباعد البكرة الجانبية الأكثر شيوعاً على امتداد الخط الرئيس هو ١٨,٣ م. وتستخدم اثنان من مخططات التشغيل الشائعة. في أحد المخططات، يتم توصيل الخط الفرعي لكل صمام مخرج على امتداد الخط الرئيس، وعندما يصل الخط الفرعي إلى وجهته ويكمل مجموعته الأخيرة، يتم دحرجته ثانية إلى نقطة البداية. وفي المخطط الآخر، يتم توصيل الخط الفرعي بكل صمام مخرج له رقم مزدوج على الخط الرئيس في حين يتم نقل الخط الفرعي عبر الحقل، ثم يتم توصيله بالصمامات التي لها رقم فردي في حين يتم نقل الخط الفرعي للخلف حتى موضع البداية. وبالنسبة للحالة الأخيرة فإن الفواصل الفرعية بين عمليات الري تكون أطول عند طرفي الحقل أكثر من المنتصف.

وكما هو الحال مع الخطوط الفرعية التي تنقل يدوياً، يكون هناك ميل للفتح التام لصمام الصنبور لملء الخط بأقصى سرعة ممكنة، مما يتسبب في حدوث طرق مائي عند الطرف الأقصى من الخط. وبالتالي، يوصى باستخدام سداة دفع عند الطرف المغلق. ويوصى أيضاً باستخدام الإزاحات (التعويضات)، وبشكل خاص حالة ١٢.٢ م مع مسافة بينية قدرها ١٨,٣ م. وتعد الخطوط الفرعية مع البكرة الجانبية عرضة بدرجة عالية لتلف الرياح عندما تكون فارغة، ولا بد من تخزينها على الأرض عندما لا تكون في وضع الاستخدام. إن الأقواس الخاصة، التي تسمح للخط الفرعي أن يتدحرج في اتجاه واحد فقط، تساعد على حماية الخطوط الفرعية خلال موسم الري. وعادة ما يكون الخط الفرعي الذي له ٣٢ رشاشاً مصمماً بأنبوب قطره ١٠٠ مم، حتى عندما يتم إضافة المياه فيه من طرف واحد وتكون فواقد الاحتكاك من ٥٥ إلى ٦٠ كيلويسكال. ولكن، إذا كان يتم السماح بدخول المياه عند منتصف الخط الفرعي، فإن فواقد الاحتكاك تقل بمقدار ٥/١. وسوف يكون للأنبوب التي قطرها ١٢٥ مم فقط حوالي ٣/١ فواقد الاحتكاك التي للأنبوب التي قطرها ١٠٠ مم عندما يتم السماح بخروج المياه من طرف واحد. وسوف تعتمد أفضل الطرق على السعر المستقبلي وتوفر الطاقة. وعادة ما يُفضل استخدام خطوط فرعية طرفية التغذية؛ لأنه

يمكن الحفاظ على محرك الأقراص الذي يحدث فيه الدفع من خلال الطريق على امتداد الخط الرئيس لأجل الوصول بيسر للصمامات.

(١٦, ٦, ٥) الحركة الجانبية للخطوط على عربة مقطورة

يتم تثبيت الخطوط الفرعية للحركة الجانبية للخطوط على عربة مقطورة على إطارات على شكل حرف A مثبتة على عجلات، ولا تعمل الأنبوب كمحور للعجلات ويمكن أن تكون في وضع أعلى فوق سطح الأرض. وكل عربة على شكل حرف A يتم دفعها من خلال عمود الدفع الذي يمتد على طول خط الأنابيب. ويمكن أن يتم تدوير عمود الدفع من منتصف الخط أو من أحد الأطراف. وأحد التصميمات تستخدم خطأ فرعياً من نوع الحركة المستمرة (محور مركزي) يعمل بنمط تحريك الوضع الثابت. ويتم تدوير العجلات باستخدام المحركات الكهربائية أو الهيدروليكية التي تتولد من مولد موجود على السطح أو من مضخة هيدروليكية.

ويمكن أن تحمل خطوط العربة المقطورة صغيرة القطر عدة رشاشات. وعادةً، يتم استخدام حوامل رشاشات قصيرة؛ لأنها أسهل في الإبقاء في وضع عمودي أكثر من الحوامل الطويلة. ويتم استخدام الركائز (أذرع امتداد) عند آخر رشاش عند كل خط لإبقاء الحوامل في الوضع العمودي، ولكنها قد تؤدي إلى تلف بعض المحاصيل.

ويُسمى هذا النظام أحياناً "بالوضع الثابت القابل للنقل". وهو يعمل إلى حد بعيد على تقليل عدد التنقلات اللازمة لتغطية الحقل، وبالتالي يوفر العمالة. ويمكن استخدام المسافة بين الرشاشات وأقطار الفوهات التي تعطي معدلات إضافة منخفضة بانتظامية مقبولة. وفي وجود معدلات الإضافة المنخفضة، يمكن أن تكون أزمدة الأوضاع التي تبلغ ٢٤ ساعة عملية لبعض أنواع التربة والمحاصيل الزراعية، مما يتيح وضع جدولة للعمل في وقت النهار العادي لمن يقوم بالري. وعندما يصل نظام خط العربة المقطورة إلى نهاية الحقل، يتم فك تقارن الخط، ونقل الخط الفرعي إلى الأطراف العكسية من الخطوط المنتشرة، والتي يتم عندها فك تقارنها ليتم الري في طريق العودة عبر الحقل. ويمكن أن يتم جعل العجلات في معظم نظم الحركة

الجانبية بزاوية قدرها 90° ، مما يسمح بأن يتم سحب الخط الفرعي بشكل مستقيم إلى حقل آخر.

(١٦,٧) النظم المحورية

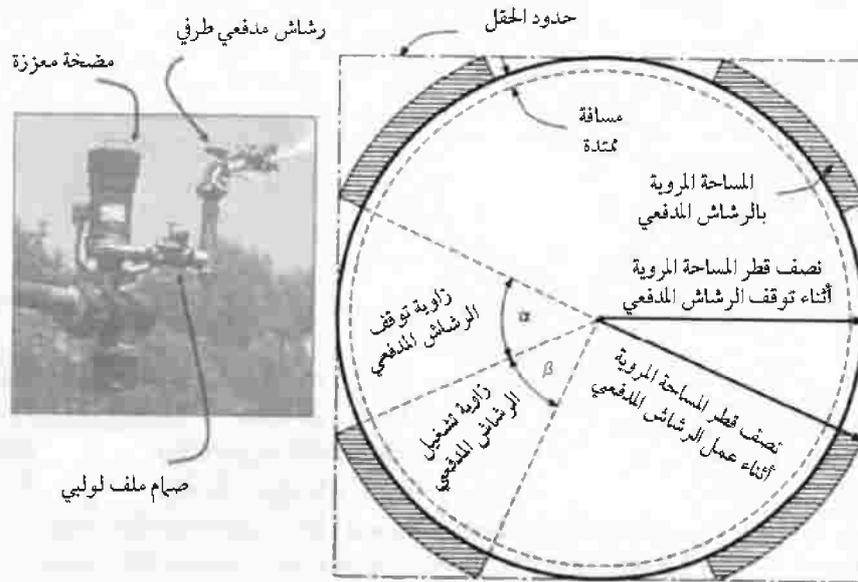
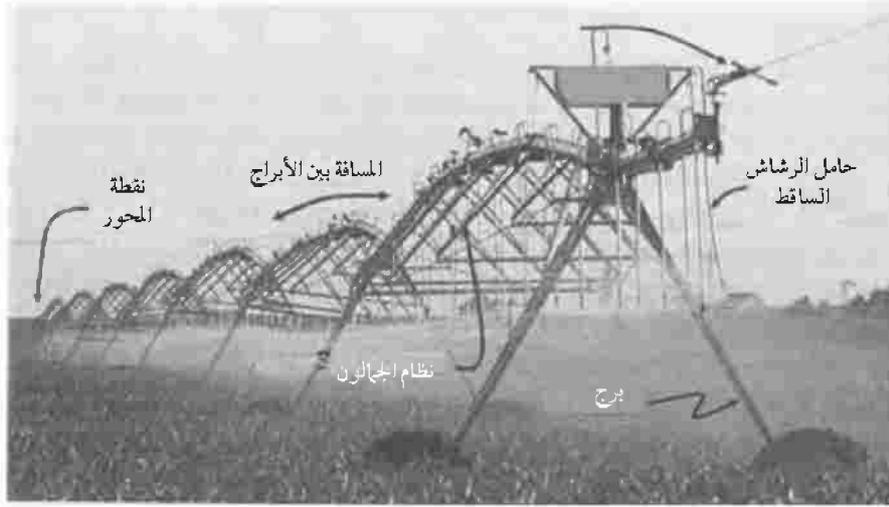
في عام ١٩٤٨ اخترع فرانك زيباك Frank Zybach نظام الري ذاتي الدفع، واستخدم في اختراعه الأبراج ذات العجلات لحمل خط الأنابيب حول نقطة محورية في الحقل. وعلى الرغم من أن اختراعه قد تعرض لتغييرات عديدة، إلا أن المفهوم الأساسي مازال مستخدماً. ويتم دعم جسر الأنابيب ببرج ونظام جمالون (الشكل رقم ١٦,٢٠). واليوم يتم دفع معظم النظم عن طريق المحركات المدارة كهربائياً أو هيدروليكية والتي يتم تثبيتها على كل برج. ويقوم نظام من المفاتيح على كل برج بإمداد الطاقة للمحرك عندما يكون البرج بحاجة إلى التحرك. ويتم التحكم في عمق الماء المضاف عن طريق اختيار سرعة البرج الأخير أو البرج الطرفي. وفي كثير من النظم الكهربائية يتم استخدام مؤقت للدقيقة الواحدة للتحكم في السرعة. فإذا تم وضع المؤقت عند قيمة 100% ، فإن المحرك الموضوع عند البرج الطرفي يتم توصيل الطاقة له عبر دقيقة كاملة مما يتسبب في تحريك البرج الطرفي بسرعة ثابتة تساوي أقصى سرعة للنظام. وإذا تم وضع المؤقت عند قيمة قدرها 50% ، فإنه يتم إمداد المحرك بالطاقة لمدة 30 ثانية فقط، وبالتالي، فإن البرج الطرفي يكون ثابتاً لمدة 30 ثانية ثم يتحرك لمدة 30 ثانية عند أقصى سرعة بالنسبة للبرج الطرفي. وتوفر بعض النظم الهيدروليكية والكهربائية حركة مستمرة للبرج الطرفي عند سرعات مختلفة لإضافة العمق المطلوب من المياه المضافة. ويتم التحكم في الأبراج الداخلية عن طريق مفاتيح أو صمامات مثبتة على البرج. وأحد المفاتيح أو الصمامات يتم وضعه لإمداد الطاقة للمحرك إذا تحرك برج خلف السريان لمسافة بعيدة بدرجة تكفي لتجاوز زاوية البداية. ويعمل المفتاح أو الصمام على إمداد الطاقة للمحرك ويتسبب في أن يتحرك البرج بسرعة ثابتة. ويتحرك

البرج حتى تتجاوز الزاوية بين الأنابيب المتجاورة زاوية التوقف. وفي حالة النظم مستمرة الحركة فإن الأبراج الداخلية تتحرك باستمرار عند سرعات مختلفة للحفاظ على المحاذاة. ويمكن تصميم الأبراج الداخلية لتتحرك بسرعة أكبر من السرعة التي يتحرك بها البرج الطرفي بما يسمح لهم باللحاق بالبرج الطرفي للحفاظ على المحاذاة.

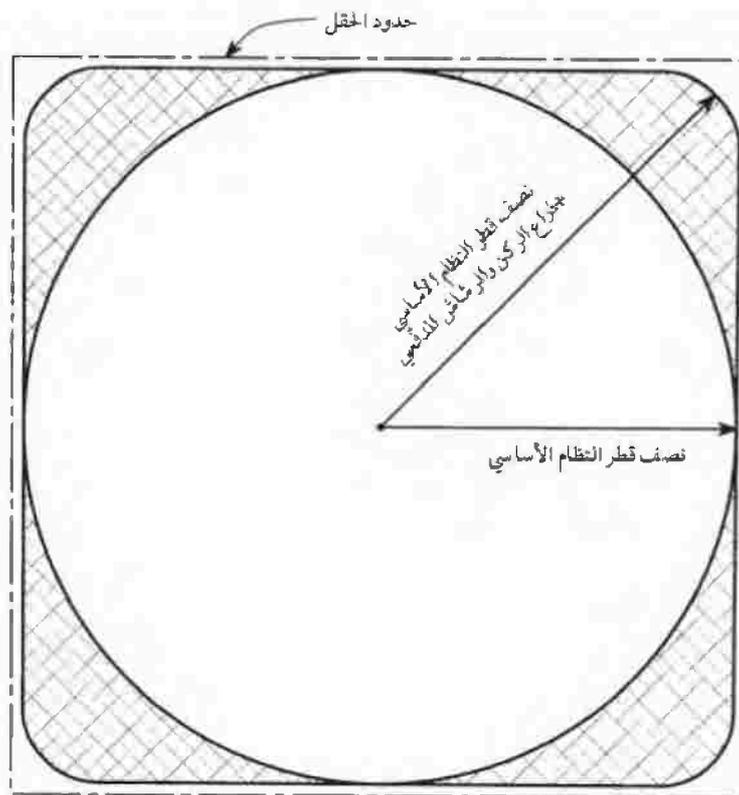
ومتاح في الوقت الحاضر أجهزة تحكم لتغيير السرعة و/أو اتجاه دوران خط المحور بدوران النظام في الحقل. وهذا يعد شيئاً مفيداً إذا كان يتم زراعة محاصيل مختلفة تحت محور واحد أو إذا كانت هناك عوائق موجودة في الحقل. ويتم كذلك القيام بعمل نظم محورية صغيرة يمكن نقلها داخل الحقل، أو من حقل لآخر. وهذا يسمح بعمل عملية الري شبه آلية للحقول غير منتظمة الشكل وقطع الأراضي الصغيرة.

ويمكن تزويد النظم المحورية بمدفع طرفي لزيادة الجزء من الحقل المروي (الشكل رقم ١٦،٢٠)، والمدفع الطرفي هو رشاش ضخم يشبه الرشاش المستخدم على عربة النقل في النظام المدفعي، وهو يركب عند نهاية الخط المحوري. ويقوم المدفع بإلقاء المياه على امتداد مسافة طويلة وبناء على هذا تزداد مساحة الأرض المروية بالنسبة لطول ما من الخط الفرعي. ويتم إلحاق صمام بالمدفع الطرفي وبهذا يعمل المدفع الطرفي فقط في أركان الحقل. وعندما يصل الخط المحوري إلى زاوية دوران سابقة الإعداد، يفتح الصمام ويتم إمداد المياه إلى المدفع الطرفي. وفي بعض الحالات يتم إلحاق مضخة معززة إلى الصمام لتزيد ضغط المدفع الطرفي.

ويمكن استخدام نظام ري أركان قادر على ري جزء أكبر من حقل مربع. ويتم إلحاق جسر خاص لنهاية النظام المحوري التقليدي (الشكل رقم ١٦،٢١). ويدور جسر الركن حول طرف الخط المحوري. ويتم تثبيت جسر الركن خلف الخط الفرعي الرئيس عندما يكون حد الحقل قريباً من نهاية الخط المحوري. وتبدأ الرشاشات الموجودة على جسر الركن في الري عندما يدور المحور بزاوية للمكان الذي لا تصل فيه مجموعة الرشاشات على الخط الفرعي الأساسي إلى حدود الحقل.



الشكل رقم (١٦,٢٠). مكونات وتخطيط حقل لنظم الري ااخورية النمطية.



الشكل رقم (١٦، ٢١). صورة ومخطط تشغيلي للمحور المزود بنظام ري ركني.

ويتم إلحاق الرشاشات الموجودة على جسر الركن إلى سلسلة من الصمامات. ويدوران الخط المحوري تجاه ركن الحقل، فإن خط الركن يمتد وتفتح الصمامات بامتداد خط الركن. ويمكن أن يتم تركيب مدفع طرفي إلى خط الركن لإلقاء المياه إلى مسافة أبعد في الركن. وتستخدم كثير من نظم الأركان كابلاً تحت الأرض ولاقطاً هوائياً على برج الركن ليتبع العمق المرغوب. ويمكن ضبط وضع الكابل بحيث يتم ري الحقول غير منتظمة الشكل وللتحرك حول عوائق دائمة.

للنظم المحورية كثير من المزايا والتي من بينها:

- التشغيل الآلي: يمكن تشغيل النظم المحورية بأقل قدر من العمالة في الغالب للقيام بعمليات دوران بلا توقف. ويمكن التحكم بها كذلك عن بعد من المركبات الزراعية للحقل أو من أجهزة الحاسب الآلي.

- المقدرة على إضافة أعماق ري صغيرة: حيث إن النظم تكون آلية، فإنها يمكن أن تضيف كميات ري صغيرة لتتوافق مع احتياجات المحصول بدون نزح الأسمدة.
- انتظامية عالية جداً: حيث إن الخط الفرعي يتحرك ببطء ولأن هناك كمياً كبيراً من التداخل في إضافة المياه من الرشاشات المتتابعة على الخط الفرعي، فإن النظم المحورية تضيف المياه بانتظامية شديدة.

- الري الكيمائي: يمكن إدارة المحاور كي تقوم على نحو سريع ومنتظم بري الحقل باستخدام كميات صغيرة من المياه، والتي توفر الفرصة لإضافة الأسمدة، ومبيدات الحشائش الضارة، ومبيدات الحشرات.

- تتطلب إعداداً سنوياً بسيطاً: بمجرد أن يتم إنشاء النظام، فإنه يمكن تشغيل المحور في أي وقت يكون هناك حاجة عنده للمياه. وهذا أمر مميز لإنبات المحاصيل أو لإعداد أماكن وضع البذور.

بعض عيوب النظم المحورية هي:

- التكلفة: بناءً على المرجع، فإن تكلفة النظام المحوري تكون عالية بشكل معقول. فالتكلفة لكل وحدة من الأرض في حالة محور مركزي تغطي تقريباً من ٢٠

إلى ٣٠٪ مما هي في حالة الوضع الثابت ونظم الري الدقيق. ومع ذلك، تتجاوز التكلفة تلك التكلفة المخصصة للنظم التي تتطلب مزيداً من العمالة مثل نظم النقل اليدوي أو السحب. وتقل التكلفة لكل وحدة مساحة بزيادة طول الخط الفرعي، ولكن كثير من العوامل تعمل على تقييد أقصى طول للخط الفرعي.

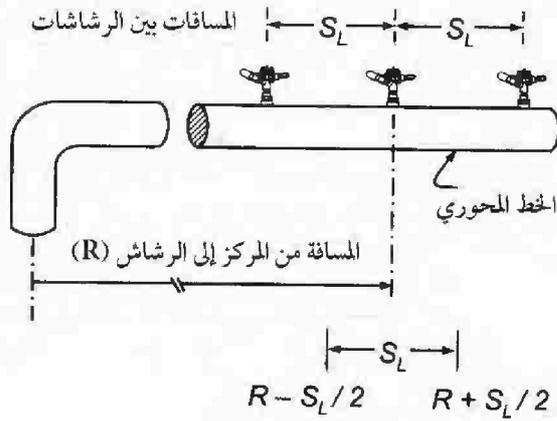
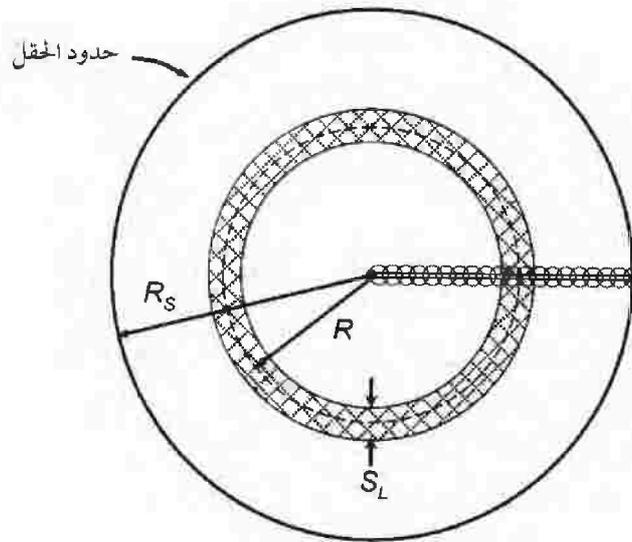
- معدلات الإضافة العالية: إن معدل إضافة المياه عند طرف المخرج للخط الفرعي يكون عالياً جداً، مما يمكن أن يتسبب في حدوث الجريان السطحي.
- النمط الدائري: تقوم النظم المحورية بري ٨٠٪ من حقل مربع. ويمكن أن تكون خسارة الإنتاج في الأركان قيمة معتبرة عندما تكون الأرض باهظة الثمن أو أنه يتم إنتاج محاصيل عالية القيمة.

إن نظام الري المدفوع ذاتياً كما أسماه مخترعه فرانك زايباك Frank Zybach (1948) شكّل تحولاً في الري. وكثير من الأراضي الآن يتم ربيها بكفاءة والتي كانت توصف في وقت ما بأنها غير مناسبة للزراعة المروية. إن نظم الري المحوري كما وضعتها صناعة الري قد أدت إلى تقليل متطلبات العمالة، وعملت على تحسين كفاءة إضافة المياه وأسهمت في الجدوى الاقتصادية لكثير من المناطق. ويصرف النظر عن كل هذا كان هناك حالات فشل عند استخدام النظم المحورية. فقد نشأت المشاكل نتيجة سوء التصميم والإدارة غير السليمة. وفي بعض المواقع أدى الإفراط في التنمية إلى السحب المفرط والجرف الزائد لمصادر المياه المكشوفة مما تسبب في انخفاض إمدادات المياه الجوفية. وبدون الإدارة السليمة من الممكن حدوث نزح للكيمياويات الزراعية وخاصة عند وجود محاصيل ضحلة الجذور في التربة الرملية. وتقوم فصول أخرى بمناقشة تخطيط وتشغيل نظم الري لتتوافق مع القيود البيئية، والاقتصادية، وقيود الموارد. والتركيز في هذا الجزء ينصب على تصميم نظم الري المحورية ليتم إضافة مياه الري بكفاءة وانتظامية.

(١، ٧، ١٦) تصرف الرشاش

لابد من حساب التصرف من كل رشاش على النظام المحوري ليتم إضافة المياه بشكل منتظم. والمساحة الواقعة في المنتصف بين رشاشات خلف السريان وأمام

السريان المتجاورة تعمل على تحديد المساحة الممثلة للرشاش على المحور (الشكل رقم ١٦,٢٢).



الشكل رقم (١٦,٢٢). رسم بياني للمساحة الممثلة لتحديد التصريف من الرشاشات على الخط الفرعي للنظام المحوري.

وهذه المساحة تُعطى بالعلاقة:

$$A_R = 2\pi R S_L \quad (١٦,١٩)$$

حيث إن:

A_R = المساحة التمثيلية للرشاش عند مسافة قدرها R من نقطة المحور

S_L = المسافة الموضعية بين الرشاشات على الفرع المحوري، م

ومن الشائع أن تختلف المسافات بين الرشاشات على امتداد طول الخط الفرعي المحوري. وعادة تبلغ المسافات قرب منتصف المحور ضعف المسافات قرب الطرف الخارج من المحور. ومتوسط التصرف لكل وحدة مساحة للمحور هو نسبة التدفق للنظام المحوري مقسوماً على المساحة الدائرية المروية بالنظام الأساسي (أي، حيث يكون المدفع الطرقي أو حيث لا يكون نظام الركن عاملاً). ودمج هذه العلاقات يعمل على توفير التصرف المطلوب للرشاش الموضوع عند المسافة القطرية R من نقطة المحور:

$$q_R = \frac{2Q_S R S_L}{R_S^2} \quad (١٦,٢٠)$$

حيث إن q_R التصرف المطلوب للرشاش الموضوع على مسافة R من نقطة المحور و Q_S التصرف الكلي للنظام المحوري. ويمكن تعديل المعادلة لتشمل سعة النظام الكلية كما يلي:

$$q_R = 2 \times 10^{-4} \pi C_g R S_L \quad (١٦,٢١)$$

وللقيام بتصميم مجموعة من الرشاشات فلا بد من تحديد أقطار الفوهات لكل رشاش. وهذا يتطلب وجود بيانات حول توزيع الضغط على امتداد الخط الفرعي. وفي

حالة الأراضي المستوية فمن الممكن استخدام العلاقة التي قام بوضعها تشو وموي (1972) Chu and Moe للتوزيع :

$$(١٦,٢٢) \quad P_R = P_S + P_L \left[1 - \frac{15}{8} \left\{ \frac{R}{R_S} - \frac{2}{3} \left(\frac{R}{R_S} \right)^3 + \frac{1}{5} \left(\frac{R}{R_S} \right)^5 \right\} \right]$$

حيث إن :

P_R = الضغط في الخط الفرعي عند نقطة R .

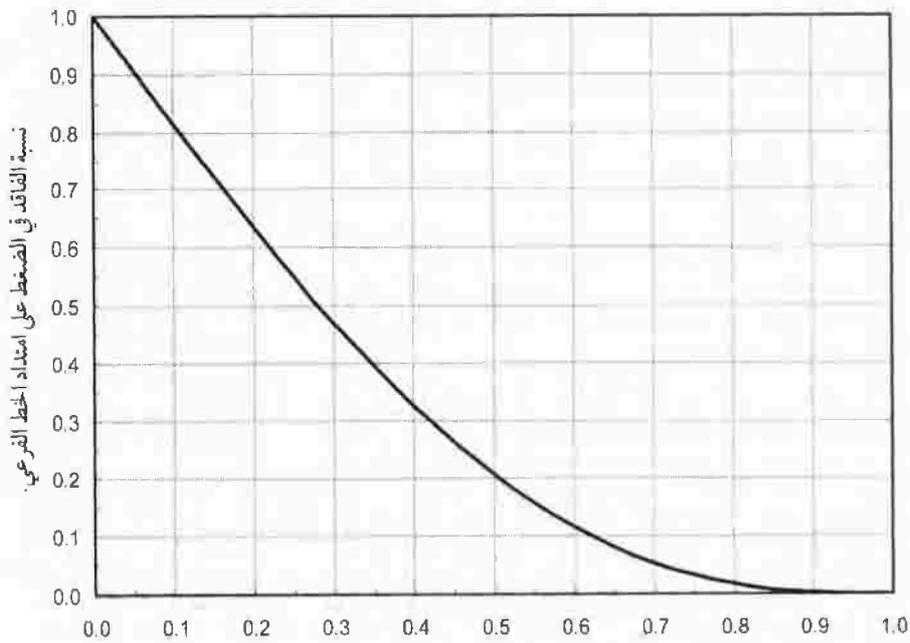
P_S = الضغط عند النهاية القصوى من الخط المحوري .

P_L = الفاقد في الضغط من المدخل إلى النهاية القصوى من الخط المحوري .

وقام كيللر وبلينسر (1990) Keller and Bleisner وسكالوبي وألن Scaloppi (1993) and Allen بعرض طرق لحساب توزيع الضغط على امتداد الخط الفرعي المحوري. وتعطي نتائجهم نفس توزيع الضغط على امتداد الخط الفرعي مثل نتائج تشو وموي (1972) Chu and Moe. والتوزيع النسبي للفاقد في الضغط على امتداد الخط الفرعي موضح في الشكل رقم (١٦,٢٣).

إن الاختلاف بين الطرق التي استخدمها تشو وموي (1972) Chu and Moe وسكالوبي وألن (1993) Scaloppi and Allen هي في الإجراءات المستخدمة لحساب فاقد الاحتكاك من المدخل إلى النهاية القصوى للخط الفرعي (P_L ، أي). وحيث استخدم تشو وموي معادلة هيزن-ويليام، واستخدم سكالوبي وألن معادلة دارسي-ويسباك. وكذلك أخذ سكالوبي وألن في اعتبارهما الاختلاف في ضاغط السرعة في الخط الفرعي في حين اعتبر تشو وموي أنها مهملة. وفي الفصل الخامس عشر ينصح باستخدام طريقة دارسي-ويسباك للحسابات الهيدروليكية. واتفق مع هذه التوصية للإضافات باستخدام جداول العمل في الحاسب الآلي و/أو برامج حساب الفاقد بالاحتكاك. وتطبيق طريقة دارسي-ويسباك لخطوط الرش الفرعية تؤدي إلى تغيير

عوامل الاحتكاك على امتداد خط الأنابيب. وهذا أمر من الصعب تقديمه في هذا الفصل ، وهكذا فإن هيدروليكا خطوط أنابيب النظام المحوري تتضح باستخدام معادلة هيوزن-ويليام في هذا الفصل.



الشكل رقم (١٦,٢٣). توزيع الفاقد في الضغط على امتداد الخط الفرعي.

يتم حساب الفاقد في الضغط على امتداد الخط الفرعي للنظام المحوري بشكل تقليدي أثناء التصنيع باستخدام معادلة هيوزن-ويليام (انظر الفصل الخامس عشر)، وبين الجدول رقم (١٦,١٠) قيم C النمطية لمواد الخط الفرعي لنظام المحوري. وحيث إن التصرف من الرشاش يختلف على امتداد الخط الفرعي بالنسبة للنظام المحوري فإن قيمة F للخطوط الفرعية في النظم المحورية تختلف عنها لخطوط الرش الأخرى. وتوضح نتائج أبحاث تشو وموي (1972) Chu and Moe أن قيمة F هي ٠,٥٤ بالنسبة للنظم المحورية

التي لا تستخدم المدافع الطرفية. ويوضح بير وآخرون (1983) Pair *et al.* أن قيمة F تبلغ ٠,٥٦ عند تشغيل المدفع الطرفي. وتم مقارنة هذه القيم مع الخطوات التي تقوم بحساب الفاقد في الضغط بين كل رشاش وآخر على امتداد الخط الفرعي المحوري كالتالي تم استخدامها من قبل كينكيد وهيرمان (1970) Kincaid and Heermann. وتوضح المقارنات أن طريقة تشو وموي (1972) Chu and Moe طريقة دقيقة بدرجة كافية.

وبناءً على هذه الخطوات فإن توزيع الضغط على امتداد الخطوط الفرعية المحورية يمكن حسابه باستخدام الجدول رقم (١٦,١٠)، وهذه النتائج تعطي نسبة الفاقد على امتداد الخطوط الفرعية التي يكون لها أنبوب ذو قطر واحد. ويوضح الشكل رقم (١٦,٢٣) أن ما يزيد على نصف الفاقد الكلي على امتداد الخط الفرعي يحدث داخل الثلث الأول من الخط الفرعي وأن ٨٠٪ من الفاقد في الضغط في الخط الفرعي يحدث في النصف الأول من خط الأنابيب. وقد أوضحت التجربة أن ضغوط التشغيل وبالتالي تكاليف التشغيل يمكن تقليلها باستخدام أنابيب ذات قطر أكبر في الجزء الأول من الخط الفرعي.

ويمكن حساب نسبة الفاقد في الخطوط الفرعية المحتوية على قطرين للأنبوب في حالة $R \geq R_c$ كما يلي:

$$(١٦,٢٣) \quad P_R = P_S + P_{Ls} \left[1 - 1.875 \left\{ \frac{R}{R_s} - \frac{2}{3} \left(\frac{R}{R_s} \right)^3 + \frac{1}{5} \left(\frac{R}{R_s} \right)^5 \right\} \right]$$

وفي حالة: $R \leq R_c$:

$$P_C = P_R + P_{Ls} \left[1 - 1.875 \left\{ \frac{R_c}{R_s} - \frac{2}{3} \left(\frac{R_c}{R_s} \right)^3 + \frac{1}{5} \left(\frac{R_c}{R_s} \right)^5 \right\} \right]$$

$$P_R = P_C + P_{LL} \left[1.875 \left\{ \frac{R_c}{R_s} - \frac{R}{R_s} - \frac{2}{3} \left(\frac{R_c^3}{R_s^3} - \frac{R^3}{R_s^3} \right) + \frac{1}{5} \left(\frac{R_c^5}{R_s^5} - \frac{R^5}{R_s^5} \right) \right\} \right]$$

حيث إن :

$R_C =$ الموقع على امتداد الخط الفرعي حيث يتغير قطر الأنبوب.

$P_{Ls} =$ الفاقد في الضغط من المدخل إلى النهاية القصوى في حالة الأنبوب

صغير القطر.

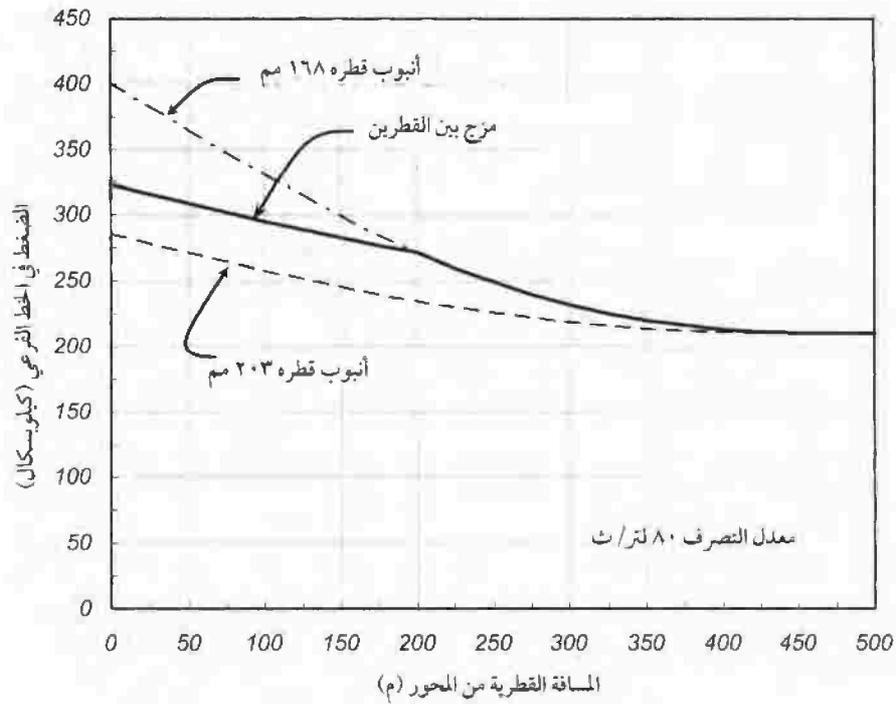
$P_{LL} =$ الفاقد في الضغط من المدخل إلى النهاية القصوى في حالة الأنبوب

كبير القطر.

وأحد الأمثلة على استخدام هذه الخطوات متضمن في المثال الموضح في الشكل رقم (١٦,٢٤). ويوضح المثال أن الاستثمار في الأنبوب الأكبر للجزء البالغ ٤٠٪ من الخط الفرعي سوف يعمل على تقليل ضغط المدخل بما يساوي ٢٠٪ تقريباً في حين أن استخدام الأنبوب الأكبر على امتداد الخط الفرعي بأكمله سوف يقلل الضغط فقط بما يساوي ٢٩٪. ومن المطلوب القيام بتحليل للتكاليف لتحديد أي البدائل تكون الأمثل. إن الحسابات المذكورة سابقاً لتوزيع الضغط على امتداد الخط الفرعي قد أهملت تأثير تغيرات الارتفاع. وإذا كان هناك ميل منتظم على امتداد الخط الفرعي فإنه يمكن تعديل الضغط بما يتناسب معه ويمكن اختيار أقطار الفوهات المناسبة لتوفير التصرف المرغوب. ولكن، يختلف أداء المحور عبر الحقل المائل بمجرد تركيب مجموعة محددة من الفوهات. وغالباً ما يكون التصميم على امتداد ميل مسطح أمراً معقولاً مقارنةً بالحقول المائلة. ولكثير من الحقول المروية باستخدام النظام المحوري فإن طبيعة الأرض تكون إما منتظمة أو مسطحة. وحيث إن تصميم مجموعات الرشاشات يتم القيام بها عادةً باستخدام برامج الحاسب التي تبدأ عند طرف الحقل من الخط الفرعي وتحدد الفاقد في الضغط وأقطار الفوهات لكل مخرج على امتداد الخط الفرعي، ويمكن استخدام الارتفاع عند كل موقع في الحسابات. ومن الشائع استخدام منظمات الضغط إذا أدت اختلافات الارتفاع في الحقل إلى اختلافات في الضغط والتي ستقلل انتظامية الإضافة لأقل من المستوى المقبول.

الجدول رقم (١٦،١٠). نسبة الفاقد (م/١٠٠ م) في أنبوب من الصلب المجلفن في حالة النظام المحوري والحركة المستقيمة. وتفترض النتائج أن قيمة C هي ١٤٠ في حالة معادلة هيزن-ويليام والأنبوب ذي القطر الواحد. وحساب الفاقد في المحوري قسم بضرب القيم في طول الخط الفرعي في معامل F المناسب.

القطر الخارجي للأنبوب (مم)										تصرف النظام (لتر/ث)
٢٥٤	٢١٩	٢٠٣	١٧٨	١٦٨	١٥٢	١٤١	١٢٧	١١٤	١٠٢	
									٠,٥٧	٥
								١,١٢	٢,٠٦	١٠
							١,٣٩	٢,٣٨	٤,٣٦	١٥
						١,٣٨	٢,٣٧	٤,٠٦	٧,٤٢	٢٠
					١,٤٢	٢,٠٩	٣,٥٨	٦,١٣	١١,٢	٢٥
				١,٢١	١,٩٩	٢,٩٢	٥,٠٢	٨,٦٠	١٥,٧	٣٠
			١,٢٢	١,٦١	٢,٦٥	٣,٨٩	٦,٦٨	١١,٤	٢٠,٩	٣٥
			١,٥٦	٢,٠٦	٣,٤٠	٤,٩٨	٨,٥٦	١٤,٦	٢٦,٨	٤٠
		١,٠٠	١,٩٤	٢,٥٦	٤,٢٢	٦,١٩	١٠,٦	١٨,٢	٣٣,٣	٤٥
		١,٢١	٢,٣٦	٣,١٢	٥,١٣	٧,٥٣	١٢,٩	٢٢,١		٥٠
	١,١٦	١,٧١	٣,٣١	٤,٣٧	٧,٢٠	١٠,٦	١٨,١	٣١,٠		٦٠
	١,٥٥	٢,٢٦	٤,٤١	٥,٨١	٩,٥٧	١٤,٠	٢٤,١			٧٠
	١,٩٨	٢,٨٩	٥,٦٤	٧,٤٤	١٢,٣	١٨,٠	٣٠,٩			٨٠
١,١٨	٢,٤٧	٣,٥٩	٧,٠٢	٩,٢٥	١٥,٣	٢٢,٤				٩٠
١,٤٣	٣,٠٠	٤,٣٧	٨,٥٣	١١,٣	١٨,٥	٢٧,٢				١٠٠
٢,٠١	٤,٢٠	٦,١٢	١٢,٠	١٥,٨	٢٦,٠	٣٨,١				١٢٠
٢,٦٨	٥,٥٩	٨,١٤	١٥,٩	٢١,٠	٣٤,٦					١٤٠
٣,٤٣	٧,١٦	١٠,٤	٢٠,٤	٢٦,٩						١٦٠
٤,٢٦	٨,٩١	١٣,٠	٢٥,٣	٣٣,٤						١٨٠
٥,١٨	١٠,٨	١٥,٨	٣٠,٨							٢٠٠
٦,١٨	١٢,٩	١٨,٨	٣٦,٧							٢٢٠
٧,٢٦	١٥,٢	٢٢,١								٢٤٠
٨,٤٢	١٧,٦	٢٥,٦								٢٦٠
المعامل F للنظام المحوري: بدون رشاش مدفعي طرفي: ٠,٥٤ مع وجود رشاش مدفعي طرفي: ٠,٥٦										
التعديل مع الأنابيب التي خشونتها مختلفة										
قيمة C: ١٠٠ ١١٠ ١٢٠ ١٣٠ ١٤٠ ١٥٠										
المتعدد: ١,٨٦ ١,٥٦ ١,٣٣ ١,١٥ ١,٠٠ ٠,٨٨										



الشكل رقم (١٦,٢٤). توزيع الضغط على امتداد الخط الفرعي للنظام الخوري مع وجود خطوط فرعية أقطارها تساوي ١٦٨ و ٢٠٣ مم، وفي حالة خط فرعي مزيج من القطرين به طول ٢٠٠ م بقطر ٢٠٣ مم وطول ٣٠٠ م بقطر ١٦٨ مم.

وتعد خطوات عمل تشو وموي (1972) Chu and Moe مفيدة في فهم هيدروليكا الخط الفرعي والتحليل البسيط للمحاور المركزية. ومع ذلك، عادة يتم تصميم نظم الري المحورية بشكل نمطي باستخدام برامج الحاسب الآلي التي تبدأ عند النهاية القصوى من المحور وتعمل بشكل متتابع بحساب الضغط المتاح عند منحرج كل رشاش أمام السريان (Heerman and Stahl, 2006). وفي هذه البرامج فإن فاقد الاحتكاك في الجزء من الخط الفرعي بين المخارج يتم حسابه باستخدام إما معادلة

هيزن-ويليامز أو معادلة دارسي-وايزباك بالنسبة للأنبوب بدون المخارج. إن فواقد الضغط من خلال التجهيزات المستخدمة لتوصيل الرشاش إلى الخط الفرعي يتم حسابها كذلك. وقد أصبح هذا أكثر أهمية، حيث إن ضغط التشغيل للرشاشات يستمر في النقصان لتوفير الطاقة وعند تركيب الرشاش على مسافة أبعد من المحور بعد استخدام منشآت السقوط. إن استخدام معادلة تصرف الرشاش بالنسبة لتصرف الرشاش المطلوب يعطي التدفق المطلوب عند كل مخرج. وبهذه المعلومة والضغط المتاح عند قاعدة الرشاش، يمكن حساب أفضل قطر فوهة ملائم. ورغم أن هناك عدداً لانهائياً من أقطار الفوهات متاح، إلا أنه ليس من الممكن أن يتم التوافق التام مع التصرف المطلوب. وكثير من المصممين يؤكدون على الخطأ التراكمي بين التدفق الكلي الفعلي في النظام وبين التدفق المطلوب. وعند كل مخرج يتم اختيار الفوهة التي تتوافق بشكل وثيق مع التصرف المرغوب من المخرج والتي تعمل على تقليل خطأ التدفق التراكمي. إن هذه الأنواع من البرامج تعمل على توفير مواصفات مفصلة جداً لخصائص النظام وتسمح باعتبار طبيعة وتضاريس الأرض.

(٢، ٧، ١٦) انتظامية الإضافة

كما في الأنواع الأخرى من نظم الري بالرش يمكن حساب انتظامية الإضافة تحت النظام المحوري من خلال النظر في العمق المتداخل للإضافة من الرشاشات الفردية. وهذا التحليل يعمل على الإرشاد إلى أفضل مسافة ملائمة للرشاشات على امتداد الخط الفرعي. وتعد الخطوات أكثر تعقيداً في حالة المحاور لأن الرشاشات الفردية ليست ثابتة وإنما تنتقل في مسارات دائرية حول الحقل. وقد قام بيتنجر ولونجباوخ (1962) Bittinger and Longenbaugh بوضع إطار العمل المستخدم لتحليل توزيع المياه من نظم الري بالرش المتنقلة. وقد افترضوا وجود حالة الرشاشات التي تنتقل في خط مستقيم وفي شكل قطري. وأوضحوا أن الرشاشات التي تنتقل في مسار له شكل قوس تنتج نمط إضافة غير متماثل والذي يصعب بعض الشيء تحليله. ولكن، يعد تأثير النمط غير المتماثل مهماً عندما تكون المسافة من نقطة المحور إلى الرشاش أكبر بخمس

مرات من نصف قطر البلبل للرشاش. وفي حالة النظم المحورية فإن دقة حساب الانتظامية الناتجة من افتراض التنقل الخطي للرشاشات سوف تكون صغيرة، وبذلك سيتم عرض هنا فقط حلول المسار الخطي.

ويتجلى هذا في الإطار المستخدم للتحليل والذي وضعه بيتنجر ولونجباوخ، والذي افترض وجود أنماط إضافة مياه مثلثية وبيضاوية بالنسبة للرشاش المفرد، كما هو موضح في الشكل رقم (١٦،٢٥). ومعدلات تساقط المياه في حالة معدلات الإضافة المثلثية والبيضاوية معطاة كما يلي:

$$P = \frac{Pp_t}{W_r} (W_r - s) \quad \text{فإن} \quad 0 \leq s \leq W_r \quad \text{في حالة الأنماط المثلثية عندما}$$

(١٦،٢٤)

$$P = \frac{Pp_e}{W_r} \sqrt{W_r^2 - s^2} \quad \text{فإن} \quad 0 \leq s \leq W_r \quad \text{في حالة الأنماط البيضاوية عندما}$$

حيث إن:

$$P = \text{معدل تساقط قطرات المياه على مسافة } s \text{ من الرشاش، مم/ساعة.}$$

$$Pp = \text{أقصى معدل تساقط للقطرات عند موقع الرشاش، مم/ساعة.}$$

$$W_r = \text{نصف القطر المبلل للرشاش، م.}$$

$$s = \text{المسافة من نقطة الرصد إلى الرشاش، م.}$$

$$t, e = \text{رموز سفلية تميز الأنماط المثلثية والبيضاوية.}$$

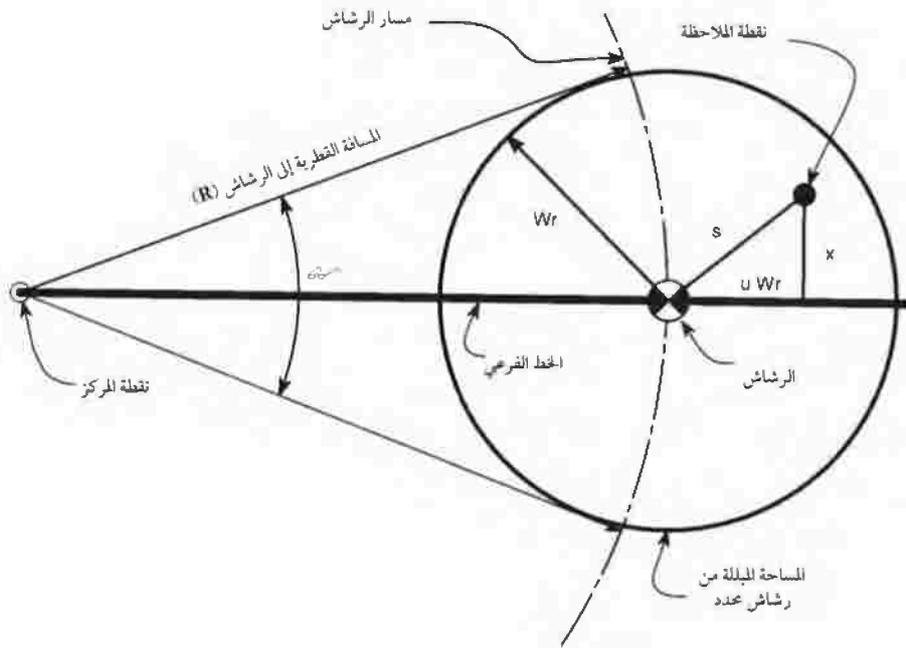
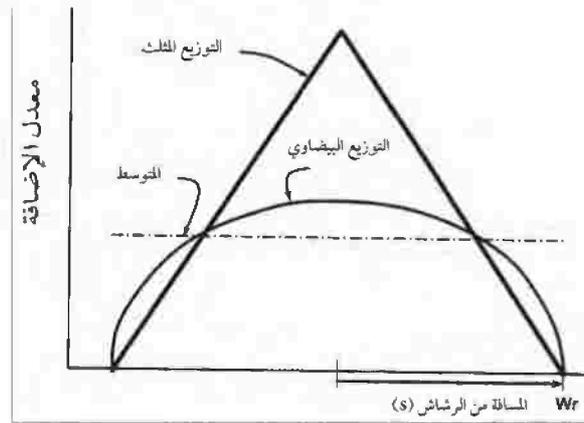
ويمكن حساب أقصى معدل إضافة للأنماط المثلثية والبيضاوية من تصرف

الرشاش الموضوع عند مسافة قطرية R ونصف القطر المبلل من هذا الرشاش:

$$Pp_t = \frac{3q_R}{\pi W_r^2} \quad \text{فإن} \quad \text{في حالة الأنماط المثلثية}$$

(١٦،٢٥)

$$Pp_e = \frac{3q_R}{2\pi W_r^2} \quad \text{فإن} \quad \text{وفي حالة الأنماط البيضاوية}$$



الشكل رقم (١٦،٢٥). توضيح للمعاملات المستخدمة في حساب انتظامية إضافة المياه في نظم الري المحورية.

وقد وضعت الحلول للحصول على عمق المياه المضافة عند نقطة ما من الرشاش المفرد أثناء حركة الخط الفرعي المحوري على هذه النقطة من قبل بيتنغر ولونقنباوك (1962) Bittinger and Longenbaugh. وقام هيرمان وهارين Heermann and Hein (1968) باستخدام هذا الإجراء لحساب عمق المياه على امتداد الخط المحوري من نقطة المحور إلى نهاية النظام المحوري. إن العمق المضاف عند نقطة يساوي مجموع المياه المضافة من كل الرشاشات التي تقوم بإضافة المياه إلى النقطة والتي تُعطى بالعلاقة:

$$d = \frac{1}{\omega} \sum_{i=1}^N \frac{W_n P p_{c_i}}{R_i} \left[\sqrt{1-u_i^2} - u_i^2 \ln \left(\frac{1+\sqrt{1-u_i^2}}{u_i} \right) \right] \quad \text{في حالة الأنماط المثلثية}$$

(١٦,٢٦)

$$d = \frac{\pi}{2\omega} \sum_{i=1}^N \frac{W_n P p_{c_i} (1-u_i^2)}{R_i} \quad \text{وفي حالة الأنماط البيضاوية}$$

حيث إن:

d = عمق المياه المضافة عند نقطة ما.

u = نسبة المسافة من الرشاش إلى النقطة بالنسبة إلى نصف القطر المبلل للرشاش.

ω = السرعة الزاوية للخط الفرعي المحوري.

R_i = المسافة القطرية من نقطة المحور إلى الرشاش i .

N = عدد الرشاشات التي تقوم بإضافة المياه إلى نقطة الدراسة.

ويمكن حساب السرعة الزاوية من سعة النظام والعمق المتوسط للمياه المضافة

(d_a) :

$$\omega = \frac{2\pi Cg}{d_a} \quad (١٦,٢٧)$$

وعند استخدام هذه المعادلة يتم اختيار سلسلة من النقاط على امتداد الخط القطري والتي تمثل كثافة نقاط الرصد المرغوبة لحساب الانتظامية. وعند كل نقطة يتم

استخدام المعادلة رقم (١٦،٢٦) لحساب العمق الإجمالي للإضافة. وقد استخدم هيرمان وهابن (1968) Heermann and Hein هذه التقنية لحساب معامل الانتظامية في حالة المحاور الذي يُعطى بالعلاقة:

$$(١٦،٢٨) \quad UC_p = 100 \left[1 - \frac{\sum \left(X_j \left| d_j - \frac{\sum d_j X_j}{\sum X_j} \right| \right)}{\sum d_j X_j} \right]$$

حيث إن:

UC_p = معامل الانتظامية في حالة النظم المحورية.

X_j = المسافة من نقطة المحور إلى النقطة التي يتم حساب العمق عندها.

d_j = عمق المياه المضافة عند النقطة j .

وأوضحت النتائج الحقلية ونماذج المحاكاة أن انتظامية الإضافة تكون عالية جداً في حالة وجود نظم محورية جيدة التصميم والتشغيل. ومن الشائع أن نجد انتظاميات أكبر من ٩٠٪ في حالة النظم المحورية. وهذا يعد أكبر من معظم الأنواع الأخرى لنظم الري بالرش أو طرق الري البديلة.

يفترض التحليل السابق أن السرعة الزاوية ثابتة. وبالطبع فإن الخط الفرعي للنظام المحوري لا يدور بسرعة زاوية ثابتة. فيتم تصميم بعض النظم المحورية بحيث تتحرك الأبراج بسرعة ثابتة لفترة من الوقت ثم يثبت البرج إلى أن يتم استقبال إشارة ليتحرك البرج مرة أخرى. ويتم تصميم نظم محورية أخرى لتتحرك باستمرار ولكن ليس بسرعة ثابتة. فإذا كان برج المحور ثابتاً عند نقطة ما فإن المساحة المروية أثناء هذا الوقت تستقبل عمق إضافة أكبر من المساحة المروية عندما يتحرك الخط الفرعي. وإذا تم

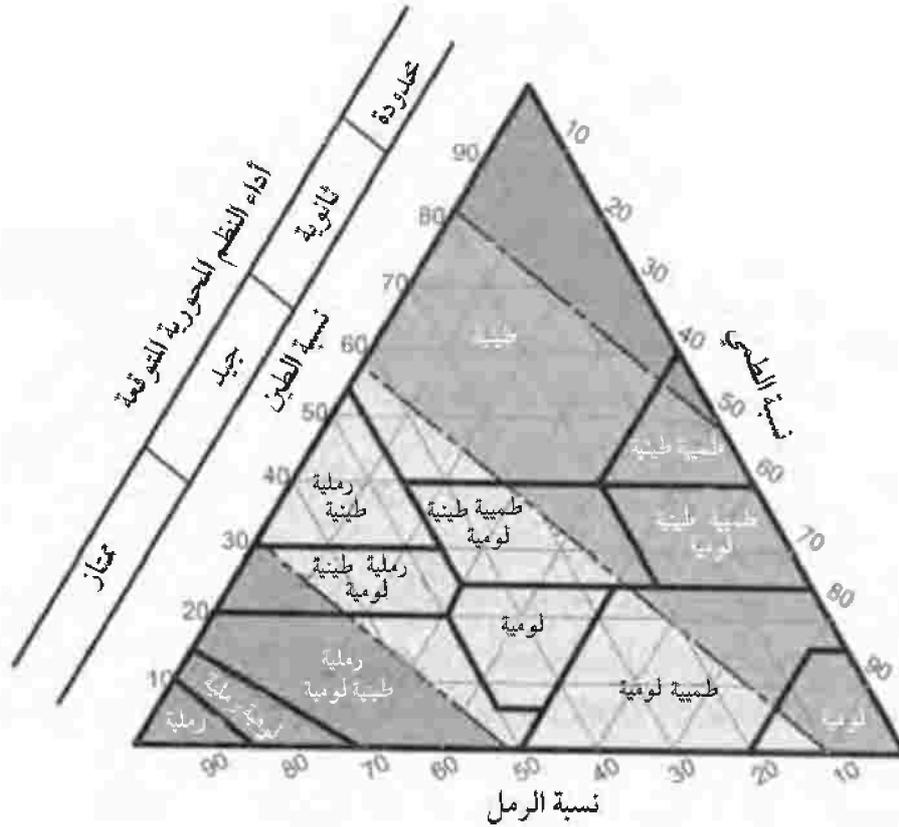
استخدام رشاشات لها نصف قطر بلبل صغير، فإن عملية ابدأ-توقف في وقت لاحق يمكن أن تؤدي إلى عدم انتظامية، كما بين ذلك هانسون ووالاندر Hanson and Wallender (1985). وباستخدام هذا البرنامج كان بمقدورهما محاكاة أداء مجموعة الرشاشات مع أي طبيعة أرض وعلى إدخال تعديلات على نظام المحور الذي يتحكم في طبيعة ابدأ-توقف للمحور. وهذه الطريقة تسمح بالقيام بالتقييم الكفاء لكثير من بدائل التصميم.

وإن التطوير المعروض يقوم على أنماط الإضافة المثلثية أو البيضاوية في حالة رشاش مفرد. والأجهزة التي تم تقديمها مؤخراً لها نمط إضافة مختلف عن تلك التي قام بتحليلها بيتنجر ولونقنباوك (1962) Bittenger and Longenbaugh. ويجب أن تكون الطريقة المعروضة هنا جنباً إلى جنب مع التوزيع أحادي الأرجل لمجموعات الرشاشات التي تشكل مصدر قلق في تقييم أداء تلك الرشاشات.

وعند هذه النقطة يمكن حساب قطر الفوهة لكل رشاش على امتداد الخط الفرعي بالنسبة لمجموعات الرشاشات البديلة. ويمكن تقدير ضغط التشغيل عند نقطة المحور بالنسبة لطبيعة أرض الحقل وكل مجموعة رشاشات. وفي النهاية، يمكن حساب انتظامية الإضافة (Heermann and Stahl, 2006). ولكن، هناك خاصيتان إضافيتان، يؤثران على ملاءمة التصميم هما الجريان السطحي وفواقد البخر.

(١٦،٧،٣) تجنب الجريان السطحي

لكي تعمل النظم المحورية بكفاءة يجب أن تكون المياه المضافة متاحة لاستخدام المحصول. وإذا جرت المياه على أرض مائلة أو تبخرت أثناء وجودها في الهواء، فلن يتم تحقيق كفاءة التصميم. وعرض كيلر وبلينسر (1990) Keller and Bleisner مخططاً بيانياً بسيطاً عن مدى ملاءمة النظم المحورية بناءً على قوام التربة (الشكل رقم ١٦،٢٦). وفي حين أن هذا يساعد على ملاءمة عامة، إلا أنه ليس كافياً لتصميم النظام المحوري.



الشكل رقم (١٦، ٢٦). الأداء المتوقع لنظم النظام المحوري بناء على قوام التربة (مقتبس من Keller and Bleismer, 1990).

ويعتبر معدل إضافة المياه تحت الأبراج البعيدة عن مركز النظام المحوري عالياً جداً. ويمكن أن يتجاوز معدل الإضافة قدرة التربة على تسرب المياه. وبعض من المياه التي يتم إضافتها بمعدلات تتجاوز معدل التسرب يمكن تخزينها بشكل مؤقت على سطح التربة. وهذا يسمى بمخزون السطح أو مخزن الاحتجاز. وبمجرد أن يمتلئ مخزن

السطح الموضوعي ، فإن الإضافة الزائدة تبدأ في التدفق عبر الحقل. ويحدث بعض التسرب عند تدفق المياه عبر الحقل. وفي النهاية ، إما أن تتراكم مياه الجريان السطحي في المناطق المنخفضة من الحقل أو تغادر الحقل. وفي كلتا الحالتين ، يكون توزيع المياه التي تتسرب مختلفاً عن توزيع المياه التي يتم إضافتها ويتم فقد بعض من المياه على هيئة جريان سطحي أو تسرب عميق. وهكذا ، تقل كل من الانتظامية والكفاءة عندما يصبح الجريان السطحي كبيراً.

وقام كينكيد وآخرون (Kincaid *et al.* (1969) بدراسة إمكانية الجريان السطحي من نظم الري المحورية. وقاموا بتطوير طريقة لتعديل معدل التسرب الذي يتم قياسه باستخدام النظم التي تقوم بتجميع المياه على سطح التربة بالنسبة للحالات التي تحدث مع استخدام النظم المحورية. ولقد كان دايلون وآخرون (Dillion *et al.* (1972) هم أول من قام بوضع خطوات التصميم التي تأخذ في اعتبارها خصائص التسرب للتربة. ولقد تم استخدام مزيج من هذه الخطوات من قبل جيلي (Gilley (1984) لوضع الخطوط الإرشادية لاختيار مجموعة الرشاشات على أساس القدرة على الجريان السطحي. وبهذه الطريقة يتم افتراض غط التوزيع البيضاوي لمجموعة الرشاشات. وإن توزيع مجموع المياه من تداخل الرشاشات الفردية يعمل على توفير معدل إضافة بيضاوي عمودي على الخط الفرعي (الشكل رقم ١٦.٢٧). ومعدل الإضافة هذا يُعطى بالعلاقة:

$$P(t) = \frac{P_p}{t_p} \sqrt{2 t t_p - t^2} \quad (١٦,٢٩)$$

حيث إن:

$P(t)$ = معدل إضافة المياه كدالة في الزمن (t) الذي يتم فيه إضافة المياه.

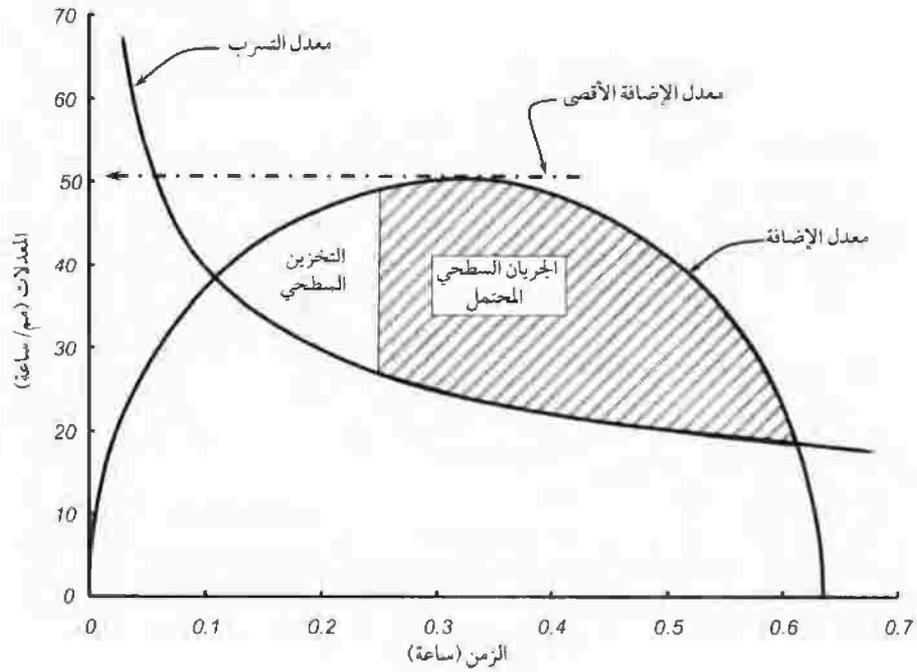
P_p = أقصى معدل إضافة في حالة النمط البيضاوي لمجموعة الرشاشات.

t_p = الزمن بعد البلب الأولي الذي يتم الوصول فيه لأقصى إضافة.

ومع هذا التوزيع لمجموعة الرشاشات يمكن حساب أقصى معدل إضافة كما يلي:

$$P_p = 4 \left(\frac{Q_s}{\pi R_s^2} \right) \frac{R}{W_r} \quad (١٦,٣٠)$$

ويوضح هذا أن أقصى معدل إضافة بالنسبة لمجموعة الرشاشات يعتمد بالكامل على تصميم النظام. وبمجرد أن يتم وضع معدل التدفق بالنسبة لنظام الري وتركيب مجموعة الرشاشات على المحور، يتم العثور على أقصى معدلات إضافة للنقاط على امتداد النظام. إن المقدار الموجود بين الأقواس في المعادلة (١٦,٣٠) يساوي السعة الكلية للنظام.



الشكل رقم (١٦,٢٧). توضيح إمكانية الجريان السطحي عندما يتجاوز معدل إضافة المحوري معدل تسرب التربة.

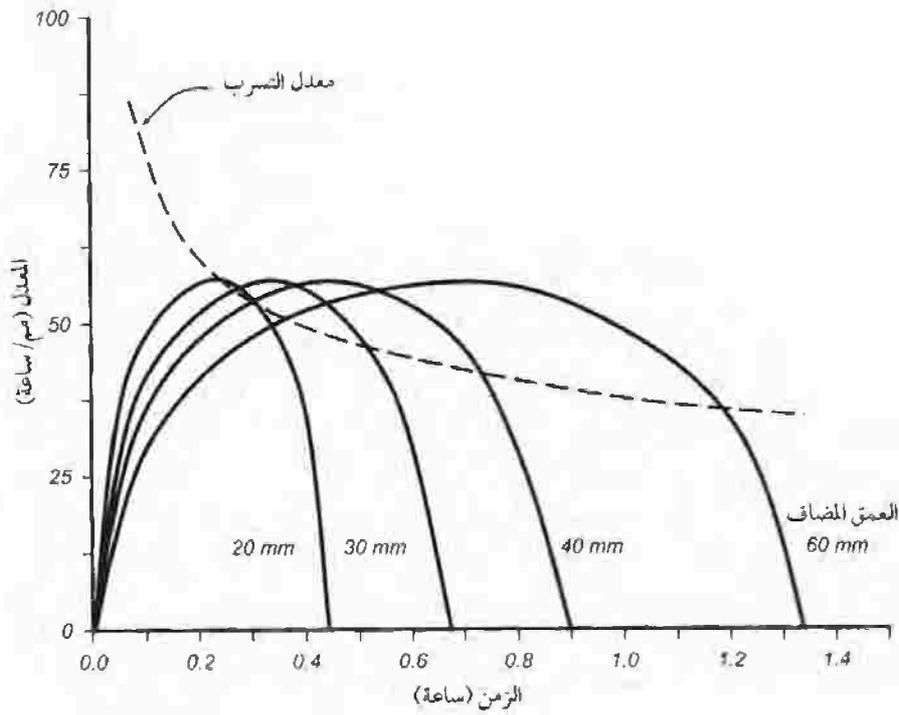
ويزداد أقصى معدل إضافة طردياً مع سعة النظام والمسافة من نقطة المحور وعكسياً مع نصف قطر البلب لمجموعة الرشاشات. ويمكن حساب الزمن المطلوب للوصول إلى أقصى معدل إضافة (t_p) من المعادلة:

$$(١٦,٣١) \quad t_p = \frac{W_r d_g}{2\pi R \left(\frac{Q_s}{\pi R_s^2} \right)}$$

وهكذا، فإن الزمن اللازم للوصول إلى أقصى معدل إضافة يكون مرتبطاً طردياً بنصف قطر البلب لمجموعة الرشاشات والعمق الكلي للمياه المضافة، وعكسياً بالمسافة من نقطة المحور وسعة النظام. ويبلغ الزمن الكلي الذي يتم فيه إضافة المياه إلى نقطة ما ضعف الزمن المطلوب للوصول إلى أقصى معدل إضافة في حالة النمط البيضاوي والذي يكون منتظماً حول أقصى معدل. وهكذا، يتأثر الزمن الذي يتم فيه إضافة المياه إلى نقطة ما بمتغيرات التصميم (أي، W_r ، R ، و Q_s ، و R_s) وبالإدارة (d_g). ويوضح المثال الوارد في الشكل رقم (١٦,٢٨) كيف يزداد احتمال الجريان السطحي في حالة زيادة أعماق المياه المضافة.

واستخدم قبلي (1984) Gilley معدلات التسرب المقدمة بمنحنيات عائلة التسرب التي قامت بعرضها هيئة المحافظة على الموارد الطبيعية لتقدير أقصى معدل من المياه يمكن إضافته قبل أن يبدأ الجريان السطحي. وتم استخدام أحجام التخزين السطحي من قبل ديلون وآخرين (1972) Dillion *et al.* لدمج آثار الميل على عملية الجريان السطحي (الجدول رقم ١٦,١١). وتعرض نتائج قبلي في الشكل رقم (١٦,٢٩) لأربعة أنواع من التربة قام بتحليلها. وتعمل النتائج على توفير السبل لبدء التقييم المناسب لمجموعة الرشاشات في الحقل في وجود أنواع مختلفة من التربة والميول.

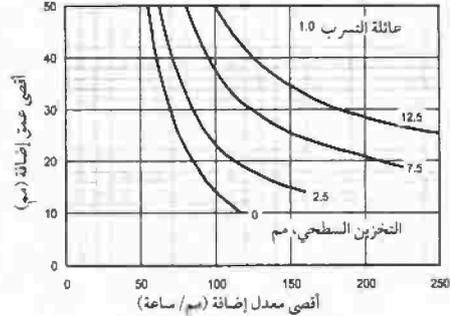
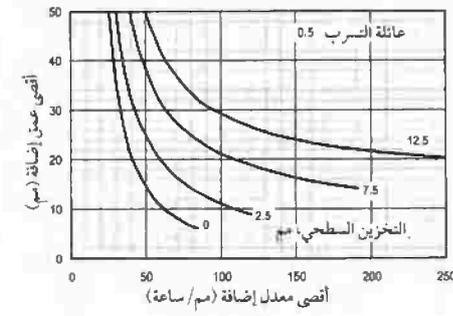
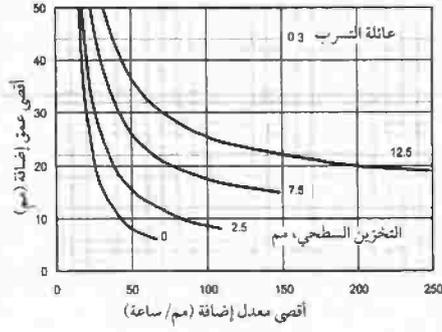
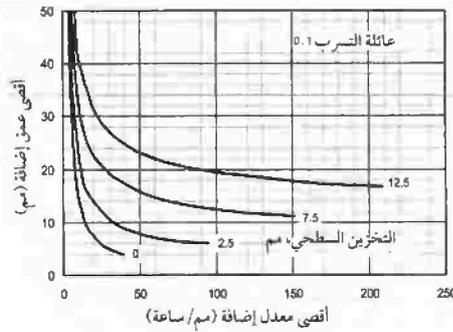
وتوسعت الطريقة التي يستخدمها جييلي لتفترض حقلاً كاملاً من قبل ويليم وآخرين (1994). *Wilmes et al.* وقام فون بيرنوث وقيلي (1985) *Von Bemuth and Gilley* ومارتن (1991) *Martin* بتعديل طريقة هاتشوم وألفارو (1980) *Hachum and Alfaro* ليتم استخدام طريقة قرين-أمبل بدلاً من طريقة العائلة لمحاكاة التسرب، وتسمح هذه التطويرات بالأخذ في الاعتبار تصلب سطح التربة والمحتوى المائي الأولي للتربة على توزيع المياه لأداء مجموعة الرشاشات.



الشكل رقم (٢٨، ١٦). توضيح تأثير عمق الإضافة على الجريان السطحي المحتمل.

الجدول رقم (١٦,١١). التخزين السطحي المسموح به كدالة في الميل (Dillon *et al.*, 1972).

التخزين السطحي المسموح به، مم	مدى الميل، %
١٢.٧	١ - ٠
٧.٦	٣ - ١
٢.٥	٥ - ٣
٠.٠	أكبر من ٥



الشكل رقم (١٦,٢٩). أقصى عمق للإضافة لتجنب الجريان السطحي كدالة في أقصى معدل إضافة بالنسبة لمجموعة الرشاشات المركبة على النظام المحوري لأربع حالات من عائلات التسرب NRCS وقيم تخزين سطحي موضحة في الجدول رقم (١٦,١١).

إن المتغيرات المعطاة سابقاً لوصف أداء مجموعة رشاشات النظام المحوري توضح أنها تضمنت متغيرات النظام الخمسة. وبأخذ هذه المتغيرات في الاعتبار يوضح أن الجريان السطحي يزداد بزيادة سعة النظام، وعمق الإضافة، وطول الخط الفرعي. ويعد الجريان السطحي مرتبطاً بشكل عكسي بنصف قطر البلب لحزم الرش، ويمكن أن تحدث المشكلات إذا كان طول الفرع المحوري زائداً، وخاصة في حالة أنواع التربة ذات معدلات تسرب منخفضة وميول حادة. وللأسف، يحاول بعض من يقومون بالتشغيل معالجة مشكلات الجريان السطحي عن طريق تقليل سعة النظام. وهذا يعمل على زيادة احتمال إجهاد المياه أثناء فترات الجفاف وتشجع الإدارة التي تضيف المياه الزائدة أثناء وقت محدد في العام عندما تكون الحاجة للمياه قليلة في جهد للحماية من فترات إمداد المياه غير الكافي. إن الطرق مثل تلك التي طورها كل من هيرمان وآخرين (1974) *Heermann et al.* وفون بيرنوث وآخرين (1984) *Von Benurth et al.*، وهويل وآخرين (1989) *Howell et al.* لا بد من توظيفها لحساب سعة النظام المطلوبة لموقع معين وتربة محددة. وتشمل هذه الطرق استخدام مياه التربة المخزونة لحمل المحاصيل عبر فترات المطلب البخاري العالية. ولا يجب على المستخدمين أن يقوموا بتقليل السعة لتجنب مشكلات الجريان السطحي.

وتعد مجموعة الرشاشات وعمق الإضافة هي التعديلات الأسهل في التطبيق بمجرد وضع النظام في مكانه. ويمكن بسهولة تعديل عمق الإضافة لكل عملية ري من قبل من يقومون بالتشغيل لإدارة الإضافات للحد من الجريان السطحي. ويمكن أن يكون هذا عملاً تكرارياً قائماً على أساس المراقبة الحقلية لمشاكل الجريان السطحي. وثانية أكثر الطرق سهولة لحل مشكلات الجريان السطحي هي استبدال مجموعة الرشاشات (ربما فقط على الأجزاء الخارجية أو البعيدة من المحور) للرشاشات التي تقوم بإمداد نصف قطر بلبل أكبر لنفس الضغط الذي كان على المجموعة السابقة. وهناك أيضاً نظم الذراع المتاحة لنشر المياه عبر مسافة واسعة للقيام بتخفيف حدة المشكلة.

وكانت هناك أيضاً مجموعة من نظم الحراثة الخاصة التي وضعت لزيادة التخزين السطحي لتقليل الجريان السطحي. وأحد التطبيقات التي تم استخدامها تعمل على خلق خزانات مغروزة. ويتم استخدام الآلة لإنشاء الخزانات المغروزة التي تستخدم طبقات التربة السفلية والتي يتبعها جهاز حفار ذو ذراع يعمل على تكوين الخزانات. وقد ساعدت الأبحاث التي قام بإعدادها كل من اولفريا وآخرين (Oliveria et al. (1987، وكرانز وايزنهاور (Kranz and Eisenhauer (1990، وكيلهو وآخرين (Cuelho et al. (1996، وغيرهم على تحديد فوائد النظم التي تقوم بتطوير الخزانات المغروزة. وتقوم الخزانات المغروزة بإمداد من ٥ إلى ١٠ لتر من التخزين في كل خزان. وبالنسبة لكثافة الخزان وتباعد الصفوف التي تم استخدامها من قبل وكيلهو وآخرين (Cuelho et al. (1996، يكون حجم التخزين مكافئاً للمياه المستخدمة خلال يومين في منتصف الموسم إذا تم إضافة المياه لكل خط ويتم حراثة كل الخطوط بشكل خاص. إن المقدرة على الحفاظ على الخزانات طوال فترة الموسم الزراعي تختلف إلى حد كبير بناءً على تماسك التربة، والميل الموجود في الحقل، وأنماط سقوط المطر. ولقد استخدمت أحواض أخرى داخل الشقوق لتخزين المياه. ويبلغ طول تلك الأحواض بشكل عام من ١ إلى ٣ م. وعلى العموم يمكن أن تقوم الأحواض بتخزين مزيد من المياه أكثر من الخزانات المغروزة ولكنها لا تتلاءم على نحو جيد مع التربة المائلة. وفي النهاية، لا بد أن يقوم المصمم بالموازنة بين كميات التوفير المحتملة لاستخدام الرشاشات منخفضة الضغط التي يكون لها أنصاف أقطار بلبل أصغر من الرشاشات التي تتطلب مزيداً من الضغط في مقابل تكاليف أعمال الحرث الخاصة لتخزين المياه التي ربما تناسب. وفي بعض المواقع هناك فائدة إضافية من الحرث خاصة في تقليل الجريان السطحي والبعثرة الناتجين من سقوط المطر.

(٤، ٧، ١٦) أجهزة ري الأركان

تزود كثير من النظم المحورية برشاشات خاصة يتم إلحاقها بنهاية الخط الفرعي للعمل على زيادة مساحة الأرض المرورية في الأركان الموجودة في الحقل، ويشغل الرشاش المدفعي الطرفي عندما يصل الخط الفرعي لزاوية مركزية ما حيث سيبقى إلقاء الرشاش

المدفعي الطرفي داخل حدود الملكية الخاصة (الشكل رقم ١٦,٣٠). ولقد تم عرض الزاوية المركزية (β) التي يقوم المحور بعملها من قبل فون بيرنوث (1983) von Bernuth:

$$(16,32) \quad \beta = \cos^{-1} \left(\frac{R_S}{R_E} \right)$$

حيث إن R_E تساوي الطول القطري الكلي المروي عند تشغيل الرشاش المدفعي الطرفي. والمساحة المروية في جهة الأركان (A_E) تعطى بالعلاقة:

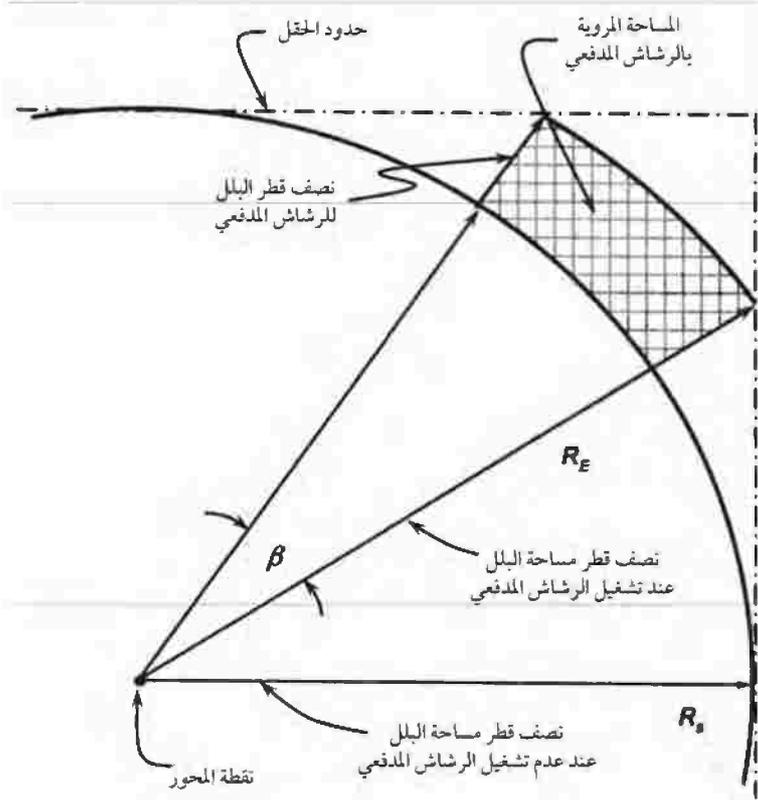
$$(16,33) \quad A_E = (R_E^2 - R_S^2) \left[\frac{\pi}{4} - \cos^{-1}(\beta) \right]$$

وتوضح هذه العلاقات أن هناك مقايضة بين الطول القطري للمساحة المروية باستخدام الرشاش المدفعي الطرفي والزاوية المركزية المروية. عندما تكون تغطية الرشاش المدفعي الطرفي قصيرة، فإن الزاوية المركزية تكون أكبر ولكن المساحة التي يتم اكتسابها لكل وحدة دوران من الخط الفرعي تكون صغيرة. إن المساحة المروية في أحد الأركان بالنسبة للمساحة المروية باستخدام النظام الأساسي موضحة في الشكل رقم (١٦,٣١). توضح هذه النتائج أن الأركان تزداد عندما يبلغ طول تغطية الرشاش المدفعي الطرفي ($R_E - R_S$) تقريباً ١٨٪ من نصف قطر النظام (R_S). يعتمد تصرف رشاش مدفعي طرفي ما على طول التغطية الناتجة منه:

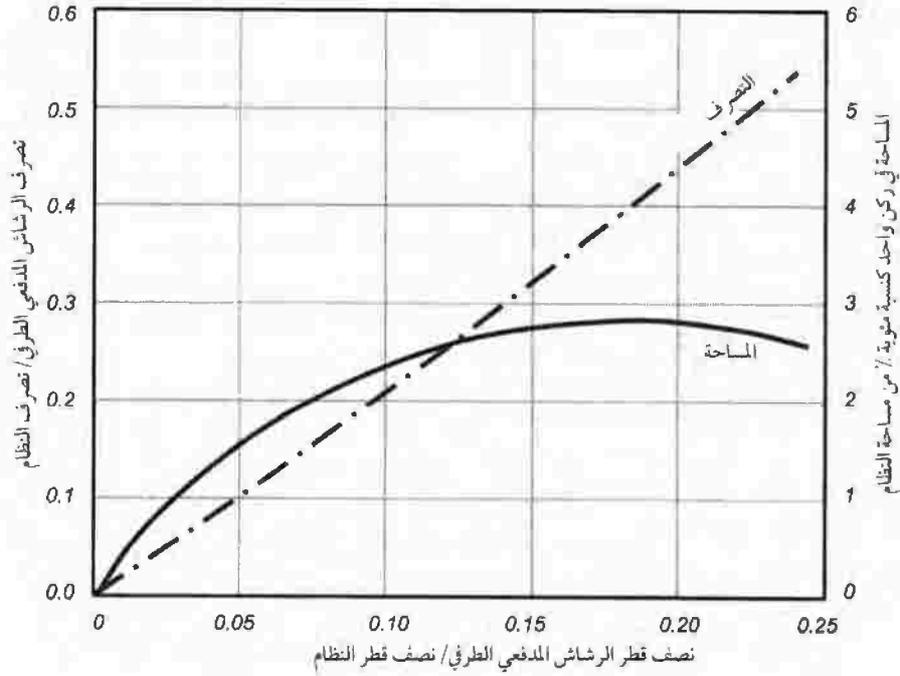
$$(16,34) \quad q_E = Q_S \frac{(R_E^2 - R_S^2)}{R_S^2}$$

حيث إن q_E هو التصرف المطلوب للرشاش المدفعي الطرفي. ويبلغ تصرف الرشاش المدفعي الطرفي تقريباً ٣٥٪ من التصرف المطلوب للنظام الرئيس إذا تم ري المساحة المثلى (الشكل رقم ١٦,٣١)، وفي حين أن النتائج الموضحة

في الشكل رقم (١٦,٣١) تبين أن المساحة تزداد بنسبة مقدارها ١٨٪ من طول النظام، فيكون من الصعب العثور على رشاشات مدفعية طرفية لتوفير نصف القطر المبلل المطلوب عند التصرف اللازم. ولا تتغير المساحة المروية في الركن بشكل كبير في حالة وجود أنصاف أقطار أكبر من ١٢٪ من طول النظام، وبالتالي، يمكن أن يكون نصف قطر البلبل للرشاش المدفعي الطرفي أقل من الأمثل مع فواقد قليلة في المساحة.



الشكل رقم (١٦,٣٠). توضيح المعاملات المستخدمة لوصف المساحة المروية في أركان المحور.



الشكل رقم (١٦,٣١). التصرف المطلوب لرشاش مدفعي طرفي ما كنسبة مئوية للتدفق للنظام الرئيس والمساحة الموجودة في أحد الأركان من الحقل نسبة للمساحة الموجودة في الحقل الرئيس.

وقام سولومون وكودوم (Solomon and Kodoam 1978) بتوفير البيانات حول نمط الرشاشات الطرفية. وقد أوضحوا أن عمق الإضافة النمطي من الرشاشات المدفعية الطرفية يقل قرب أطراف النمط المبلل من قبل الرشاش المدفعي الطرفي. لأن الإضافة تتناقص تدريجياً عند الطرف، فرمما يكون من الضروري إضافة بعض المياه خلف حافة الحقل لضمان أن المحاصيل التي تم زراعتها تتسلم إمداداً كافياً من المياه. وفي الأجواء

المناخية شديدة الرياح يعد هذا هاماً بشكل خاص. فإضافة المياه لما وراء حدود أرض المحصول المزروعة تقلل كفاءة الإضافة للرشاش المدفعي الطرفي لأقل من كفاءة النظام الأساسي وتؤثر على الزاوية المركزية إذا لم يكن بالإمكان القيام بإلقاء المياه إلى الأرض المجاورة.

وكثير من النظم المحورية المستخدمة اليوم تقوم باستخدام مجموعة رشاشات منخفضة الضغط للنظام الأساسي. وبالرغم من أن الرشاشات المدفعية الطرفية قد تطورت بحيث تتطلب ضغطاً أقل من بدايات استخدامها، وغالباً ما تتطلب الرشاشات المدفعية ضغطاً أكبر للتشغيل الكافي عن الضغط المتاح عند نهاية الخط الفرعي لكثير من مجموعة الرشاشات. وهناك حاجة بشكل عام لوجود مضخة معززة في هذه النظم للعمل على توفير ضغط التشغيل الكافي. وعادة ما يتم وضع المضخة المعززة قرب نهاية الخط الفرعي، في الغالب عند البرج الأخير. ولتوفير خط إمداد خاص يكون هذا من الخط الفرعي إلى المضخة المعززة وفي النهاية إلى الرشاش المدفعي الطرفي. ويتم حساب الطاقة اللازمة للرشاش المدفعي الطرفي من تصرف الرشاش المدفعي الطرفي والفرق في الضغط بين هذا الخاص بخط الرش الفرعي عند النهاية القصوى والضغط المطلوب للرشاش المدفعي الطرفي. وأيضاً لا بد من الأخذ في الاعتبار أي فواقد في الضغط في نظام الإمداد إلى الرشاش المدفعي الطرفي.

وكما توضح المعلومات المذكورة سابقاً فإن التصرف من الرشاش المدفعي الطرفي يمثل جزءاً كبيراً من التدفق للنظام الأساسي. وهذا يؤدي إلى مزيد من الفاقد في الضغط على امتداد الخط الفرعي أثناء عمل الرشاش المدفعي الطرفي، مما يمكن أن يتسبب في انخفاض التصرف من الرشاشات الموجودة على الخط الفرعي. وفي النهاية، لا بد من القيام بإنشاء منحنيين للنظام لتحديد كيف يتفاعل النظام المحوري مع المضخة المستخدمة لإمداد مياه الري. ولا بد من القيام باختيار المضخة التي تقوم بتوفير العمل

الكفاء في كلتا الحالتين. وسوف يكون من المرغوب فيه أن يكون الفرق صغيراً بين التصرف للنظام الأساسي عندما يعمل الرشاش المدفعي الطرفي وعندما يكون متوقفاً عن العمل.

وللقيام بري أكبر جزء من مساحة أركان الحقل ما يروى بالنظام المحوري فإنه يتم تركيب جسر ركن عند نهاية الخط الفرعي الأساسي. وعندما يدور الخط الفرعي بزاوية مناسبة، فإن جسر الركن يبدأ في التحرك إلى داخل ركن الحقل. وبقيام جسر الركن بالدوران في الركن، فإن سلسلة من الرشاشات تبدأ العمل. وتعمل مزيد من الرشاشات بدوران جسر الركن لمسافة أكبر في الركن. وتعد هيدروليكا نظام الركن معقدة جداً وتتطلب القيام بعمل نموذج على الحاسب الآلي للتنبؤ بأداء ماكينات الركن.

(١٦,٨) نظم الحركة المستقيمة

تم استخدام مكونات نظم النظم المحورية لتطوير نظام يتحرك في خط مستقيم، وتسمى هذه النظم بنظم الحركة الخطية أو المستقيمة. وتعد الأبراج، ومواد تصنيع الأنابيب، ونظم الجمالون شبيهة جداً بالنظم المحورية. والفرق أنه بدلاً من التمحور حول قاعدة ثابتة حيث يتم إمداد المياه، فإن إمداد المياه إلى الخط الفرعي يعد متاحاً عبر طول الحقل. وتعد كميات إضافة المياه وتكرار الري لنظم الحركة المستقيمة شبيهة بتلك التي تخص النظم المحورية. ومن هنا، فإن الخطوط الإرشادية وقيود التصميم والتشغيل بالنسبة للمحاور تنطبق بشكل عام على نظم الحركة المستقيمة.

ويمكن إمداد المياه إلى نظام الحركة المستقيمة من خلال واحدة من ثلاث طرق. يمكن أن تجري قناة إمداد بشكل متواز لاتجاه حركة نظام الحركة المستقيمة (الشكل رقم ١٦,٣٢). والمضخة التي يتم تركيبها على برج الإمداد تقوم برفع المياه من القناة وتقوم

بضغط المياه للنظام. وبالرغم من إمكانية إلحاق سد متنقل إلى نظام الشفط لمنع التدفقات على الحقول المائلة، فإن نظام القناة يقتصر على الحقول المستوية نسبياً في اتجاه الحركة. والخيار الثاني هو القيام بسحب خرطوم عبر الحقل بشكل شبيه بسحب المتنقل (انظر الجزء ١٠، ١٦). ويتم إمداد المياه من المضخة الرئيسة إلى الرافعة على امتداد مسار التنقل لبرج الإمداد. ويتم إلحاق خرطوم للرافعة وللمدخل عند برج الإمداد. ويتحرك الجهاز فإنه يقوم بسحب الخرطوم عبر الحقل. وفي كثير من المرات يتم وضع صمام في وسط الحقل ويكون خرطوم الإمداد طويلاً بدرجة كافية لري الحقل بأكمله بلا توقف. وإذا كان الحقل بالغ الطول، من الممكن أن تكون هناك حاجة لعدد من الرافعات. ولقد تم تصميم نظم الحركة المستقيمة للقيام بشكل آلي بتوصيل الصمامات المتصلة لخط رئيس تحت الأرض. ويتم تجهيز هذا النوع من النظم بعربات صغيرة تقوم بتحريك وجر النظام الجانبي. وتتصل العربات الصغيرة بشكل آلي بالصمامات المركبة على الرافعات من الخط الرئيس المدفون. ويتم إمداد المياه من خلال واحدة أو اثنتين من العربات الخفيفة. ويعد هذا النظام باهظ الثمن ومعقداً، وبالتالي، فقد تم إنتاج كميات قليلة من هذه النظم.

ويتطلب نظام الحركة المستقيمة نظام توجيه للتحكم في اتجاه التنقل. وقد تم استخدام ثلاثة أنواع من النظم. أحد هذه النظم يستخدم كابلاً فوق الأرض يمتد عبر الحقل موازياً لاتجاه التنقل. وتتبع مجموعة من الماكينات على العربة الصغيرة الكابل وتعمل على إبقاء الحركة المستقيمة في هذا المسار. ويقوم الخيار الثاني باستخدام إشارة من كابل مدفون منخفض الجهد له نظام توجيه باللاقط الهوائي مركب على برج المراقبة. ويقوم الخيار الثالث باستخدام خندق يتقاطع مع الحقل لتحديد الاتجاه. ويقوم الموجه باتباع الخندق لتوجيه نظام الحركة المستقيمة عبر الحقل.



الشكل رقم (١٦,٣٢). أمثلة على نظم الحركة المستقيمة التي يتم إمدادها بنظام قناة وعمرطوم قاس.

إن نظام التوجيه والمحاذة على ماكينات الحركة المستقيمة يتم تحديد حدوده للحفاظ على المحاذة السليمة ولضمان أن النظام يتبع المسار المقصود. ويتم التحكم في سرعة البرج الأخير من قبل من يقوم بالري لإضافة العمق المرغوب من المياه. وتعمل محاذة الأبراج الفردية بالنسبة لنظم الحركة المستقيمة بشكل شبيه بأبراج النظم المحورية. ولكن، لا يضمن هذا أن تتقدم الحركة المستقيمة بشكل مواز لكابيل التوجيه. ويتم تصميم ماكينات التوجيه للعمل على تقليل سرعة الأبراج الداخلية إذا بدأت الحركة المستقيمة في التحرك بعيداً عن كابل التوجيه. وإذا كان نظام الحركة المستقيمة يتقدم بزاوية مع كابل التوجيه، فإن سرعات الأبراج الداخلية تزداد مما يتسبب في أن تعمل الحركة المستقيمة على تغيير اتجاه الحركة.

لنظم الحركة المستقيمة خصائص شبيهة بالنظم المحورية. ولديها كذلك المزايا التالية:

- جزء كبير من الحقل المربع يتم ريه أكبر مما يحدث باستخدام النظم المحورية.
- يمكن القيام بري حقل له شكل مستطيل.
- يكون معدل إضافة المياه أقل مما هو باستخدام النظم المحورية، مما يؤدي إلى مشكلات أقل متعلقة بالجريان السطحي.
- وعيوب نظم الحركة المستقيمة هي:
- تكون التكلفة لكل وحدة مساحة يتم ريه أكبر بشكل فعلي منها في حالة النظم المحورية.
- يكون هناك حاجة لمزيد من العمالة لتحريك النظام إلى نقطة البداية أو لعكس النظام بحيث يصبح في الإمكان القيام بالري في الاتجاه العكسي.
- الخرطوم المستخدم لإمداد النظام يمكن أن يصعب تحريكه وتركيبه.
- نظم التوجيه والإمداد فوق الأرض تتداخل مع أعمال المزرعة.

إن استخدام نظم الحركة المستقيمة يختلف بدرجة كبيرة عن استخدام النظم المحورية. فإن تكاليف الاستثمار الأعلى والعمالة الزائدة المطلوبة لإدارة إمداد المياه ولإعادة تحديد موضع نظام الحركة المستقيمة يحولان دون الاستخدام الأوسع للنظام. ومع ذلك، تقوم النظم بعرض وعد بديل. تعد نظم الإضافة الدقيقة منخفضة الطاقة (LEPA) والأنواع الأخرى من مجموعة الرشاشات التي تكون قادرة على إضافة المياه أسفل ظلال المحصول ملائمة على نحو جيد لنظم الحركة المستقيمة. مثل هذه النظم تصبح بشكل ضروري نظم ري رذاذي متحركة. وإذا كان تطوير سبل الري الخاص بالموقع يتطور، فإن نظم الحركة المستقيمة تعد الخيار المنطقي لإمداد مياه الري، ومغذيات المحصول، والكيماويات الزراعية الأخرى. وبالتالي، فهناك أسباب جيدة لافتراض أن استخدام نظم الري بالحركة المستقيمة سوف يزداد.

(١، ٨، ١٦) التخطيط

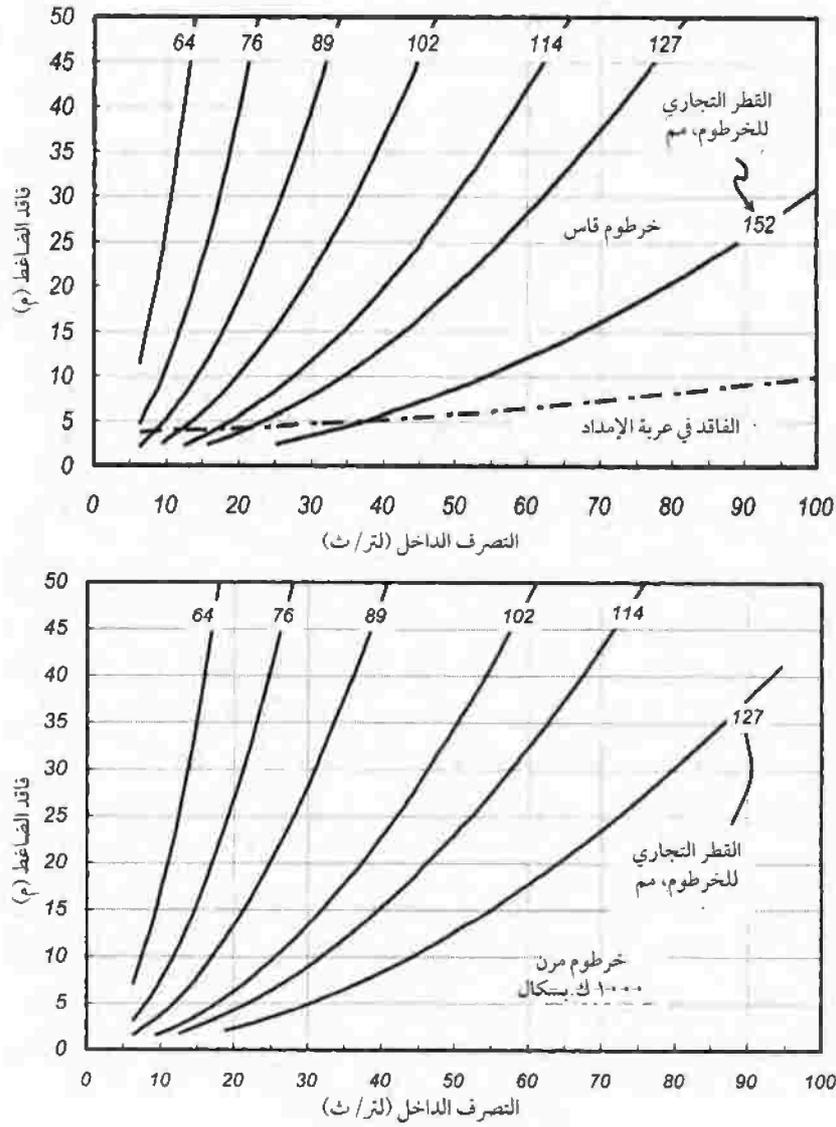
حيث إن التكلفة لكل وحدة طول من نظام الحركة المستقيمة تتجاوز عادةً التكلفة الخطية لنظام إمداد المياه، فيمكن تقليل تكاليف الاستثمار عن طريق تخطيط نظام يكون فيه خط الأنابيب الفرعي موازياً لأقصر جانب من الحقل المستطيل. هذا التوجه يؤدي إلى مسافات تحرك أكبر تنتج فترات بين الريات أطول. إن طول الحقل، وسعة إمداد المياه، وعمق الإضافة تعمل كلها على تحديد الفترة بين الريات. ويجب عند إعادة موضع نظام الحركة المستقيمة إلى موضع بداية بعد إتمام كل عملية ري فإن زمن التوقف المطلوب لنقل الحركة المستقيمة ونظام إمداد المياه يجب أن يتم اشتماله في الفترة بين الريات. وفي بعض الحالات يقوم من يقوم بالري بعكس اتجاه الحركة عند أحد أطراف الحقل ويقوم بالري في الاتجاه المعاكس كي يبدأ عملية الري التالية. وهناك زمن توقف لإعادة موضع نظام إمداد المياه لهذا النمط من التشغيل، ولكنه ليس على النحو المطلوب لإعادة موضع الحركة المستقيمة إلى موضع البداية. ومع هذا النوع من

التشغيل فإن عمق المياه المضافة والفترة بين الريات عند أطراف الحقل من الضروري أن تكون ضعف ما يوجد عند منتصف الحقل. ولا بد من اتخاذ الحيطه لتجنب التسرب العميق و/أو الإجهاد المائي عند أطراف الحقل عند التشغيل بهذا النمط.

ولا تعد نظم الحركة المستقيمة قادرة على التكيف مع الأراضي شديدة الانحدار أو التضاريس شديدة التباين. فإن أقصى ميل موصى به على امتداد الجانبين يمكن أن يصل إلى ٦٪، ولكن يجب أن يكون بشكل عام أقل من ٢٪. ونوع نظام إمداد المياه واتجاه التشغيل يحددان أقصى ميل في اتجاه الحركة. وبالنسبة لنظم التغذية بالقناة يبلغ أقصى ميل حوالي ٠.٥٪، في حين أنه يساوي ١٪ من نظم التغذية بالقناة مع وجود سد متنقل في القناة و٣٪ بالنسبة للنظم التي يتم إمدادها بالخرطوم.

ويمكن تقليل الفاقد في الضغط في الخط الفرعي عن طريق وضع نظام إمداد المياه في منتصف الحقل. ولكن، ربما يشكل هذا عقبات أمام العمليات الزراعية التي تكون أقل حدة إذا تم وضع مصدر المياه على امتداد حد الحقل. وينبغي مناقشة الآثار المترتبة على كل بديل مع المنتج.

وكما هو الحال مع جميع نظم الري بالرش يجب تصميم الخط الرئيس بعد تصميم الخط الفرعي لنظام الحركة المستقيمة. يمكن وضع منحني الضاغط-التصرف لتوافق المضخات مع نظام الرش عن طريق التعامل مع الحركة المستقيمة كرشاش جانبي كبير أو من الممكن استخدام دالة توزيع الضغط بشكل مباشر. تعتمد علاقة الضاغط-التصرف على الفواقد الحادثة في نظام النقل، وعربات الإمداد، ونظام سحب القناة. وتظهر الفواقد في مختلف مكونات النظم النمطية في الشكل رقم (١٦,٣٣). ولا بد من الحصول على بيانات حول نماذج محددة لأجل التصميم النهائي.



الشكل رقم (١٦,٣٣). فاقد الضاغط في الخراطيم القاسية والمرنة في نظام الحركة المستقيمة ونظم الري المتقلبة. وموضح كذلك فاقد الضاغط في عربة الإمداد بالنسبة للناقلات.

(١٦,٨,٢) إضافة المياه

لنظم الحركة المستقيمة خصائص شبيهة بالنظم المحورية والنظم المتقلة دورياً. ولا بد أن يكون التصرف من الرشاشات ثابتاً كما هو الحال في الخطوط الفرعية المتقلة. والتصرف يُعطى بالعلاقة:

$$q_s = \frac{Q_s S_L}{F_w} \quad (١٦,٣٥)$$

حيث يكون عرض الحقل (F_w) موازياً للخط الفرعي.

ويكون توزيع الضغط على امتداد الخط الفرعي شبيهاً بالتوزيع في الخطوط الفرعية المتقلة، ومع هذا تكون المواد التي يتم منها تصنيع الأنابيب شبيهة بمواد النظم المحورية. يمكن حساب الاحتكاك لكل وحدة طول على امتداد الخط الفرعي من الجدول رقم (١٦,١٠)، ولكن لا بد من إيجاد قيمة F بالنسبة لنظم الحركة المستقيمة كما هو الحال مع الخطوط الفرعية المتقلة.

ويستخدم الضغط والتصريف المطلوب لاختيار مجموعة الرشاشات وأقطار الفوهات. ويعد نظام الحركة المستقيمة مختلفاً عن الخطوط الفرعية المتقلة في أن قطر الفوهة ربما يختلف على امتداد الخط الفرعي بتغير الضغط. وإذا كان يتم استخدام أجهزة لتنظيم الضغط على امتداد الماكينة بأكملها، فلا بد أن تكون أقطار الفوهات ثابتة.

يعد معدل الإضافة منتظماً على امتداد الخط الفرعي من نظام الحركة المستقيمة لأن المساحة المثلثة لجميع الرشاشات متساوية. ويمكن حساب معدل الإضافة باستخدام الأنماط المثلثية أو البيضاوية كما تم عرضه آنفاً. وأقصى معدل إضافة لنظام الحركة المستقيمة يكون معطى بالعلاقة:

$$P_p = \frac{4Q_s}{\pi W_r F_w} \quad (١٦,٣٦)$$

وزمن أقصى معدل إضافة هو:

$$t_p = W_r / v \quad (١٦,٣٧)$$

حيث إن v متوسط السرعة الخطية لنظام الحركة المستقيمة و W_r نصف قطر التغطية بالنسبة لمجموعة الرشاشات.

وللحصول على تساوي لسعات النظام الصافية وكفاءات الإضافة، فإن أقصى معدل إضافة لنظام الحركة المستقيمة يكون مساوياً لمعدل الإضافة الموجود عند النقطة التي تبلغ ٦٥٪ من الطريق على امتداد الخط الفرعي من المحور. وعمق المياه المضافة لكل عملية ري يُعطى بالعلاقة:

$$d_g = \frac{Q_s}{v F_w} \quad (١٦,٣٨)$$

ويمثل الجريان السطحي مشكلة أقل مع نظم الحركة المستقيمة عنه بالنسبة للنظم المحورية؛ لأن المنحدرات الحقل تكون أقل مما يتم العثور عليه في بعض الأحيان في حالة النظم المحورية ويكون أقصى معدل إضافة أقل منه في حالة المحاور. وعلاقات الجريان السطحي في حالة النظم المحورية في الشكل رقم (١٦,٢٩) يمكن استخدامها لتحديد ما إذا كان الجريان السطحي مشكلة محتملة.

وتعمل نظم الحركة المستقيمة على توفير الفرصة للحصول على انتظامية عالية جداً للإضافة. ويمكن استخدام الرشاشات التي تعمل في جزء من دائرة لتحسين الانتظامية عند حدود الحقل. ويمكن تقدير تأثير المسافات بين الرشاشات على الانتظامية باستخدام الإجراءات المتداخلة التي تم وضعها للمحاور المركزية.

وتستبدل نظم الري بالرش الآلية بشكل متزايد محل نظم الري السطحية ، وعندما يتم استبدال النظم فلا بد أن تتغير إدارة الري. ومن المشاكل المتكررة هي أن يحاول من يقوم بالري إضافة نفس العمق من المياه لكل عملية ري باستخدام نظم الري بالرش الآلية ، وهذا يكون بشكل عام غير ناجح. وتحدث مشاكل الجريان السطحي والسحب بشكل عام عند استخدام مثل هذه الإدارة. إن إضافة أعماق أصغر في كل عملية ري تزيد من احتمال أن تقوم نظم الري بالرش الآلية بتوفير كفاءات إضافية عالية. ويجب أن يكون أقصى عمق للمياه المضافة باستخدام نظم الحركة المستقيمة أقل من ٥٠ مم ، ويعتبر عمق ماء مضاف مقداره ٢٥ مم هو العمق النمطي.

(١٦,٨,٣) نظام إمداد المياه

تختلف اعتبارات التصميم بناء على نوع مصدر المياه المستخدم مع نظام الحركة المستقيمة. وبالنسبة للنظم التي تقوم بسحب خرطوم إمداد ، فإن اعتبارات التصميم تتضمن فاقد الاحتكاك في الخرطوم والعناصر الأخرى لنظام إمداد المياه والقوة المطلوبة لسحب الخرطوم عبر الحقل.

وتبلغ خشونة الأنبوب بالنسبة لمعادلة هيزن-ويليام (أي ، قيمة C) ١٥٠ عند استخدام خرطوم قاسية أو مرنة من مصدر المياه ، وإن القطر الداخلي للخرطوم المرنة يختلف مع الضغط داخل الأنبوب ولا بد من الحصول على بيانات إضافية حول ضغط التشغيل غير تلك الموضحة في الشكل رقم (١٦,٣٣). وهناك حدود حول نصف قطر الالتواء الأقصر لكل خرطوم. وتسبب الالتواءات القصيرة في قتل الخرطوم المرن ، مما يعمل بشكل مؤقت على إيقاف التدفق ، ولكن ليس هناك تلف طويل المدى للخرطوم. ويمكن أن يتلف الخرطوم القاسي إذا تم ليه بشدة.

وتعمل القوة المطلوبة لسحب الخرطوم على تقييد أقصى قطر وطول للخرطوم وربما يتطلب تصميماً خاصاً للبرج الذي يقوم بسحب الخرطوم. وأطوال الخرطوم التي تبلغ ٢٠٠ م هي التي يشاع أنها الطول الذي يتوافق على نحو جيد مع أبعاد الحقول المملوكة في الولايات المتحدة. ولا يشاع استخدام خرطوم أطول من ٢٠٠ م ولا بد فقط

من تحديد أطوالها باستشارة الشركات المصنعة. الأبراج العادية المستخدمة لسحب خرطوم ليست قادرة عادة على سحب طول ٢٠٠ م لخرطوم قطره ٢٠٣ مم. وحتى في حالة وجود خرطوم له قطر أصغر، فمن الممكن تجهيز برج الإمداد بأربع عجلات بدلاً من الاثنتين العاديتين. وهذا يعمل على تحسين السحب على الأسطح المبللة أو الزلقة.

وتتطلب النظم التي يتم إمدادها من قناة ما أن تتوافق سعة القناة، وسعة النظام، ومصدر إمداد المياه، والمضخة الموجودة على السطح، ووحدة الطاقة. وبمعرفة التضاريس يصبح من الممكن تصميم القناة باستخدام خطوات مذكورة في الفصول السابقة حول نظم النقل. ويبلغ أدنى عمق للقناة في العادة حوالي ١ م، ويبلغ عرض العمق الأدنى حوالي ٠,٣ إلى ٠,٦ م. إن البعثة، ومراقبة الحشائش، والقمامة في القناة تعد مشاكل لا بد من أخذها في الاعتبار في التصميم والتشغيل. وإذا كانت التربة في الموقع عالية النفاذية، فمن الممكن أن يكون هناك حاجة لتبطين القناة بأغشية مرنة أو بخرسانة. وكلا النوعين من التبطين يعملان إلى حد بعيد على زيادة تكلفة النظام. ولا يجب أن تكون الميول الجانبية للقناة شديدة الحدة بحيث يحدث الانجراف وبحيث لا يكون بوسع البشر والحيوانات التسلق من السرعة إذا ما دخلوا المجرى المائي. ومن الممكن أن تكون تركيبات التدفق للخارج مطلوبة في المواقع التي تدخل فيها مياه الأمطار إلى القناة. وهناك سمات خاصة لازمة لنظم إمداد القناة لضمان أن القناة لا تتراكم (لا تقل المسافة الحرة لها) إذا توقفت الحركة المستقيمة. وهناك حاجة كذلك لسبل التحكم لإيقاف الحركة المستقيمة إذا انقطعت إمدادات المياه.

إن النظم التي تكون متصلة آلياً بالصمامات الملحقة بالخطوط الرئيسة المدفونة تتطلب اعتبارات خاصة في التصميم. وعندما يتغير تدفق المياه بين عربات الإمداد الصغيرة فمن الممكن أن يحدث طرق مائي في نظام الإمداد. ويعتمد مقدار دفع الضغط على التدفق والزمن المطلوب لفتح وغلق الصمامات. وتعد مشاكل دفقات الضغط هي الأكثر شيوعاً في نظم الحركة المستقيمة الطويلة والتي تتطلب تدفقاً كبيراً. وتعد حماية

خط الأنابيب ضرورية لهذه النظم. ويعد نظام الإمداد لنظم الحركة المستقيمة هذه معقداً جداً ويتم تصميمه عادة من قبل المصنّع.

(١٦,٩) نظم الإضافة الدقيقة منخفضة الطاقة (LEPA)

إن نظم الإضافة الدقيقة منخفضة الطاقة (LEPA) هي إما نظم الري المحورية أو نظم الحركة المستقيمة التي يتم تعديلها بأنابيب متدلية طويلة ممتدة وأجهزة إضافة مصممة لإضافة كميات ري صغيرة ومتكررة عند أو قريباً من مستوى الأرض للخطوط المنفردة (Lyle and Brodovsky, 1981). ويعد الغرض الأساسي لاستخدام نظم الإضافة الدقيقة منخفضة الطاقة LEPA هو تقليل البخر من قطرات الرش، وأوراق النبات، وأسطح التربة. يتضمن مفهوم LEPA إدارة سطح التربة للعمل على زيادة التخزين السطحي (Lyle and Brodovsky, 1983)، وتستخدم طرق الحرق المختارة و/أو إدارة بقايا المحصول للعمل على زيادة الاستبقاء لكل من مياه الأمطار ومياه الري.

وتعد متطلبات ضغط الفوهة في نظم LEPA منخفضة حيث إن انتشار المياه ليس ضرورياً. ويتم الحصول على قدر كبير من ضاغط الضغط عند الفوهة (الموضوعة قرب مستوى سطح الأرض) عن طريق ضاغط الفرق في الارتفاع بين الخط الفرعي والفوهة. وهذا يؤدي إلى تقليل ضغوط التصميم للخطوط الفرعية وخفض متطلبات الطاقة عند مقارنتها بمجموعات الرشاشات العلوية.

وتقوم نظم LEPA بتصريف المياه أسفل الغطاء النباتي وبالتالي فهي توفر الفرصة للري بمياه رديئة الجودة والتي يمكن أن تتسبب في احتراق الأوراق عند إضافة المياه عبر نظم الري بالرش. وتعد لنظم LEPA ميزتها عند استخدامها مع المحاصيل المعرضة للأمراض الفطرية والتي يمكن أن تزدهر باستخدام الببل المتكرر لأوراق النبات.

(١٦,٩,١) الاعتبارات العامة

هناك العديد من الاعتبارات في تصميم، وتركيب، وإدارة نظم LEPA والتي تكون غير مطلوبة لنظم الري بالرش (Lyle, 1994). وحيث تضاف المياه على شكل

شريط ضيق أو تيار فمن المهم أن يتم وضع أنابيب إسقاط النظام وأجهزة التصريف حتى يكون لكل نبات داخل الحقل فرصة متساوية لتسلم مياه الري. ويتم تحقيق هذا على أفضل نحو إذا تم إضافة المياه إلى الخطوط بين صفوف المحصول. وبالتالي، يُنصح أن يتم تأسيس موضع صف النبات لكل من نظم الحركة المستقيمة ونظم الري المحورية باستخدام مسارات إطار برج النظام كموجه لتأسيس صف المحصول. وهذا المبدأ الإرشادي يؤدي إلى صفوف دائرية للمحاور المركزية و صفوف خطية بالنسبة لنظم الحركة المستقيمة.

ومن المرغوب فيه بدرجة عالية أن يكون طول الجسر المستخدم في النظام مضاعفاً زوجياً للمسافة بين الصفوف وأيضاً لعرض المعدات للعمل على تسهيل الاتساق في إقامة الصفوف ووضع أنبوب الإسقاط وجهاز الإضافة على امتداد كل جسر. وبالنسبة لإضافة الصفوف المتبادلة، فلا بد أن يتم وضع أنابيب الإسقاط وأجهزة الإضافة في الخطوط اللينة أو تلك التي تم ضغطها بالجرار أو بسبب حركة عجلات المعدات بحيث يتم الحفاظ على التسرب. وهذا يتطلب أن يكون موقع عجلة معيار المعدات مرتبطاً بعجلات الجرار بحيث يبقى كل خط آخر بعيداً عن حركة المرور.

وتصمم نظم LEPA بحيث تكون مستقلة بشكل أساسي عن معدلات تسرب التربة. وأفضل ما تتلاءم معه نظم LEPA هي أنواع التربة التي تحافظ على تكاملية بنائية عبر الموسم للحفاظ على تخزين سطحي يتكون عن طريقة تحسين ممارسات الحرث.

إن التضاريس (الميل) هي العامل الأساسي المحدد عند اختيار الري بنظام LEPA، وبالرغم أنه يمكن تعديل سرعة النظام لتتكيف مع حالات يصل فيها الميل حتى ٢٪ بدون توزيع ري سطحي، فإن الميول هذه يجب أن تكون محدودة بقيمة قدرها ١٪ للصفوف الدائرية في الأجواء المناخية التي يوجد معها تساقط الأمطار عالية الشدة لتقليل جريان مياه الأمطار وانجراف التربة المحتمل. وفي جميع الحالات، لا بد من استخدام ممارسات عادية لمنع الانجراف الناتج عن جريان مياه الأمطار، مثل وضع

الحواجز (المدرجات) و/أو المجاري المائية المحتوية على عشب، مع نظم الإضافة الدقيقة منخفضة الطاقة LEPA.

(٢, ٩, ١٦) التخزين السطحي وأجهزة إضافة المياه

إن تأسيس التخزين السطحي المحسن للتربة والعمل على صيانتها عبر موسم الري يعد وظيفة كل من طرق الحرث ونوع جهاز الإضافة المختار للري. ولا بد أن تحافظ الأدوات المستخدمة على تخزين مياه سطحي موسمي قادر على الاحتفاظ بحجم المياه الكلي لكل حالة ري بدون إعادة توزيع المياه السطحية. وتشمل ممارسات التعديل السطحية الموصى بها حرث الأحواض، وحرث الخزان، والحفر ما بين الخطوط أو تحت طبقات التربة، أو أي مزيج من هذه الممارسات مع وجود بقايا قش ساكنة فوق سطح التربة. ويمكن أن تعمل هذه الممارسات بشكل مفيد على زيادة معدل التسرب.

وللتأكد من المحتوى السطحي للري المضاف، فلا بد أن يتم تشغيل نظم LEPA بسرعة عالية بشكل كافٍ، وبهذا يكون حجم الإضافة أقل من أو يساوي التخزين السطحي. وفي بعض الحالات ربما يتطلب هذا القيام بالري يومياً.

ويجب أن يتم تقليل التخزين السطحي لأدنى مستوى أثناء استخدام نظام الإضافة الدقيقة منخفضة الطاقة. وبالإضافة إلى ذلك، يجب أن يقوم تصميم وتركيب الفوهة ونظام التنظيم بتقديم أقصى انتظامية في كل حالات التشغيل داخل الحقل وعبر موسم الري. وبشكل مثالي، يجب أن يكون لأجهزة الإضافة المستخدمة مع نظم LEPA قطاع جانبي ضيق لتقليل اتصال المحصول والسحب. ومن المرغوب لأجهزة الإضافة أن تمتلك كذلك مقدرة على الرش بالإضافة إلى تصرف الخط المفرد، بالرغم من أن هذا ليس النمط الأساسي للتشغيل. وتشمل الأمثلة الاحتياجات بالإضافة إلى الرش والاستخدام المؤقت لإنبات البذور، وإضافة مبيدات الحشائش، وعندما تكون المحاصيل مغلقة البذور محتواة في مناوبات الزراعة.

وحالياً هناك تصميمان رئيسان لأجهزة الإضافة في نظم LEPA تعمل على تقليل الانجراف لحواجز الخطوط أو غيرها من تعزيز ظروف تخزين التربة (الشكل رقم ١٦,٢).

ويتكون أحدها من فوهة وغطاء يتسبب في أن يتم تصريف المياه كسطح متصل أو فقاعات. ويقوم التصميم الآخر باستخدام جوارب السحب المتحركة، التي يتم تصميمها لتقليل انجراف حواجز الخطوط عندما يتم تسليم المياه مباشرة إلى سطح التربة. يعد اختيار الفوهة والتصميم الهيدروليكي مماثلين لما يتم اختيارهما لنظم الري المضغوطة الأخرى، ولكن من المطلوب توخي الحذر حول اكتساب ضاغط الارتفاع وفواقد الاحتكاك في كل أنبوب إسقاط بين الخط الفرعي والفوهة للقيام بشكل دقيق بتحديد الضغط المتاح لجهاز الإضافة.

(٣، ٩، ١٦) تصميم الأنبوب المتدلي

لا بد أن يكون الأنبوب المتدلي طويلاً بدرجة كافية حتى يتم وضع جهاز الإضافة عند القيام بالري من ١٠ إلى ٤٥ سم فوق سطح التربة بناءً على نوع جهاز الإضافة والتضاريس. إن أقطار كل المواد التي تصنع منها أنبوب الإسقاط لا بد أن تكون كافية لإمداد ضغط التشغيل الضروري عند نهاية النظام بما لا يزيد عن ٧٠ كيلوبسكالاً. ومن الضروري أن يوجد ضغط قدره ٢١ كيلوبسكال فوق معيار المنظم بشكل طبيعي عند مدخل جهاز التنظيم لأجل التشغيل الصحيح لنظم LEPA. وفي المعتاد تتراوح أقطار أنابيب الإسقاط بين ١٥ و ٢٠ مم.

يتم تركيب الأنابيب المتدلية على مخارج خط الأنابيب العلوي عن طريق عمل تجهيزات على الخطوط على شكل أذرع (عبارة عن توصيلات طويلة ممتدة على شكل عنق الأوزة) والتي يبلغ طولها في العادة من ٣٠ إلى ٥٠ سم. وبالرغم من أنه يمكن طلب نظم الري المحورية ونظم الحركة المستقيمة بمنافذ لها مسافات تساوي نفس مسافات الخطوط المرغوبة، إلا أنها لا تكون في الغالب بالمحاذاة المرصية. وبالتالي يتم تدوير ذراع الخط إلى المركز وإسقاطه على الخط. وعند حساب فاقد الاحتكاك بين خط الأنابيب والفوهة، لا بد من حساب فواقد المدخل والاحتكاك في ذراع الخط والتجهيزات المرتبطة به وكذلك المكونات العديدة لأنبوب الساقط باستخدام معادلات ملائمة للفاقد في الضاغط.

وهناك خيارات متعددة لمواد إنشاء الأنبوب الساقط وتركيبها، فالجزء الأكبر من الأنبوب الساقط، والذي في المعتاد يكون الجزء العلوي، لابد أن يكون صلباً بدرجة كافية لمنع الحركة الكثيرة عند وجود رياح شديدة أثناء عملية الري السابقة على الزراعة وقبل إقامة المظلة الكاملة. ولا بد أن تكون الصلابة كافية لضمان أن يبقى جهاز إضافة نظام LEPA داخل الغطاء النباتي بعد أن يكتمل نموها. ولا بد أن تكون الأنابيب الساقطة ذات مرونة كافية لتسمح بالتحرك فوق الحواجز أو متاريس التربة، أو أن تصادم مع أشياء أخرى بدون انكسار. من الممكن أن يتكون الجزء العلوي الصلب من أنابيب الإسقاط من الصلب المجلفن، وأنابيب كلوريد البولي فينيل المحمية بمادة UV، أو بثق البولي إيثيلين. ومن الممكن كذلك استخدام الصلب المجلفن للجزء السفلي (تقريباً ٧٠ سم طولاً) يوضع فوق جهاز الإضافة لأجل الوزن والصلابة للعمل على المساعدة على إبقاء موضع جهاز الإضافة داخل الغطاء النباتي. إن الأوزان الساقطة للصلب المجلفن، والخرسانة، أو المواد المتعددة يمكن كذلك أن تنزلق على مواد خفيفة و/أو مرنة لتكوين الجزء السفلي من الأنابيب الساقطة. ولا بد من استخدام جزء صغير (٠,٥ إلى ٠,٦٧ م) من خرطوم أو أنبوبة كلوريد البولي فينيل (PVC) المغطاة بالفينيل المعززة أو غير المعززة للعمل على مزيد من التقارن بين الجزء العلوي الصلب والجزء السفلي لتوفير المرونة اللازمة للإسقاط. وهذا يسمح كذلك بتعديل ارتفاع جهاز الإضافة فوق سطح التربة عن طريق تعديل طول الخرطوم بعد ملء النظام بالمياه.

(٤, ٩, ١٦) التقييم والأداء

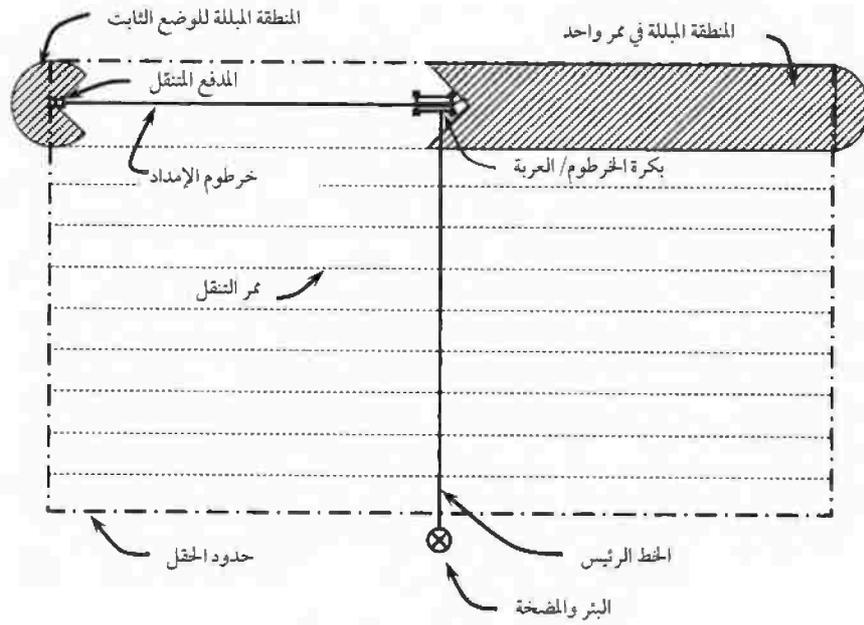
يستخدم معامل الانتظامية لتقييم نظم الري العلوية ولكنه لا يقبل التطبيق مع الإضافة في الخطوط الفردية أو نظم LEPA. وبدلاً منه، لابد من تقييم أداء وتصميم مجموعة الفوهات في نظم LEPA عن طريق انتظامية تصرف الفوهة. وتقوم انتظامية تصرف الفوهة بوصف انتظامية معدل تصرف الفوهة لنظام LEPA التي يتم تحويلها إلى عمق إضافة مكافئ على امتداد طول النظام. ويتم حساب انتظامية تصرف الفوهة

بالنسبة للمحاور باستخدام معادلة هيرمان-هاين وباستخدام معادلة كريستيانسن بالنسبة لنظم الحركة المستقيمة. ولكن، يتم استبدال عمق المياه المضافة في المعادلة بعمق إضافة مكافئ، والذي يساوي تصرف الفوهة المفردة (مقاساً بوقت التجميع للحجم) مقسوماً على مساحة التغطية لكل فوهة.

ولا بد أن يؤدي تصميم مجموعة فوهات نظام LEPA إلى انتظامية تصرف فوهة قدرها ٩٦٪ أو أكبر. والانخفاض المقاس في الانتظامية، حتى ٩٤٪، نتيجة للارتفاع و/أو التغيرات في معدل التدفق في الحقل هو أقل قيمة يُنصح بها. إن تعديل معاملات التصميم (ضغط التشغيل، قطر الأنابيب، استخدام منظم الضغط، ... إلخ) لا بد من أخذه في الاعتبار إذا انخفضت الانتظامية لأقل من ٩٤٪ في أجزاء كبيرة من الحقل المروي.

(١٦,١٠) النظام المتنقل

من الطرق الأخرى المستخدمة لجعل الري آلياً وتوفير العمالة هي نظام الري المتنقل، ويتكون النظام المتنقل من رشاش واحد كبير، يُشار إليه عادة باسم "المدفع"، ويتم تركيبه على عربة صغيرة متنقلة (الشكل رقم ١٦,٣٤). ويتم إمداد المياه إلى العربة الخفيفة عن طريق خرطوم. وفي التصاميم الأولى كانت العربة متصلة بنظام كابل ورافعة والذي يكون متصلاً بخطاف. ويقوم الونش، الذي كان يعمل بضغط المياه، بسحب العربة بكابل عبر الحقل. وكثير من التصاميم الحالية تستخدم خرطوم إمداد المياه لسحب العربة عبر الحقل (الشكل رقم ١٦,٣٤). ويتم ربط الخرطوم ببكرة عند إحدى نهايات ممر التنقل. وتقوم البكرة بالدوران مما يعمل على ليّ الخرطوم وسحب العربة نحو البكرة. وسواء كانت البكرة متصلة بكابل أو خرطوم، فإنها يتم تصميمها لتوفير سرعة تنقل ثابتة تقريباً. وهذا يتطلب أن تدور البكرة أسرع عندما يكون قد تم سحب جزء صغير من الكابل أو الخرطوم.



الشكل رقم (١٦،٣٤). صورة ومخطط تشغيلي للنظام المتنقل أو نظام الري بالمدفع الكبير.

ويتم تشغيل نظام التنقل كما هو موضح في الشكل رقم (١٦,٣٤). يتم وضع العربة الخفيفة عند أحد أطراف الحقل وسحبها إلى المنتصف. ثم يتم بعدها غلق النظام وتحرك العربة إلى الجانب المضاد من الحقل. وبمجرد أن يتم ري شريحة، ينتقل النظام إلى الممر التالي. وفي بعض الأحيان، يمكن سحب النظام عبر الحقل بأكمله لتجنب إعادة تركيب الخرطوم عند منتصف الحقل. ويقوم المدفع المركب على العربة بتصريف حجم كبير من المياه وإنتاج نصف قطر بلل كبير. وبالتالي، غالباً ما تتباعد ممرات التنقل بمسافة تبلغ حتى ١٠٠ م.

تشمل عيوب أنظمة التنقل التالي:

- متطلبات الضغط العالي: يتطلب نظام التنقل وجود ضغوط أعلى من نظم الري بالرش الأخرى. فالضغط عند العربة يمكن أن يتجاوز ٧٠٠ كيلوبسكال. والفاقد في الضغط في الخرطوم ومكونات إمداد المياه يتم إضافتها إلى متطلبات الضغط. وبالتالي، فلنظم الري المتنقلة تكاليف تشغيل عالية.
- العمالة المطلوبة لتحريك العربة: لا بد من اعتبار أن النظم المتنقلة شبه آلية حيث إن العربة، والخرطوم، والبكرة لا بد من نقلها يدوياً.
- خسارة جزء من الأرض في ممرات التنقل: للعربات بشكل عام حيز منخفض تتحرك فيه، ولهذا إذا كان يتم ري محاصيل طويلة، فلا بد من زراعة محاصيل منخفضة في ممرات التنقل.

- عدم انتظامية الإضافة عند حواف ومنتصف الحقل: يتم تشغيل المدفع لري جزء من النمط الدائري (الشكل رقم ١٦,٣٤). وتعتمد زاوية الضبط على تباعد الممرات، وتداخل الممرات المتجاورة للتنقل، وتصميم المدفع. ولكن، من الشائع أن يتطلب دوراناً أكبر من ١٨٠°، كما هو موضح في الشكل رقم (١٦,٣٤). وإذا لم يكن بوسع النظام المتنقل أن يقوم بإضافة المياه خارج حدود الحقل، فإن هناك قطاعات على امتداد حواف الحقل ربما تتسلم مياهاً أقل من داخله. وربما كذلك أن تنتج سلسلة من

مناطق جافة لها الشكل الماسي قرب منتصف الحقل. وإذا حدث تداخل كبير جداً عند المنتصف ربما تكون هناك مناطق يتم ريها على نحو زائد.

• الانتظامية الضعيفة في وجود ظروف رياح شديدة: حيث إن نظام التنقل يقوم بإلقاء المياه عبر مسافة طويلة، فمن الممكن أن تعمل الرياح على تشويه نمط الإضافة. وللحفاظ على الانتظامية في المواقع التي يكون بها رياح شديدة فلا بد أن تكون ممرات التنقل قريبة من بعضها، مما يزيد من متطلبات العمالة ويؤدي إلى أزمنة أطول بين عمليات الري.

• قطرات المياه الكبيرة: غالباً ما تنتج النظم المتحركة قطرات مياه كبيرة بسرعة عالية مما يؤدي إلى إنتاج كمية كبيرة من الطاقة عندما تصل إلى سطح التربة/المحصول. ويمكن أن تعمل طاقة التصادم على تفاقم الجريان السطحي وانضغاط التربة. وبالتالي، فإن أكثر ما تتلاءم معه النظم المتحركة هو نظم الزراعة والري التي تقوم بإمداد النبات أو بقاياها بمواد لامتناس الطاقة الموجودة في قطرات المياه قبل وصولها إلى سطح التربة.

وهناك العديد من المزايا في استخدام النظم المتحركة وتشمل:

• المرونة: حيث إن الممرات تكون طويلة جداً، فمن الممكن استخدام النظم المتحركة لري تقريباً أي شكل من أشكال الحقول. ويمكن أن يتم تحريك النظام من حقل لآخر لري كثير من قطع الأراضي. وهذا له جاذبية خاصة في المناطق شبه الرطبة حيث ربما لا يكون النظام ضرورياً بالنسبة لأحد الحقول عبر الموسم بأكمله أو حيث تتطلب مناوبات الزراعة أن يتم تحويل الري من حقل لآخر.

• مدى واسع من أعماق الري: حيث إن الرشاش يتحرك آلياً، فإن عمق المياه المضافة لكل عملية ري يمكن تحديدها بكمية محددة. وإذا كان هناك حاجة لكمية ري صغيرة فمن الممكن ضبط النظام بحيث يتنقل سريعاً عبر الحقل. وبالعكس، بالنسبة للمحاصيل عميقة الجذور يمكن نقل العربة ببطء.

• التركيب في المصنع: يتم تجميع النظام أثناء التصنيع، وبالتالي يمكن تركيب النظام بشكل سريع في الحقل. وهذا يسمح للنظم المتقلة أن تكون قابلة للتشغيل بأقل قدر من التجهيز أو الإعداد.

وتستخدم نظم الري المتقلة غالباً في الأجواء المناخية شبه الجافة وشبه الرطبة حيث تكون الاحتياجات للري ليست كبيرة وثابتة كما في الأراضي الجافة. وتعد النظم أكثر حاجة للاستخدام في المواقع التي يكون فيها حجم وشكل الحقل غير متوافق مع النظام المحوري أو الحركة المستقيمة، أو حيثما يتم ري حقول عديدة من نفس مصدر المياه. وتتسبب متطلبات الضغط العالية في أن تكون تكاليف تشغيل النظم المتقلة عالية. والاعتبارات الرئيسة للنظم المتقلة هي التصميم الهيدروليكي لنظام إمداد المياه وإعداد ممرات التنقل لتتوافق مع حدود الحقل في حين يتم تحقيق انتظاميات مقبولة للإضافة.

ولابد أن يكون المستخدم حذراً جداً حول النظم المتقلة، فتعمل النظم المتقلة عند ضغوط عالية ويتم استخدام كميات كبيرة من الشد المتطور في نظام الخرطوم أو الكابل لتحريك النظام المتقل. وكل من هذه الحالات تشكل خطراً. ولا بد من اتخاذ الحيلة لتجنب إضافة المياه على ممرات الطاقة الكهربائية. ويوصي كاي (1983) Kay بأن يتم تحديد موضع ممرات التنقل على بعد ٣٠ م على الأقل من ممرات الطاقة الكهربائية.

(١٦, ١٠, ١) تخطيط الحقل

كما هو الحال مع أي نظام ري، فإن خطوة التصميم الأولية هي تخطيط حدود الحقل وإعداد النظام وفقاً لأبعاد القطاع الأرضي. وهناك حاجة لبيانات التضاريس لضمان أن يتم تحقيق الانتظامية المرغوبة. وتعد تغيرات الارتفاع الصغيرة أقل أهمية مع النظم المتقلة بسبب ضغط التشغيل العالي. وللميول تأثير طفيف على

مقدرة نظام التنقل على الحفاظ على السرعة المنتظمة المطلوبة لتحقيق انتظامية مقبولة. وبالتالي ، فليست التضاريس داخل الحقل مهمة بدرجة كبيرة لتشغيل النظام المتنقل. فالضغط المطلوب للوصول إلى ارتفاعات عالية في الحقل لا بد أن يكون هو الاهتمام الأساسي.

ويعد إعداد ممرات التنقل هو الاعتبار الرئيس عند تخطيط النظام. ويبلغ أقصى طول لخرطوم الإمداد بشكل عام ٢٠٠ م. وإذا كان الحقل أكثر عرضاً من ٢٠٠ م فإن الناقل سوف يتم سحبه إلى جهة المنتصف من الحقل مما يتطلب أن يتم وضع الخط الرئيس في منتصف الحقل. ولا بد أن تكون المسافة بين الممرات متساوية عبر الحقل. وكذلك ، لا بد من جعل الممرات قريبة من بعضها بدرجة كافية لتوفير التداخل اللازم للحصول على انتظامية مقبولة. وتعتمد المسافة بين ممرات التنقل على سرعة الرياح وقطر التغطية الخاص بالرشاش. وأقصى مسافات مرغوبة معطاة في الجدول رقم (١٦, ١٢). وربما يكون هناك حاجة للتكرار للحصول على مسافات بين ممرات التنقل التي تقوم بتوفير ري منتظم وفي نفس الوقت تكون ملائمة لأبعاد الحقل. ويُنصح بشكل عام أن تكون ممرات التنقل موجهة عمودياً على اتجاه الرياح السائد. ومن الممكن تحديد موضع ممر التنقل الأول عند منتصف التباعد من حد الحقل إذا كان من الممكن إمداد المياه فيما وراء حافة الحقل. وإلا لا بد أن يقع ممر التنقل الأول عند التباعد الكامل عن حد الحقل. ويمكن وضع الرشاش عند حافة الحقل إذا كان من الممكن إمداد المياه فيما وراء حدود الحقل العمودية على ممرات التنقل. وإلا يلزم وضع عربة الرش بحيث تتجنب إلقاء المياه لما وراء حدود الحقل. وإذا كان يتم استخدام ناقلات متعددة في حقل واحد فمن المرغوب أن يتم إمداد المياه إلى منتصف الحقل وأن يتم وضع الناقل عند كل نصف من الحقل. وهذا يعمل على تقليل الفرق في الضغط المتاح لكل رشاش.

الجدول رقم (١٦, ١٢). أقصى مسافة بين الممرات في النظم المتقلة (مقتبس من Addink *et al.*, 1980 و Kay, 1983).

سرعة الرياح (م/ث)				قطر التغطية (W _d) (P)
أكبر من ٥ (50% W _d)	٥ - ٢,٥ (60% W _d)	٢,٥ - ١ (70% W _d)	٠ (80% W _d)	
٢٥	٣٠	٣٥	٤٠	٥٠
٣٠	٣٦	٤٢	٤٨	٦٠
٣٥	٤٢	٤٩	٥٦	٧٠
٤٠	٤٨	٥٦	٦٤	٨٠
٤٥	٥٤	٦٣	٧٢	٩٠
٥٠	٦٠	٧٠	٨٠	١٠٠
٦٠	٧٢	٨٤	٩٦	١٢٠
٧٠	٨٤	٩٨	١١٢	١٤٠
٨٠	٩٦	١١٢	١٢٨	١٦٠
٩٠	١٠٨	١٢٦	١٤٤	١٨٠

(٢, ١٠, ١٦) التصميم الهيدروليكي

إن التصرف من الرشاش الموجود على العربة يجب أن يساوي التدفق المطلوب للحقل مقسوماً على عدد الناقلات المستخدمة في الحقل. ويمكن تجهيز المدافع المستخدمة على الناقلات إما بفوهات مستدقة أو حلقيّة. وتقوم الفوهات المستدقة بشكل عام بإنتاج أقطار أكبر للتغطية ولكنها لا توفر تفتيتاً كبيراً لنفث الرشاش للمياه. ويمكن حساب عمق المياه المضافة في كل عملية ري عن طريق:

$$d_g = \frac{q_s}{vW_T} \quad (١٦, ٣٩)$$

حيث إن W_T عرض ممر التنقل (أي، المسافة بين ممرات التنقل) و v السرعة الخطية لعربة الرش.

ويعمل التصرف من الرشاش والمسافات بين ممرات التنقل على تحديد الضغط المطلوب للرشاش. ولا بد أن يكون الضغط كبيراً بدرجة كافية لتوفير التصرف وقطر التغطية المطلوبين.

ويتكون الفاقد الكلي في الضغط في النظم المتقلة من الفاقد في الخط الرئيس، والتجهيزات، وخرطوم الإمداد، والرشاش، وعربات الخرطوم، ويمكن حساب الفاقد في الضغط في الخرطوم من الشكل رقم (١٦,٣٣)، ويزداد قطر الخرطوم المرن بزيادة ضغط النظام، وبالتالي، فإذا كان الضغط مختلفاً عن الموضح في الشكل رقم (١٦,٣٣) فإن الفاقد في الضاغط سوف يتغير تبعاً لهذا. وهناك فقد إضافي داخل الرشاش وعربات بكرات الخرطوم، وتزداد الفواقد عندما يتم لف الخرطوم حول البكرة بدلاً من أن يتم تمديده بالكامل. وقام كل من أوكس وروتشستر (Oakes and Rochester 1980)، وروتشستر وآخرين (Rochester et al. 1990)، وروتشستر وهاسول (Rochester and Hackwell 1991)، بعرض طرق لحساب الفاقد بالاحتكاك للأحجام المختلفة من الناقلات (العربات). وبحسب الفاقد في الضاغط في مكونات الناقل من العلاقة:

$$h_f = kV^2 / 2g \quad (١٦,٤٠)$$

حيث إن:

$$h_f = \text{الفاقد.}$$

$$k = \text{معامل الفاقد.}$$

$$V^2 / 2g = \text{ضاغط السرعة.}$$

إن معاملات الفاقد في عربة الرش وعربة بكرة الخرطوم وجد أنها تبلغ ١,٧٦ و٣,٩١، على الترتيب. ولقد تم عرض معامل الفاقد الناتج من الالتفاف على البكرة عن طريق معامل اللي الذي وجد أنه يساوي ٠,٠٩ م. ويتم ضرب معامل اللي في طول الخرطوم الملتف على البكرة. ويختلف معامل الفاقد مع حجم النظام وتصميم المعدات، وبالتالي، لا بد من استخدامها كتقديرات أولية.

ويمكن استخدام الأنابيب المتقلة أو خطوط الأنابيب تحت الأرضية والتي لها رافعات وصمامات للخط الرئيس المستخدم لإمداد المياه إلى الناقل. ويعد الفاقد بالاحتكاك في الخط الرئيس شبيهاً بأي نوع آخر من نظم الري بالرش. وهناك حاجة لعناية خاصة لحماية خطوط الأنابيب من دقات الضغط مع النظم المتقلة. وتتطلب الناقلات وجود ضغط تشغيل عالٍ؛ ولهذا فالمضخات المستخدمة لإمداد المياه يتم في العادة تصميمها لضغوط التشغيل العالية. وعندما يتم إمداد أكثر من ناقل واحد من خلال نفس الخط الرئيس أو إذا حدث لي للخرطوم أو عند حدوث عقبة أخرى، فمن الممكن أن يزداد الضغط في نظام النقل بشكل سريع. ولا بد من حماية خط الأنابيب لتجنب التلف في ظل هذه الظروف. وفي كثير من الحالات فالأفضل أن يتم اختيار المضخات حيث يكون غلق الضاغط أقل من ضغط المعايرة لنظام الإمداد. ويمكن أيضاً أن يمثل الطرق المائي مشكلة حيث إن الضغط يزداد بسرعة عندما تصل المياه إلى الرشاش. وتساعد مرونة الخرطوم على تقليل بعض من مشكلة دفع الضغط ولكن لا بد من تقييم الطرق المائي عند تصميم نظام الإمداد.

(٣، ١٠، ١٦) الانتظامية

تعتمد انتظامية الإضافة عند استخدام النظم المتقلة على سرعة ثابتة للتنقل، وتصرف رشاش ثابت ومسافة صحيحة لتوفير تداخل كاف. ويتم تصميم الناقلات الآن بشكل خاص مع سرعات متغيرة للبكرة المستخدمة لسحب عربة الرش، وبهذا لا تكون التغيرات في سرعة التنقل على امتداد ممر التنقل كبيرة. وتعمل خراطيم الإمداد الطويلة على بذل مقاومة كبيرة عندما تمتد بالكامل عند مقارنتها بالحالة التي يلزم فيها فقط تحريك جزء من الخرطوم. ويمكن أن تتسبب المقاومة الزائدة في تغيرات في سرعة التنقل. ولذلك، لا بد أن يقوم المصممون بالرجوع إلى المصنعين لمعرفة أقصى طول للخرطوم لأجل القيام بالحسابات المحلية. ويختلف الضغط عند المدخل إلى الرشاش مع مسافة الناقل من عربة الرش، وبالتالي لا بد من القيام بالحسابات لكل أطوال متغيرة من الخرطوم المسحوب.

ويمكن تقدير الانتظامية باستخدام خطوة التداخل بالنسبة للرشاش ثابت التنقل. وإن التوزيع منفرد الرجل المستخدم على الناقلات لن يعمل عادة على التوافق مع الوظائف المثلية والبيضاوية التي تم عرضها، وبالتالي فلا بد من تعديل الخطوات للحصول على التوزيع الملائم (Bochester *et al.*, 1989). ويمكن استخدام التداخل للمساعدة في اختيار المسافة بين الممرات. ولا بد من استخدام التوزيع أحادي الرجل بالنسبة لظروف الرياح المتوسطة عندما يكون متاحاً. ولكن، من الصعب تقدير انتظامية الحقل الكلية وانتظامية الإضافة بسبب الاختلاف على امتداد حدود الحقل وعند منتصف الحقل.

ولا بد أن يقوم القائم بالتشغيل بالتحقق للتأكد من أن أجهزة الرش تعمل بضغط مناسب. ويؤدي الضغط المنخفض إلى تفتيت غير كاف للقطرات مما يؤدي إلى نمط إضافة مياه له شكل الكعكة المحلاة. ويتسبب الضغط الزائد في تفتيت المياه المتدفقة من الرشاش إلى قطرات صغيرة لا تنتقل إلى مسافة بعيدة كما هو مطلوب وتكون معرضة للبخار والبعثرة.

(١٦، ١١) الاستخدامات الإضافية لنظم الري بالرش

يمكن لنظم الري بالرش أداء استخدامات إضافية عديدة، بالإضافة إلى توفير الاحتياجات المائية للمحاصيل. ونظم الري بالرش دائمة التركيب يمكن أن يتم تشغيلها بشكل سريع لتلبية هذه المتطلبات الإضافية. وإذا كان لا بد من وضع النظام في الحقل ونقله بشكل دوري فإن المقدرة على أداء الاستخدامات الإضافية تقل.

إن إضافة الدفق والكيماويات الزراعية هما الاستخدامان الشائعان. وحيث إنه يتم تصميم نظام الرش لانتظامية عالية ويعمل خلال فترة النمو السريع للمحاصيل، فإن نظم الري بالرش توفر إمكانيات ممتازة لهذه الأنواع من الإضافات. ومع ذلك، يتم تنظيم هذه الأنواع من الإضافات في معظم الولايات لضمان حماية التربة ومصادر المياه. وبالإضافة إلى ذلك، هناك حاجة لتصاميم هيدروليكية خاصة للحماية من

التدفق العكسي للكيمياويات إلى مصدر المياه. وهناك مناقشة لتفاصيل استخدام نظم الري بالرش في حالة الري الكيميائي بتفصيل أكبر في الفصل التاسع عشر.

ونظراً لارتفاع حرارة الانصهار للجليد، فمن الممكن استخدام نظم الري بالرش للحماية من الصقيع والجليد في بعض التطبيقات. وبشكل عام لا بد من إضافة المياه بشكل متكرر للمحاصيل خلال فترات الصقيع أو عند التعرض لخطر الجليد. وقد يتطلب هذا معدل تدفق أعلى للحقل عن المعدل المطلوب لتلبية الاحتياجات المائية للمحاصيل. ويعمل هذا المتطلب على الحد من استخدام تلك النظم التي لا يمكنها القيام بري الحقل بأكمله في وقت قصير جداً. وهناك حاجة لإدارة واعية للغاية لضمان تحقيق أهداف الحماية من الصقيع والجليد. وتعتمد الممارسات الناجحة إلى حد بعيد على مصدر المياه، وسرعات الرياح، والظروف المحلية الأخرى. وينبغي اتباع الخطوط الإرشادية المحلية لتحقيق النجاح. ويجب الحرص على تجنب تلف نظام الري عندما يتم إضافة المياه أثناء فترات البرد. فمن الممكن أن يتكون الثلج على الغشاء الهيكلي من نظام الري ومن الممكن أن يتسبب هذا الوزن الزائد في سقوط مكونات النظام.

وفي بعض المواقع يعد الانجراف التربة بسبب الرياح، قبل أن تصبح النباتات كبيرة بدرجة كافية لتغطية سطح التربة، مشكلة كبيرة. ومن الممكن أن يعمل الري أثناء مثل هذه الفترات على زيادة التماسك بين جزيئات التربة، مما يزيد الثبات الكلي ويقلل الانجراف. ويجب اتخاذ الحيلة، مع هذا، لأن تأثير سقوط قطرات المياه يمكن أن يزيح جزيئات التربة ويساهم في زيادة الانجراف بسبب الرياح الزائدة عندما تجف التربة. وغالباً ما يكون الري بكميات صغيرة من المياه كافياً لتثبيت سطح التربة لفترة من الزمن. تعد كفاءة استخدام المياه للتحكم في الانجراف منخفضة. ولا تعمل الإضافة الصغيرة على بلل التربة لعمق كبير جداً مما يؤدي إلى تبخر المياه من سطح التربة مع تخزين قليل جداً للمياه في قطاع التربة الرأسي. وبطرق كثيرة فإن الري للتحكم في الانجراف بسبب الرياح يعد المحاولة الأخيرة، حيث إنه من الأفضل أن يتم التحكم به من خلال إدارة المخلفات وغيرها من ممارسات الإنتاج.

(١٦,١٢) السلامة

إن المنتجين، والتقنيين، والأشخاص الآخرين الذين يعملون حول معدات الري بالرش لا بد أن يكونوا حذرين جداً. فغالباً ما تتصلل معدات الري بالرش بمولدات كهربية عالية الجهد، لديها أجزاء كثيرة متحركة، وتتطلب ضغوط مياه عالية، وتعمل في بيئة مبللة وزلقة. ويتم استخدام نظم الري بالرش بين الحين والآخر لإضافة الكيماويات التي من الممكن أن تكون سامة. وفي حين أن كثيراً من المقاييس والخطوط الإرشادية التشغيلية قد تطورت بحيث ييسر القيام بالتصميم، والتركيب، والتشغيل السليم لهذه المعدات، إلا أن كل الأنظمة تتقيد بممارسة محددة. وأي شخص يقوم بتصميم أو تشغيل هذه النظم لا بد أن يكون واعياً بالقوانين والقواعد المناسبة والمقاييس الهندسية التي تنطبق على المعدات المستخدمة من والاستخدام المرغوب. وغالباً ما يتم باستمرار تحديث مقاييس ASABE ولا بد من استشارتها بشكل روتيني لمعرفة الممارسات السليمة. ولا بد من تحديد القواعد والقوانين المحلية قبل تصميم النظام.

(١٦,١٣) الملخص

يصف هذا الفصل أسس الري بالرش، بما في ذلك، الأداء، والانتظامية، وكفاءة التطبيق النظم، وأنواع وخصائص نظم الري بالرش المستخدمة حالياً، وتصميم وإدارة تشغيل لأنواع محددة من نظم الري بالرش، وتوفير البيانات لتحسين تصميم وإدارة نظم الري بالرش والتي تتطور بشكل سريع من يوم لآخر.

قائمة الرموز

A_D	الاستنزاف المسموح به
A_B	المساحة المروية في ركن النظام المحوري
A_i	المساحة المروية

المساحة الممثلة للرشاش على النظام المحوري	A_R
معامل التصريف	C_d
صافي سعة النظام	C_n
عمق المياه المضافة أو القطر الفعال لقطرات المياه	d
حجم قطر القطرة المتوسط	d_{50}
العمق الكلي المضاف لمياه الري	d_g
القطر الداخلي للفوهة	D_n
كفاءة الإضافة	E_a
طاقة الحركة	E_k
طول الحقل	F_L
عرض الحقل	F_w
ضاغط ضغط الفوهة	H_n
معدل التسرب في حالة التربة الجرداء بالنسبة للتربة المحمية	I_r
طاقة الحركة لكل وحدة مساحة	K_e / a
استنزاف الإدارة المسموح به	MAD
عدد الأوضاع لكل خط فرعي	n
عدد الرشاشات على الخط الفرعي	N
قطر الفوهة	N_d
عدد الخطوط الفرعية على امتداد طول الحقل	N_L
عدد الخطوط الفرعية على امتداد عرض الحقل	N_S
الضغط في الخط الفرعي أو عند فوهة الرشاش	P
معدل إضافة المياه كدالة في الزمن	$P(i)$
النسبة المئوية للقطرات الأصغر من ٣ مم	P_3
الفاقد في الضغط من مدخل إلى نهاية الخط الفرعي للنظام المحوري	P_L

الفاقد في الضغط من المدخل إلى النهاية القصوى للأنبوب كبير القطر	P_{LL}
الفاقد في الضغط من المدخل إلى النهاية القصوى للأنبوب صغير القطر	P_{LS}
أقصى معدل إضافة عند موقع الرشاش	P_p
الضغط في الخط الفرعي للنظام المحوري عند نقطة R من نقطة المحور	P_R
الضغط عند النهاية القصوى من الخط الفرعي للنظام المحوري	P_S
نسبة القطرات الكلية الأقل من حجم محدد	P_v
التصرف المطلوب للرشاش المدفعي الطرقي	q_E
التصرف من الرشاش	q_s
التصرف إلى داخل نظام الرش (يساوي سعة النظام الكلية)	Q_S
متوسط معدل الإضافة أو المسافة القطرية من نقطة المحور	R
متوسط معدل الإضافة	R_a
الموقع على امتداد الخط الفرعي حيث يتغير قطر الأنبوب	R_C
عمق الجذور خلال فترة أكبر احتياجات مائية	R_D
الطول القطري الكلي المروي عند تشغيل الرشاش المدفعي الطرقي	R_E
المسافة من نقطة الرصد إلى الرشاش	s
محتوى التربة من الرمال	S_a
محتوى التربة من الطين	S_i
المسافة بين الرشاشات على امتداد الخط الفرعي	S_L
المسافة بين الخطوط الفرعية على امتداد الخط الرئيس (يساوي عرض المجموعة)	S_m
زمن التعرض	T
الماء الكلي المتاح لكل وحدة عمق من التربة	TAW
زمن التوقف بين عمليات الري المتعاقبة	T_d
الفترة بين الريات	T_i
الزمن المطلوب لنقل الخط الفرعي بين الأوضاع	T_m

زمن التشغيل لكل عملية ري	T_o
الزمن بعد الببلل الأولي الذي يتم الوصول فيه لأقصى معدل إضافة	t_p
الزمن التشغيلي لكل مجموعة على الخط الفرعي	T_s
المسافة من الرشاش إلى نقطة ما بالنسبة لنصف القطر المبلى للرشاش	u
سرعة الرياح	U
معامل الانتظامية للمحاور المركزية	UC_p
سرعة القطرات أو السرعة الخطية للنظام المتقل	v
نصف قطر التغطية أو نصف قطر الببلل للرشاش	W_r
المسافة بين محرات النظام المتقل	W_T
زاوية التشغيل بالنسبة للمحاور المركزية والرشاش المدفعي الطرقي	β
كثافة المياه	ρ
السرعة الزاوية للخط الفرعي للمحاور المركزية	ω
نسبة قطر الفوهة إلى الضغط عند قاعدة الرشاش.	Ω

المراجع

- Addink, J. W., J. Keller, C. H. Pair, R. E. Sneed, and J. W. Wolfe. 1980. Design and operation of sprinkler systems. In Design and Operation of Farm Irrigation Systems, 621-660. M. E. Jensen, ed. St. Joseph, Mich. ASAE.
- Bezdek, J. C., and K. Solomon. 1983. Upper limit lognormal distribution for drop size data. J. Irrig. Drain. Eng. 109(1): 72-88.
- Bittinger, M. W., and R. A. Longenbaugh. 1962. Theoretical distribution of water from a moving irrigation sprinkler. Trans. ASAE 5(1): 26-30.
- Christiansen, J. E. 1942. Irrigation by sprinkling. Univ Calif. Agr. Exp. Sta. Bull. 670. Chu, S. T., and D. L. Moe. 1972. Hydraulics of a center pivot system. Trans. ASAE 15(5): 894-896.
- Cuelho, R. D., D. L. Martin, and F. H. Chaudry. 1996. Effect of LEPA irrigation on storage in implanted reservoirs. Trans. ASAE 39(4): 1287-1298.
- Dadio, C., and W. W. Wallender. 1985. Drop size distribution and water application with low-pressure sprinklers. Trans. ASAE 28(2): 511-514, 516.

- Dillon, Jr., R. C., E. A. Hiler, and G. Vittetoe. 1972. Center pivot sprinkler design based on intake characteristics. *Trans. ASAE* 15(5): 996-1001.
- Edling, R. J. 1985. Kinetic energy, evaporation and wind drift of droplets from low pressure irrigation nozzles. *Trans. ASAE* 28(5): 1543-1550.
- Eigel, J. D., and I. D. Moore. 1983. A simplified technique for measuring raindrop size and distribution. *Trans. ASAE* 26(4): 1079-1084.
- Fisher, G. R., and W W Wallender. 1988. Collector size and test duration effects on sprinkler water distribution measurement. *Trans. ASAE* 31 (2): 538-541.
- Gilley, J. R. 1984. Suitability of reduced pressure center pivots. *J. Irrig. Drain. Eng.* 110 (1): 22-34.
- Hachum, A. Y., and J. F. Alfara. 1980. Rain infiltration into layered soils: Prediction. *J. Irrig. Drain. Eng.* 106(4): 311-319.
- Han, S., R. G. Evans, and M. W. Kroeger. 1994. Sprinkler distribution patterns in windy conditions. *Trans. ASAE* 37(5): 1481-1489.
- Hanson, B. R., and W W. Wallender. 1986. Bidirectional uniformity of water applied by continuous-move sprinkler machines. *Trans. ASAE* 29(4): 1047-1053.
- Heermann, D. F., and P R. Hein. 1968. Performance characteristics of self-propelled center pivot sprinkler irrigation system. *Trans. ASAE* 11(1): 11-15.
- Heermann, D. F., and R. A. Kohl. 1980. Fluid dynamics of sprinkler systems. In *Design and Operation of Farm Irrigation Systems*, 583-618. M. E. Jensen, ed. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- Heermann, D. F., H. H. Shull, and R. H. Mickelson. 1974. Center pivot design capacities in eastern Colorado. *J. Irrig. Drain. Eng.* 110(2): 1127-141.
- Heermann, D. F., and K. M. Stahl. 2006. CPED: Center Pivot Evaluation and Design. Available at: [www.ars.usda.gov/ Services/docs.htm?docid=8118](http://www.ars.usda.gov/Services/docs.htm?docid=8118).
- Howell, T. A., K. S. Copeland, A. D. Schneider, and D. A. Dusek. 1989. Sprinkler irrigation management for com-southern Great Plains. *Trans. ASAE* 31(2): 147-160.
- Kay, M. 1983. *Sprinkler Irrigation Equipment and Practice*. London, UK: Batsford Academic and Educational Ltd.
- Keller, J., and R. D. Bliesner. 1990. *Sprinkle and Trickle Irrigation*. New York, N.Y.: Van Nostrand Reinhold.
- Keller, J., F. Corey, W. R. Walker, and M. E. Vavra. 1980. Evaluation of irrigation systems. In *Irrigation: Challenges of the 80's. Proc. Second Nat'l Irrigation Symp.*, 95-105. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- Kincaid, D. C. 1982. Sprinkler pattern radius. *Trans. ASAE* 25(6): 1668-1672.
- Kincaid, D. C. 1996. Spraydrop kinetic energy from irrigation sprinklers. *Trans. ASAE* 39(3): 847-853.

- Kincaid, D. C., and D. H. Heermann. 1970. Pressure distribution on a center pivot sprinkler irrigation system. *Trans. ASAE* 13(5): 556-558.
- Kincaid, D. C., D. F. Heermann, and E. G. Kruse. 1969. Application rates and runoff in center pivot sprinkler irrigation. *Trans. ASAE* 12(6): 790-794.
- Kincaid, D. C., and T. S. Longley. 1989. A water droplet evaporation and temperature model. *Trans. ASAE* 32(2): 457-463.
- Kincaid, D. C., K. H. Solomon, and J. C. Oliphant. 1996. Drop size distributions for irrigation sprinklers. *Trans. ASAE* 39(3): 839-845.
- Kohl, R. A. 1972. Sprinkler precipitation gage errors. *Trans. ASAE* 15(2): 264-265, 271.
- Kohl, R. A., and D. W. DeBoer. 1984. Drop size distributions for a low pressure spray type agricultural sprinkler. *Trans. ASAE* 27(6): 1836-1840.
- Kohl, K. D., R. A. Kohl, and D. W. DeBoer. 1987. Measurement of low pressure sprinkler evaporation loss. *Trans. ASAE* 30(4): 1071-1074.
- Kohl, R. A., R. D. von Bemuth, and G. Heubner. 1985. Drop size distribution measurement problems using a laser unit. *Trans. ASAE* 28(1): 190-192.
- Kranz, W. L., and D. E. Eisenhauer. 1990. Sprinkler irrigation runoff and erosion control using inter-row tillage techniques. *Applied Eng. Agric.* 6(6): 739-744.
- Levine, G. 1952. Effects of irrigation droplet size on infiltration and aggregate breakdown. *Agric. Eng.* 33(9): 559-560.
- Li, J., H. Kawano, and K. Yu. 1994. Droplet size distributions from different shaped sprinkler nozzles. *Trans. ASAE* 37(6): 1871-1878.
- Lundstrom, D. R., and E. C. Stegman. 1988. Irrigation scheduling by the checkbook method. Extension Circular No. AE-792. Fargo, N.D.: North Dakota State Extension Service.
- Lyle, W. M. 1994. LEPA defined: More control with less consumption. *Irrig. J.* 44(6): 8,11.
- Lyle, W. M., and J. P. Bordovsky. 1981. Low energy precision application (LEPA) irrigation system. *Trans. ASAE* 24(5): 1241-1245.
- Lyle, W. M., and J. P. Bordovsky. 1983. LEPA irrigation system evaluation. *Trans. ASAE* 26(3): 776-781.
- Martin, D. L. 1991. Effect of frequency on center pivot irrigation. In *Proc. Nat'l Conf Irrigation and Drainage*, 38-44. ASCE.
- Moldenhauer, W. C., and W. D. Kemper. 1969. Interdependence of water drop energy and clod size on infiltration and clod stability. *Soil Sci. Soc. America Proc.* 33: 297-301.
- Morgan, R. M. 1993. *Water and the Land: A History of American Irrigation*. Washington, D.C.: The Irrigation Association.
- Nderitu, S. M., and D. J. Hills. 1993. Sprinkler uniformity as affected by riser characteristics. *Applied Eng. Agric.* 9(6): 515-521.

- Oakes, P L., and E. W. Rochester. 1980. Energy utilization of hose towed traveler irrigators. *Trans. ASAE* 23(5): 1131-1138.
- Oliveira, C. A. S., R. J. Hanks, and U. Shani. 1987. Infiltration and runoff as affected by pitting, mulching and sprinkler irrigation. *Irrig. Sci.* 8: 49-64.
- Pair, C. H., W. H. Hing, K. R. Frost, R. E. Sneed, and T. J. Schiltz. 1983. *Irrigation*. 5th ed. Washington, D.C.: The Irrigation Association.
- Rochester, E. W., C. A. Flood, Jr., and S. G. Hackwell. 1990. Pressure losses from hose coiling on hard-hose travelers. *Trans. ASAE* 33(3): 834-838.
- Rochester, E. W., S. G. Hackwell, and K. H. Yoo. 1989. Pressure vs. flow control in traveler irrigation evaluation. *Trans. ASAE* 32(6): 2029-2034.
- Rochester, E. W., and S. G. Hackwell. 1991. Power and energy requirements of small hard-hose travelers. *Applied Eng. Agric.* 7(5): 551-556.
- Scaloppi, E. J., and R. G. Allen. 1993. Hydraulics of center pivot laterals. *J. Irrig. Drain. Eng.* 119(3): 554-567.
- Seginer, I. 1965. Tangential velocity of sprinkler drops. *Trans. ASAE* 8(1): 90-93.
- Seginer, I., D. Kantz, and D. Nir. 1991a. The distortion by wind of the distribution patterns of single sprinklers. *Agric, Water Mgmt.* 19: 341-359.
- Seginer, I., D. Nir, and R. D. von Bemuth. 1991b. Simulation of wind-distorted sprinkler patterns. *J. Irrig. Drain. Eng.* 117(2): 285-306.
- Solomon, K., and J. C. Bezdek. 1980. Characterizing sprinkler distribution patterns with a clustering algorithm. *Trans. ASAE* 23(4): 899-906.
- Solomon, K., and M. Kodama. 1978. Center pivot end sprinkler pattern analysis and selection. *Trans. ASAE* 21(5): 706-712.
- Steiner, J. L., E. T. Kanemasu, and R. N. Clark. 1983. Spray losses and partitioning of water under a center pivot sprinkler system. *Trans. ASAE* 26(4): 1128-1134.
- Stillmunkes, R. T., and L. G. James. 1982. Impact energy of water droplets from irrigation sprinklers. *Trans. ASAE* 25(1): 130-133.
- Thompson, A. L., J. R. Gilley, and J. M. Norman. 1993. A sprinkler water droplet evaporation and plant canopy model: I. Model development. *Trans. ASAE* 36(3): 735-741.
- USDA-NASS (U.S. Department of Agriculture National Agricultural Statistics Service). 2003. Farm and Ranch Irrigation Survey and the 2002 Census of Agriculture. National Agricultural Statistics Service (NASS), Agricultural Statistics Board, USDA.
- von Bernuth, R. D. 1983. Nozzling considerations for center pivots with end guns. *Trans. ASAE* 26(2): 419-422.
- von Bernuth, R. D., and J. R. Gilley. 1985. Evaluation of center pivot application packages considering droplet induced infiltration reduction. *Trans. ASAE* 28(6): 1940-1946.

- von Berruith, R. D., D. L. Martin, J. R. Gilley, and D. G. Watts. 1984. Irrigation system capacities for com production in Nebraska. Trans. ASAE 27(2): 419-424,428.
- Vories, E. D., and R. D. von Bernuth. 1986. Single nozzle sprinkler performance in wind. Trans. ASAE 28(6): 1940-1946.
- Wilmes, G. J., D. L. Martin, and R. J. Supalla. 1993. Decision support system for design of center pivots. Trans. ASAE 37(1): 165-175.