الفصل التاسع

تقييم أداء نظم الري

(٩,١) مقدمة

تعتبر المياه في العالم من الموارد الثمينة التي يجب المحافظة عليها وعدم تبديدها أو سوء استخدامها. وأن ندرة المياه في معظم بلدان العالم أدت إلى ارتفاع تكلفة المياه مما أدى إلى الاهتمام الكبير بالمحافظة عليها وتقنين استخدامها ورفع كفاءة استخدامها وتعظيم أداء نظم الري. وكفاءة استعمال المياه هو مطلب والتزام لكل من يستعملها، ولكن تختلف هذه الكفاءة من مكان إلى آخر. حيث من المعتاد في المناطق التي تكون فيها المياه قليلة ومكلفة أن يتم استخدامها بحرص، بينما في المناطق التي تتوفر فيها مصادر المياه فهناك اتجاه إلى سوء استعمال هذه المياه. وعلاوة على ذلك تتأثر الكفاءة بتكاليف العمالة ونوعيتها وسهولة استعمال واستخراج هذه المياه، ونوع المحصول وخصائص التربة. لذلك فإن معرفة متى وأين وكيف يمكن عمل التحسينات التي تؤدي إلى زيادة كفاءة وفاعلية الري مطلباً ضرورياً في أي نظام للري. وبالتالي يجب المحافظة على المياه والتحكم في الهدر فيها منذ مغادرة المياه من مصدرها الرئيس حتى وصولها للحقل المراد زراعته، ومن ثم وصولها لمنطقة جذور النباتات حتى يتم استهلاك النبات لها.

(٩,٢) مفهوم تقييم الأداء

إن تقييم الأداء هو التحليل الكمي لأي نظام ري مبني على قياسات فعلية مأخوذة في الحقل تحت حالات التشغيل المعتادة للنظام وفي ظل الظروف الطبيعية المحيطة بالنظام. كذلك يشمل الدراسات الميدانية التي تؤدي إلى تعديلات في النظام المستخدم بهدف رفع أداء النظام، مثل تغيير ضغط الرشاشات في حالة نظم الري بالرش، أو تغيير جدولة النظم. إن تقييم أداء نظام الري يتطلب معرفة الكثير من المعلومات الخاصة بالنظام مثل الخصائص الهيدروليكية للنظام، والإدارة المتبعة في تشغيل النظام، والاحتياجات المائية للمحصول، والخصائص الهيدروليكية

للتربة، والظروف الحقلية مثل مساحة وشكل الحقل والتضاريس، واقتصاديات التشغيل. والمتغيرات الخاصة بالإدارة والتشغيل مثل قيود مصدر المياه، وقيود العمالة، والتكاليف. وهناك أسس عامة مشتركة لمقاييس الأداء والتقييم لكل نظم الري، بالإضافة إلى أسس خاصة تميز كل نظام عند التقييم لما يتطلبه كل نظام من أساليب إدارة وتشغيل للنظام يختلف من نظام إلى آخر، مما يجعل هناك اختلافات في منهج التقييم من نظام إلى آخر. إن تقييم الأداء ليست عملية منفردة بل هي عملية متكاملة يسبقها جمع بيانات عن خصائص النظام وما يؤثر فيه من ظروف حقلية ويليها تحليل البيانات وإعداد التقرير، وأخيراً تقديم مقترحات وتوصيات لرفع الأداء.

(٩,٣) أهداف تقييم أداء نظم الري

من أهم أسباب القيام بتقييم نظم الري الحفاظ على المياه، وتحسين الاستخدام الفعال للمياه، وتقليل الفواقد بالتسرب العميق، وانتظام توزيع المياه الذي يعمل على تحسين إنتاج المحاصيل، ورفع العائدات المالية، والاستفادة من مصادر المياه المحدودة بأقصى درجة. وإن الأهداف الأساسية لعملية تقييم الأداء هي تقييم كفاءة وانتظامية عملية الري، وتحديد المشاكل في تصميم النظام أو إدارته، وتحديد فرص وكيفية رفع الأداء. فليس للتقييم أي جدوى اقتصادية ما لم يتم تقديم مقترحات بالتغيير أو تحسين إدارة النظام بعد إلقاء الضوء على وجوه القصور التي تم تحديدها من خلال التقييم.

فيجب عدم الاهتمام بالتفاصيل الفنية للتقييم، ولكن الأهم هو كيف يمكن للنتائج أن تكون أكثر فاعلية في المساعدة على إنتاج محاصيل أفضل وتحقيق تكاليف إنتاج أقل. وبالتالي يجب توجيه عمليات التقييم نحو الهدف منها وهو كيفية تحسين أداء النظام. ولا يجب أن يقوم تقييم النظام فقط بقياس وتسجيل البيانات الهيدروليكة مثل التصرف والضغط، إنما يجب كذلك أن يأخذ التقييم في الاعتبار كيف يمكن تحسين مقاييس الأداء. وتعتبر التوصيات لمن يقوم بالتشغيل لعمل بعض التغييرات في تصميم نظام الري، والإدارة، والتشغيل بنفس أهمية البيانات التي يتم تجميعها.

لذلك يمكن تلخيص الهدف من تقييم نظم الري في أربعة أسباب هي:

١- إيجاد انتظامية توزيع مياه الري وكفاءة النظام الفعلية كما هو متبع في الحقل.

٢- معرفة كيفية استعمال نظام الري استعمالاً مفيداً. وكذلك معرفة إمكانية تحسينه ومعالجة أي خلل في النظام بناءا على نتائج التقييم.

٣- الحصول على معلومات فعلية عن الرشاشات أو المنقطات وظروف تشغيلها، تفيد في تطوير التصميم وفي التصاميم المستقبلية لنظم الري.

٤- الحصول على معلومات يمكن مقارنتها بالنظم الأخرى للري وكذلك مقارنتها اقتصادياً لاختيار الأنسب.

(٤ , ٩) عناصر التقييم

يجب للقيام بعملية التقييم على أفضل وجه الدمج بين العوامل الزراعية والعوامل الهندسية لتحديد أداء نظام الري. فيجب مراعاة طبيعة العمالة القائمة بالتشغيل ومدى استيعابها لنتائج التقييم ووسائل التقويم، ومصدر المياه، وقيود التشغيل الحقلية.

وهناك العديد من المعايير يتم استخدامها لوصف أداء نظام الري، أهمها الكفاءة والانتظامية. ويندرج تحت كل منها عدة معايير يهتم كل منها بجزئية من الأداء فنجد أن الكفاءة وهي بمفهومنا العام نسبة الناتج إلى الأصل أو الأساس. فكفاءة الإضافة تتعامل مع الماء الخارج من النظام والماء المخزن في منطقة الجذور، وكفاءة التخزين تتعامل مع الماء المخزن بالفعل في منطقة الجذور مقارنة بالماء اللازم للوصول إلى حد السعة الحقلية، بينما كفاءة الاستخدام تقارن بين المياه التي استهلكها النبات بالفعل إلى المياه التي خزنت في منطقة الجذور أو المياه التي اضيفت بواسطة نظام الري، وهناك كفاءة أخرى يجب عدم إغفالها رغم أنها ليس لها علاقة مباشرة بتصميم النظام ولكنها توضح الهدر في المياه منذ خروجه من مصدر الري الرئيس حتى وصوله إلى النظام. والاهتمام الأكبر لمقيم الأداء هو كفاءة الإضافة ولكن لا يجب إغفال باقي الكفاءات، ولذا نجد أن هناك نوعان من كفاءة الإضافة هما كفاءة الإضافة الشاملة للنظام وكفاءة الإضافة في الربع المنخفض. وكذلك يوجد نوعان لانتظامية التوزيع وهما انتظامية التوزيع الشاملة وانتظامية التوزيع في الربع الأقل. وبالإضافة إلى معيار الإضافة والانتظامية هناك معايير أخرى لا يجب إهمالها مثل معدل الإضافة الذي يجب أن يساوي أو يقل عن معدل التسرب الأساسي للتربة، ونسبة الفاقد بالبخر وبعثرة الرياح، ونسبة الجريان السطحي، وتفاوت الضغوط، وتفاوت تصرفات أدوات الري. وإن الطرق والمعادلات التي يمكن بها تحديد قيمة تلك المعايير وبالتالي أداء النظام عديدة ويتم حسابها بدقة عالية. وتراعي أن طرق الري المختلفة تتطلب خطوات تقييم مختلفة.

(٥ ,٩) العوامل المؤثرة على أداء نظام الري

(١ ,٥ ,٩) تصميم النظام

يؤثر نوع وتصميم نظام الري ليس فقط على الكفاءة وإنما أيضاً على انتظامية إضافة المياه. وتشير الانتظامية إلى كيفية إضافة المياه بشكل منتظم على المساحة المروية، ويؤثر هذا على كثير من المتغيرات المستخدمة لتقييم أداء الري.

ويجب على المهندس الذي يقوم بتصميم نظام الري، تحديد متغيرات الإدارة المستهدفة الملائمة لتحقيق أهداف النظام ضمن القيود المفروضة. ويمكن أن تكون هذه القيود اقتصادية، وبيئية، ونوعية وكمية المياه، والمحاصيل، وأنواع التربة، والخدمة، ومهارات الإدارة. ويجب اختيار متغيرات الأداء المستهدفة لمقابلة القيود، فأعلى كفاءة يمكن إنجازها قد تكون غير ملائمة. وأخيراً، فمن المهم معرفة أن إدارة وتشغيل النظام مهمان بقدر تصميم النظام في مقابلة متغيرات الأداء المستهدفة.

ومقياس الكفاءة ليست دالة فقط في المكان ولكن أيضاً في الزمن. ويتم غالباً تقييم كفاءات إضافة الري بالنسبة لرية واحدة، ولكن افتراض أن هذا مساوٍ لكفاءة الري الموسمية بالنسبة للمحصول النامي يحتمل أن يكون غير صحيح. فيمكن أن تؤدي الاختلافات في ظروف التربة، ومراحل نمو النبات، والظروف المناخية إلى كفاءات مختلفة إلى حد كبير. ويمكن أن تعمل أيضاً إدارة وتشغيل النظام على تغيير الكفاءة.

(٢ ,٥ ,٩) تقسيمات المياه

يمكن تقسيم المياه التي تخرج من مصدر الري حتى تخزن في منطقة الجذور حيث الفائدة الفعلية منها إلى أربعة أنواع، اثنين من حيث الاستخدام استهلاكي أو غير استهلاكي، واثنين من حيث الاستفادة من هذه المياه مفيدة أو غير مفيدة، وقد تم توضيح هذا التقسيم في الجدول رقم (١ ,٩). فعلى سبيل المثال يعتبر البخر-نتح للمحصول هو استخدام استهلاكي مفيد وهو المتطلب الرئيس من خلال نظام الري. ونسبته بالنسبة لباقي الاستخدامات هو الذي يحدد كفاءة نظام الري.

فالمشاكل الرئيسة للتسرب العميق هي تدهور نوعية المياه حيث إن المياه تتحرك من خلال القطاع الرأسي للتربة إلى المياه الجوفية، وخسارة الأسمدة النباتية القابلة للذوبان. ويعد الاستخدام غير المفيد غير الاستهلاكي فاقد بالنسبة إلى الحقل أو المزرعة لكن يمكن استخدامه لتلبية حقوق مائية أخرى ضمن المنطقة.

الجدول رقم (١ , ٩). تقسيم استخدامات مياه الري.

نوع الاستخدام	الاستخدام الاستهلاكي	الاستخدام غير الاستهلاكي
المفيد	البخر-نتح للمحصول	المياه للغسيل
	البخر للتبريد	
	البخر للحماية من الصقيع	
غير المفيد	البخر-نتح للنباتات أسفل سطح الأرض	التسرب العميق
	البخر-نتح للأعشاب الضارة	الجريان السطحي
	البخر من التربة	الفائض في التشغيل
	البخر من الخزان والقناة	

تؤثر انتظامية إضافة المياه على ما إذا كان استخدم المياه مفيداً، استهلاكياً، أم لا. وتقدم نظم الري بالرش والري الدقيق تحكماً أفضل لإضافة المياه بالمقارنة بنظم الري السطحية، والتي لها المشكلة الكبرى بسبب الجريان السطحي وتسرب المياه بالتربة غير المنتظم الذي يؤثر بشكل كبير على كمية المياه المتاحة لكل نبات. وحتى في أنواع التربة المنتظمة، فمن الصعب تصميم وتشغيل نظام ري سطحي يقدم إضافة منتظمة للمياه، بدون وجود مياه ري تحت سطح التربة في جزء من الحقل والتسرب العميق المفرط في أجزاء أخرى.

ومن المهم للمصمم أن يفهم ويحدد ويختار متغيرات الكفاءة والانتظامية الملائمة عند تصميم نظم الري. وغالباً ما تكون مفاهيم كفاءة وانتظامية الري غير مفهومة وواضحة. فمتغيراتها متعددة الأبعاد بتغير المكان والزمان.

(٣ , ٥ , ٩) الإدارة والتشغيل

إن إدارة وتشغيل النظام هما على نفس قدر أهمية تصميم النظام لتحقيق متغيرات الأداء المستهدفة. فيجب الاهتمام بدرجة كبيرة بالكفاءة خاصة في ظل المصادر المائية المحدودة والعوامل البيئية القاسية والظروف المناخية الصعبة. فإدارة التشغيل الجيدة في نظم الري بالرش على سبيل المثال يمكنها أن تقلل من انخفاض انتظامية توزيع المياه، حيث إنها تتأثر بهيدروليكية النظام وضغوط التشغيل، وطبيعة الأرض غير المستوية، والجريان السطحي للمياه المضافة عندما تتجاوز معدلات الإضافة معدلات تسرب التربة، والتسريبات في الشبكة التي لم يتم كشفها. وبالمثل، فمع نظم الري الدقيق يمكن أن تختلف الإضافة بسبب ضغط النظام غير المنتظم، والمنقطات المسدودة.

(٤ , ٥ , ٩) عمر النظام

عند مناقشة الأداء، يجب تحديد المتغيرات التي تحدث في الأداء خلال فترة عمر النظام، فمن الممكن أن تكون تقلبات الضغط الناتج عن التنظيف العكسي بتدفق المياه، أو التتابع بين أماكن الري المختلفة مؤثر في الأداء. فإن الأداء اللحظي للنظام يتأثر تقريباً على نحو دائم بهيدروليكا النظام، وتسرب التربة، ومنسوب الماء الأرضي. ومن المحتمل أن تكون تغيرات الأداء الأكثر صعوبة في التقييم هي تلك المتعلقة بالتغيرات الموسمية في حالة مكونات النظام مثل الأجهزة والمنقطات والرشاشات والمضخات. وتلك التغيرات الطفيفة، التي تحدث عادة في الهيدروليكا عبر فترات زمنية طويلة نتيجة للتآكل داخل النظم عالية الضغط، مثل تآكل دافع المضخة وفوهات الرشاشات والمنقطات بسبب وجود الرمال في المياه. وبالمثل فبدون صيانة النظام بعناية وبصورة دورية فإن نظام الري الدقيق الذي يستخدم مياه عالية المعادن المذابة يمكن أن تؤثر في أداء المنقطات بترسيب المعادن وانسداد الفوهات، وأيضاً عدم وجود نظام تصفية لمياه الري عالي الجودة يمكن أن يؤدي إلى انسداد فوهات الرشاشات أو المنقطات مما يؤثر على أداء النظام.

هناك تقييمات متعددة مطلوبة لقياس التغيرات في أداء النظام، وللأسف، فإن معظم مناهج التقييم تأخذ في اعتبارها عملية الري اللحظية فقط، فهي تعطي لمحة سريعة عن أداء النظام الحالي ككل. ومن الممكن أن تعمل هذه التقييمات الفردية على تطوير كل مقاييس الأداء الضرورية، ولكنها قد تقوم بالعرض السيئ لأداء النظام على غير حقيقته لاختيار توقيت إجراء تقييم غير مناسب نتيجة ظروف مناخية أو هيدروليكية متطرفة. ويعمل الاقتصاد في الوقت والجهد من جهة ودقة النتائج من جهة أخرى على تحديد كم يلزم من القياسات القيام به في أي تقييم.

(٦ , ٩) الخطوات السابقة لعملية التقييم

١ - إدارة المتغيرات

وهي الخطوة الأولى التي تسبق عملية التقييم وهي تعني تحديد متغيرات الإدارة للنظام. بداية من تحديد ودراسة مصدر الماء للنظام ومدى كفايته وطبيعته (خزان، أو بئر، أو قناة، أو خط أنابيب)، ثم مراقبة ودراسة كيف يتم تيسير حركة المياه حتى وصولها إلى بداية النظام، وأخيراً مراقبة كيف يتم نشر هذه المياه داخل منطقة الجذور للمحاصيل التي يتم زراعتها.

٢- تحديد قيود إمدادات المياه

إحدى الخطوات المهمة في تقييم نظم الري تكمن في تحديد قيود إمدادات المياه وفهم أسباب هذه القيود. وأغلب القيود المرتبطة بمعظم مصادر المياه الزراعية إما طبيعية، أو كيميائية، أو زمنية. وهي تحدد نوع المصدر وجودة المياه ومدى توفرها في كل الوقت أو في مناوبات من الزمن. وعند تقييم أداء النظام يجب أن يدرك القائم بالتقييم علاقات السبب والأثر بين إمدادات المياه وتشغيل النظام. ولابد من الأخذ في الاعتبار هذه العلاقات والتوصيات الناتجة.

في عمليات التقييم، يجب وصف إمكانيات النظام بدقة عند التعامل مع قيود إمدادات المياه. فعلى سبيل المثال، يمكن لمشغل النظام أن يقوم بضبط كمية المياه التي يتم إضافتها في نظام الري المنقول يدوياً لوضع معين في فترة زمنية معينة بدون تغيير في الضغط والتصرف ثم إجراء التشغيل للمجموعة التالية بدون تغيير في المسافات بين الخطوط الفرعية مما يؤدي إلى تقليل انتظامية التوزيع في عملية الري، ولكنه يمكنه زيادة الانتظامية عن طريق المجموعات البديلة أي المتداخلة. ويجب أن يفهم القائم بتشغيل النظام أن المجموعات المتداخلة لابد من تحريكها لنصف مجموعة، أو بين المجموعات السابقة. ويعمل هذا على تحسين انتظامية التوزيع الكلية للنظام، بشرط أن يكون الحقل ليس به نقص في ريه، أي عدم حدوث الري الناقص وهو يشير إلى أن عملية الري لا تعيد ملء تخزين منطقة الجذور وأن استنزاف رطوبة التربة ستبقى مع اكتمال عملية الري هذه.

٣- المعوقات الزراعية

يجب دراسة جدولة الري المتبعة للنظام وهل تم أخذ جميع المعوقات الزراعية في الاعتبار عند عمل جدولة الري بخلاف الاحتياجات المائية للمحصول مثل مراقبة نمو الحشائش الضارة، والحفاظ على نشاط المحصول، ومراقبة الأمراض، وغرز مجموعة الأشجار المحيطة بالمحصول، وهي اعتبارات زراعية تؤثر على أداء نظام الري ويجب أخذها في الاعتبار.

يجب القيام بتقييم أداء نظم الري تحت إشراف فريق يضم مهندس في الهندسة الزراعية (أو التربة أو علم المياه)، وكذلك مهندس متخصص في الري. وهذا يلقي الضوء على أهمية احتواء علوم الزراعة في تقييم الحقل.

٤- تشغيل النظام

يجب أن تؤخذ في الاعتبار عند التقييم ظروف تشغيل النظام ومعرفة من الذي يحدد متى يتم الري وكمية مياه الري، ومعرفة من يقوم بالتشغيل والإيقاف للنظام، وغالباً يكون مالك المزرعة أو المهندس المسؤول عنها هو

الذي يحدد موعد وكمية الري، وعامل بسيط هو الذي يقوم بالتنفيذ وليس لديه تدريباً في طرق إدارة الري التي يمكن استخدامها لتحسين الأداء. ويتم حساب زمن الري من خلال العمالة المتاحة والمياه المتوفرة من مصدر الري وإذا كانت كانت دائمة التوفر أو دورية (تناوبية). وليست من خلال الاحتياجات المائية للمحصول المحددة بدقة. وسوف يؤثر فهم المالك والمهندس المسؤول والمشغل للنظام لأهمية التقييم واتباع توصيات التقييم في رفع الأداء وبالتالي في نجاح التقييم.

٥- المخاوف البيئية

إن العلاقة بين إدارة نظام الري وأي مصدر مياه جوفية أساسية تعد اعتباراً بيئياً كبيراً لابد من إدراكه في تقييم نظام ري المزرعة. ومدى تأثير مياه الري الزائد والذي ينتج عنه تسرب عميق يؤثر على منسوب الماء الأرضي في حالة قربه من سطح الأرض مما يؤثر على الإنتاج، وقد يكون التسرب العميق، مفيداً عندما يأخذ في اعتباره تغذية المياه الجوفية البعيدة بفرض أن جودة المياه لا تتدهور بدرجة كبيرة، من حيث النوعية كزيادة الملوحة مثلاً.

(٩,٧) تعريف مقاييس أو معاملات الأداء

إن قياس أداء نظام الري المستخدم يتم بمعيارين أساسيين للأداء هما الكفاءة (Efficiency)، والانتظامية (Uniformity).

أولاً: كفاءة الري (Irrigation Efficiency (E_i)

تعرف كفاءة الري بأنها نسبة كمية المياه المطلوبة لإنتاجية المحصول إلى كمية المياه المضافة إلى الحقل أثناء الرية وتعتمد على انتظامية الري وإدارته. ويمكن التعبير عنها رياضياً كالتالي:

$$Ei = \frac{ETc}{D_g} \times II \times 100 \qquad (٩,١)$$

حيث إن:

Dg = عمق الماء المضاف إلى الحقل من نظام الري (مم).

ETc = الاحتياج المائي اليومي للمحصول (مم/ يوم).

II = الفترة بين الريات (يوم).

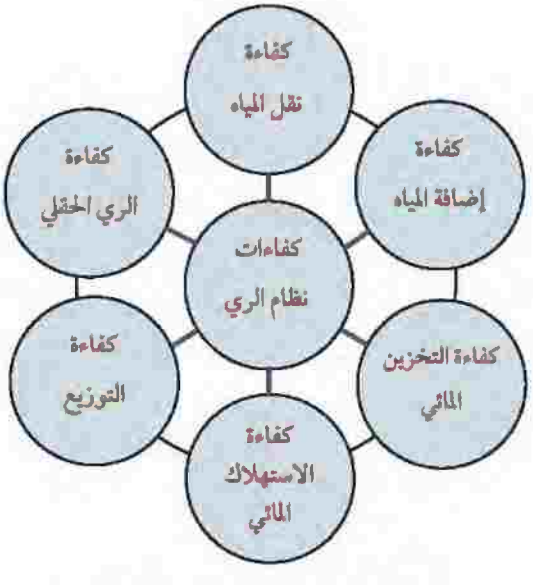
وبالتالي فإن الكفاءة هي معامل أو مدلول يبين مدى إنجاز عمل ما بأقل مجهود وأعلى إنتاج أي بمعنى آخر هي النسبة بين المخرجات إلى المدخلات (E = output/input). لذلك فإن دراسة الكفاءة لنظام ري تمكننا من

استبيان مدى فاعلية هذا النظام ومن ثم يمكن العمل على رفع تلك الكفاءة بمعرفة أسباب القصور المسببة لخفض تلك الكفاءة والعمل على علاجها.

وبالنسبة لكفاءة الري يتم نقل ماء الري من مصادره إلى الحقول وتجهيزه للمحاصيل الزراعية بطرق مختلفة، وبعبارة أخرى فإن ماء الري ينقل من نقطة ضخه (المصدر) وحتى مكان استغلاله من قبل النبات (الحقل)، وعليه يتخلل هذه العملية بعض الفاقد المائي تؤثر على كفاءة الري. وبالتالي يمكن إيجاد كفاءة تلك المراحل من لحظة خروج المياه من المضخة إلى وصولها إلى منطقة جذور النبات المراد ريه. وبالتالي يمكن تقسيم أنواع كفاءات نظام الري كما في الشكل رقم (١ , ٩).

١ – كفاءة نقل المياه Water Conveyance Efficiency

هي النسبة بين كمية المياه الداخلة للحقل إلى كمية المياه الخارجة من مصدر الري والذي ينقل خلال شبكة ري معينة. إن كفاءة نقل المياه من المصدر إلى الحقل الذي يتم ريه تعتمد على طرق نقل المياه سواء كانت ممرات طبيعية، أو منشئات أرضية أو قنوات مبطنة، أو أنابيب مغلقة. وكثير من طرق النقل لها فواقد انتقال وبالتالي فالمياه التي تصل إلى الحقل عادةً ما تكون أقل من المياه المحولة من مصدر الري سواء كان مجرى مائي، أو خزان، أو بئر. وتستخدم هذه الكفاءة لحساب المقننات المائية وهي غالباً ما يستخدمها المهندسون عند تصميم شبكات الري للعمل على تقليل فواقد المياه نتيجة مرورها في القنوات المائية المختلفة خصوصاً القنوات المائية المكشوفة (الشكل رقم ٢ , ٩).



الشكل رقم (١ , ٩). كفاءات نظام الري.

الشكل رقم (٢ , ٩). قناة ري غير مبطنة وأخرى مبطنة لنقل مياه الري من المصدر إلى الحقل.

ويمكن التعبير عن كفاءة نقل المياه من المعادلة:

$$E_c = \frac{D_g}{D_r} \times 100 \qquad (٩ , ٢)$$

حيث إن:

Ec = كفاءة نقل المياه.

Dg = عمق الماء المضاف إلى الحقل.

Dr = عمق الماء الخارج من المصدر إلى الحقل.

والفرق بين العمقين D_r و D_g هو مقدار الفاقد أثناء النقل مثل البخر والتسرب من القناة، والتسريب من الأنبوب المغلق، الخ. ويقل D_g بزيادة الفواقد، وبالتالي تقل كفاءة النقل.

عند حساب كفاءة النقل أو أي من كفاءات الري المختلفة يمكن التعامل مع المياه في المعادلات كأعماق أو حجوم أو تصرفات حسب المعلومات المتاحة وهذا لن يؤثر في قيمة تلك الكفاءات.

٢ – كفاءة إضافة المياه Water Application Efficiency

هي النسبة بين المياه التي تخزن في منطقة الجذور إلى الماء المضاف إلى الحقل. وهي مقياس لجزء من المياه المضافة المخزونة في قطاع التربة والمتاح لاستخدام المحصول. إن الجريان السطحي، والتسرب العميق، والبخر من سطح التربة قبل نزول الماء لمنطقة الجذور، بالإضافة إلى اندفاع قطرات الرش خارج الحقل، وتبخر تلك القطرات

أثناء وصولها لسطح التربة، جميعها فواقد تساهم في تقليل كفاءة إضافة نظم الري. فحجم المياه المفقودة في التبخر أو جرف الرياح من الصعب تقديره أو قياسه. فهو يمكن أن يلبي بعض المطلب للتبخر ويقلل من البخر-نتح المحتمل للمحصول، وبالتالي يلبي بشكل غير مباشر جزءً من متطلبات مياه المحصول. وبالتالي تعد مثل هذه المياه جزءً من الاستخدام النافع ولن تقلل من كفاءة الإضافة. مع هذا فالمياه المحصورة في ثنايا قمم المحصول تتبخر بمعدل أعلى من معدل نتح النباتات المروية بشكل كاف وتميل إلى تقليل كفاءة الإضافة.

يمكن أن تكون كفاءة الإضافة عالية عندما تكون كميات الري صغيرة، لتقليل الجريان السطحي، وعندما يكون قطاع التربة غير ممتلئ لتقليل التسرب العميق، حيث إن كل المياه المسلمة تكون متاحة لتلبية متطلبات مياه المحصول (البخر-نتح). ولكن من الممكن أن يؤدي هذا بأن تكون المياه المتاحة غير كافية لتلبية متطلبات المحصول، وتسبب نقص في الإنتاج. ويُعبر عن كفاءة إضافة الماء بالمعادلة التالية:

$$E_a = \frac{D_n}{D_g} \times 100 \qquad (٩,٣)$$

حيث إن:

Dn = عمق الماء المخزن في منطقة الجذور بالتربة أثناء عملية الري أو عمق الماء الصافي المضاف.

Dg = عمق الماء المضاف إلى الحقل.

وحيث إن فواقد مياه الري الأكثر شيوعاً أثناء الري هي:

Ro = الجريان السطحي للماء على سطح التربة إلى خارج الحقل.

Dp = التسرب العميق للماء أسفل منطقة الجذور بالتربة للحقل.

Ev = البخر للماء أثناء الإضافة الفعلية لماء الري وفي الفترة التي تليها مباشرة حتى تسرب الماء كلياً للتربة.

وهناك فاقد آخر يوجد في نظم الري بالرش وهو ناتج عن بعثرة الرياح للماء خارج الحقل L_w ويضاف في هذه الحالة إلى فاقد البخر أثناء حساب كفاءة الإضافة.

وبناءا على الفواقد السابقة يمكن حساب عمق الماء المخزن في منطقة الجذور بالتربة أثناء عملية الري (D_n) من المعادلة التالية:

$$D_n = D_g - (R_o + D_p + E_v + L_w) \qquad (٩,٤)$$

ويمكن حساب عمق الماء المخزن في منطقة الجذور بالتربة أثناء عملية الري (Dn) حقليا بقياس الرطوبة في منطقة الجذور قبل الري وبعد الري سواء باستخدام التنشوميتر أو جهاز تشتت النيترونات بتطبيق المعادلة التالية:

$$D_n = (\theta_{V2} - \theta_{V1}) \times D_{rz} \qquad (٩,٥)$$

حيث إن:

θ_{V1} = متوسط الرطوبة الحجمية قبل الري في منطقة الجذور (٪).

θ_{V2} = متوسط الرطوبة الحجمية بعد الري في منطقة الجذور (٪).

D_{rz} = عمق منطقة الجذور.

والرطوبة الحجمية تقدر على أساس الرطوبة الوزنية في كثافة التربة النسبية

$$\theta_v = \theta_m \times \frac{\rho_s}{\rho_w} \qquad (٩,٦)$$

أهم العوامل التي تؤدي إلى انخفاض كفاءة الإضافة:

١- ازدياد ارتفاع الماء فوق سطح التربة (عمق الماء المستعمل) في نظم الري السطحي مما يؤدي إلى حدوث جريان سطحي وتسرب عميق.

٢- انخفاض نفاذية التربة أو وجود طبقات مضغوطة بها يزيد الجريان السطحي.

٣- زيادة كمية الري المضافة عن الاحتياج الفعلي للنبات يزيد حدوث التسرب العميق.

٤- الري في درجات حرارة مرتفعة خاصة أوقات الظهيرة يزيد فاقد البخر.

٥- الري أثناء وجود رياح يزيد الفاقد ببعثرة الرياح لنظم الري بالرش.

٦- زيادة معدل الإضافة من نظم الري الحديثة عن معدل تسرب التربة يؤدي لحدوث جريان سطحي.

٧- التصميم غير المناسب لنظام الري يؤدي إلى انخفاض كفاءة الإضافة.

٣- كفاءة التخزين المائي Water Storage Efficiency

هي النسبة بين كمية المياه المخزنة فعلياً في منطقة الجذور نتيجة عملية الري إلى كمية المياه الواجب تخزينها في منطقة الجذور لتوصيلها إلى السعة الحقلية، ويعبر عنها كما يلي:

$$E_s = \frac{D_n}{D_c} \times 100 \qquad (٩,٧)$$

حيث إن:

Es = كفاءة تخزين المياه.

D_n = عمق المياه المخزونة في منطقة جذور التربة من إحدى الريات.

Dc = عمق الماء المطلوب تخزينه لاستهلاك النبات في منطقة الجذور قبل الري. ويمكن حساب عمق الماء المطلوب تخزينه لاستهلاك النبات في منطقة الجذور قبل الري (Dc) كالتالي:

$$D_c = (\theta_{FC} - \theta_{VI}) \times D_{rz} \qquad (٩,٨)$$

أو

$$D_c = D_{FC} - D_I \qquad (٩,٩)$$

حيث إن:

θ_{FC} = الرطوبة الحجمية عند السعة الحقلية لنوع تربة منطقة الجذور (٪).

θ_{VI} = الرطوبة الحجمية قبل الري (٪).

D_{rz} = عمق منطقة الجذور.

D_{FC} = عمق المياه عند السعة الحقلية في منطقة جذور التربة.

D_I = عمق المياه في منطقة جذور التربة قبل الري.

في نظام الري الجيد تظل عملية الري حتى تصل التربة إلى سعتها الحقلية وفي هذه الحالة يكون $D_n = D_c$ وتكون كفاءة تخزين المياه ١٠٠٪.

وبمعنى أخر، فإن قيمة كفاءة التخزين المرتفعة تعني أن الري يصل للتربة إلى السعة الحقلية في منطقة الجذور وليس أعلى من ذلك. ولتجنب التسرب العميق فإن أقصى كمية من المياه يجب إضافتها في إحدى عمليات الري هي الفرق بين السعة الحقلية ومتوسط المحتوى المائي في منطقة الجذور قبل الري. ويندر استخدام كفاءة تخزين مياه التربة بسبب صعوبة تحديد منطقة الجذور، التي تتغير أثناء الموسم وهي مختلفة لكل محصول، وتربة، وممارسة إدارة. والاستخدام الرئيس لكفاءة تخزين مياه التربة هو مع إدارة نظم الري السطحية ونظم الري بالرش حيث يكون الهدف تقليل العمالة وعدد الريات، ومنع الإفراط في الري.

أحد مشاكل استخدام كفاءة التخزين مع نظم الري بالرش ونظم الري الدقيق هي أنه حتى لو كانت منخفضة، فإن عمليات الري التالية يمكن أن تمد مياه كافية لإنتاج المحصول، وممارسة الإدارة هذه تترك بعض

المكان لتخزين المياه في التربة من تساقط المطر. فنظم الري بالرش ونظم الري الدقيق يتم تشغيلها بشكل نموذجي على أساس متكرر ويمكن أن تمد فقط المياه اللازمة بدون ملء القطاع الرأسي للتربة.

٤- كفاءة الاستعمال المائي Water Use Efficiency

وتسمى أيضاً كفاءة الاستهلاك المائي، وهي النسبة بين مقدار الاستهلاك المائي للنبات إلى إجمالي مقدار الماء المستنفذ من التربة في منطقة الجذور. وهي تستخدم لتقييم فقد الماء بالتسرب العميق (الصرف) والفقد الناتج من البخر الكلي.

ويشمل الماء المستنفذ أو المفقود من منطقة الجذور بالتربة:

- المياه المفقودة بواسطة التسرب العميق أسفل منطقة الجذور (Dr) Drainage.
- المياه المفقودة بواسطة النتح من النبات Transpiration.
- المياه المفقودة بواسطة البخر من سطح التربة Evaporation.
- المياه التي تبقى في أنسجة النبات وتستعمل في العمليات البيولوجية، وهي قيمة صغيرة جدا يمكن أهمالها حيث لا تزيد عن ١٪ من مجموع البخر نتح (وهو ما يعبر عن النتح والبخر معا).

$$E_{cu} = \frac{ET_c}{(ET_c + D_p)} \times 100 \qquad (٩,١٠)$$

حيث إن:

E_{cu} = كفاءة الاستهلاك المائي.

ET_c = البخر نتح الفعلي (الاستهلاك المائي للنبات).

D_p = معدل التسرب العميق أو معدل الصرف.

عندما لا يوجد تسرب عميق تكون كفاءة استعمال المياه ١٠٠٪.

العوامل التي تؤثر على البخر السطحي من التربة والماء المفقود بالتسرب العميق أسفل منطقة الجذور وبالتالي تؤثر في كفاءة الاستهلاك المائي هي:

- قوام التربة.
- الغطاء النباتي.
- توزيع الجذور بالتربة.
- توزيع المحتوى الرطوبي بالتربة.

تعتبر كفاءة الاستهلاك المائي معيارا مهما في وصف الفروق في استجابة المحصول لطرق الري المختلفة، حيث إن المعيار الأساسي هو اختيار أسلوب الري الذي يضمن تحقيق أقصى استنفاذ لاستهلاك النبات من الماء، وتقليل الفاقد بالتسرب العميق. وكفاءة الاستهلاك المائي تكون أكثر دلالة على مستوى الموسم بأكمله بحيث تعكس كل تأثيرات هذه العوامل على مدى النمو الكامل للمحصول، وذلك لإمكانية تقديرها خلال مراحل النمو المختلفة وكذلك كل رية.

٥- كفاءة توزيع المياه Water Distribution Efficiency

أساس نجاح نظام الري ضرورة تجانس توزيع الرطوبة في منطقة الجذور، حتى تكون النباتات النامية بدرجة عالية من التماثل. وفي حالة عدم حدوث تجانس في توزيع الرطوبة في منطقة الجذور يلاحظ ظهور مساحات النبات فيها أقل نمواً وكثافة من باقي الحقل حيث لا تصلها المياه بكمية كافية وتظهر أعراض تجمع الأملاح (التبقع) في المناطق الجافة. وتحسب كفاءة توزيع المياه خلال قطاع التربة من المعادلة التالية:

$$E_d = \left(1 - \frac{\bar{y}}{\bar{d}}\right) \times 100 \qquad (٩,١١)$$

حيث إن:

E_d = كفاءة توزيع الماء خلال قطاع التربة.

$\bar{y}$ = متوسط الانحراف عن عمق الماء المخزن بالتربة.

$\bar{d}$ = متوسط الماء المخزن بالتربة.

أهمية كفاءة التوزيع المائي:

- تعد معياراً للمقارنة بين نظم الري المختلفة.
- تعد مقياس لمدى التجانس الرطوبي خلال المساحة المنزرعة.
- تعد معياراً لعملية تسوية الأرض.

عيوب كفاءة التوزيع المائي المنخفضة:

- وجود تجمع ملحي (تبقع) في بعض المساحات المنزرعة.
- عدم تجانس النمو المحصولي وبالتالي انخفاض إنتاجية المحصول.
- فقد الماء بالتسرب العميق للمناطق المنخفضة والتي حصلت على كمية وافرة من المياه.

٦- كفاءة الري الحقلي Irrigation Field Efficiency

كفاءة الري الحقلية وهي ما يطلق عليها كفاءة الري الكلية، وهي الكفاءة التي تشمل كلاً من كفاءة الإضافة وكفاءة التخزين وكفاءة توزيع المياه في منطقة الجذور. وهي تعتبر أكثر شمولا بدل من الاعتماد على نوع واحد من الكفاءات والذي قد لا يعبر عن واقع الأمر في الحقل. ويمكن التعبير عنها بالمعادلة التالية:

$$E_f = E_a \times E_s \times E_d \times 100 \qquad (٩,١٢)$$

ويمكن تعريف كفاءة الري الحقلية أو الكلية على أنها النسبة بين حجم المياه التي تستخدم بشكل مفيد إلى حجم مياه الري المضافة، ويعبر عنها كما يلي:

$$E_f = \frac{D_P}{D_g} \qquad (٩,١٣)$$

حيث إن:

E_f = كفاءة الري الحقلية.

D_p = عمق المياه المستخدمة بشكل مفيد.

D_g = عمق المياه التي تصل إلى الحقل.

إن كفاءة الري الحقلية هي مقياس أداء موضع اهتمام من القائمين على التقييم بينما لا ينال اهتمام القائم على تشغيل النظام؛ لأن المشغل لا يهتم إلا بالمياه المفيدة فقط للمحصول ويصعب إقناعه بأوجه الفائدة الأخرى من المياه. فإن المياه اللازمة لتلبية متطلبات البخر-نتح للمحصول ليست فقط المياه النافعة التي يمكن إمدادها بإحدى نظم الري، ويمكن أن تشمل الاستخدامات المفيدة الاحتياجات المائية للمحصول، وغسيل الأملاح، والحماية من الصقيع، وتبريد المحصول، وإضافات المبيدات أو الأسمدة. بينما التسرب العميق، والجريان السطحي، والبخر-نتح للأعشاب الضارة، وجرف الرياح، وتبخر قطرات الرش ليست استخدامات مفيدة وبالتالي سوف تعمل على تقليل كفاءة الري.

إن تحديد كفاءة الري أو ما تسمى أحياناً كفاءة الري الكلية أثناء التقييم أمراً غاية في الصعوبة لعدم إمكانية تحديد أوجه النفع المختلفة بدقة، حتى في حالات اعتبار استهلاك البخر-نتح للمحصول لحساب كمية المياه المحتمل استخدامها بشكل نافع تكون المشكلة هي أن عمليات الري الزائد في بداية الموسم لا تعوض عن حالات الري

الناقص في أواخر الموسم. وأنه لا عملية ري واحدة ولا سلسلة من عمليات الري تصل الكفاءة لها ١٠٠٪ في الحياة العملية، ولكن تكون المياه المضافة تحت ظروف الري الناقص هي ما يتم استخدامها على نحو مفيد عادةً.

ومن اللازم الحصول على بيانات كافية حول أداء الري في المزارع لتحديد كفاءة الري في مزرعة ما. وبدون توفر بيانات دقيقة حول أوجه النفع وبدون الفهم الجيد لما تمثله، فإن القيم المذكورة تكون في الغالب مشكوكاً فيها، وتعد قيماً ليست موضوعية، وفي بعض الحالات، غير صحيحة ومضللة.

يوجد بعض المعايير المصاحبة لمعيار الكفاءة يمكن استخدامها أيضاً للحكم على أداء نظام الري وتعتبر هذه المعايير أساس في عملية تقييم الأداء، مثل معدل الإضافة، والفاقد بالبخر وبعثرة الرياح، ونسبة التسرب العميق، ونسبة الجريان السطحي، وكفاية الري. ويمكن تعريف تلك المعايير كالتالي:

١- معدل الإضافة

وهو المعدل الذي يتم به إضافة المياه لمنطقة ما ويتم التعبير عنه بالعمق لكل وحدة زمن وعادة مم/ ساعة، ويعتبر معدل الإضافة وعمق الري المطلوب مطلب أساسياً يجب معرفته لكل قرارات إدارة الري بغض النظر عن كيفية وضع جدولة الري. وبمعرفة معدل الإضافة يمكن حساب الزمن المطلوب لإضافة كمية المياه المحددة. ويجب أن يكون معدل الإضافة أقل من معدل تسرب التربة حتى لا يحدث جريان سطحي وبالتالي فقد في المياه. ويمكن حساب معدل الإضافة من المعادلة التالية:

$$R_a = \frac{D_g}{T} \qquad (٩,١٤)$$

حيث إن:

R_a = معدل الإضافة، مم/ ساعة.

D_g = عمق المياه المضافة، مم.

T = زمن الري، ساعة.

٢- نسبة التسرب العميق

إن مناسيب المياه الأرضية المرتفعة يمكن أن تنتج من التسرب العميق. وتعد نسبة التسرب العميق معيار تقييم مهم في حالة ارتفاع منسوب الماء الأرضي بسبب التسرب العميق، وتستخدم بشكل أكثر فاعلية مع وجود

معيار آخر للكفاءة، مثل كفاءة إضافة المياه أو كفاءة الري. وتكون مهمة بوجه خاص عندما تكون هناك حاجة لتجنب مناسيب المياه الأرضية العالية. ويتم تحديد نسبة التسرب العميق عن طريق:

$$DP_r = \frac{D_{DP}}{D_g} \qquad (٩,١٥)$$

حيث إن:

DP_r = نسبة التسرب العميق.

D_{DP} = عمق المياه المتسربة أسفل منطقة الجذور.

D_g = عمق المياه المضافة.

ثانياً: الانتظامية Uniformity

الانتظامية المقصود بها مدى تجانس توزيع مياه الري المضافة على المساحة المروية أو المتسربة داخل منطقة الجذور للمساحة المروية من الحقل، وتعتمد على تصميم نظام الري وصيانته؛ لأن عدم انتظامية توزيع أعماق المياه فوق سطح التربة سيؤدي إلى وجود مناطق من الحقل يصلها أعماق مياه أقل من المطلوب مما يؤثر على نمو النباتات وبالتالي الإنتاجية للمحصول. فإذا حصلت جميع أجزاء الحقل المروي على نفس الكمية من مياه الري المضافة فإن الانتظامية تكون ١٠٠٪، ولكن في الواقع لا يوجد نظام ري مهما كان نوعه يعطي انتظامية ١٠٠٪. ففي الحقل أثناء الري هناك مساحات أو أجزاء من الحقل تحصل على مياه ري أعلى من مساحات أخرى. إذا كانت المساحات التي حصلت على الكميات الأقل من مياه الري تساوي الكمية المطلوبة لإنتاجية المحصول (تدل على أن هذه المساحات من الحقل مروية بكفاية)، فإن هناك كميات مياه ري زائدة تم إضافتها إلى مساحات أخرى من الحقل. هذه الكميات الزائدة سوف يتسرب جزء منها أسفل منطقة الجذور، ما لم يكون هناك ري ناقص تم استخدامه لري الحقل. ومن المعلوم أنه كلما انخفضت الانتظامية بين تلك المساحات المروية من الحقل زادت الكمية المتسربة أسفل منطقة الجذور، والعكس صحيح عند زيادة الانتظامية أثناء الري. ومن عناصر قياس الانتظامية:

١- معامل الانتظامية (C_u) Coefficient of Uniformity.

٢- انتظامية التوزيع في الربع الأقل (D_u) Distribution of Uniformity.

٣- انتظامية النظام الكلية (C_{us}) Total System Uniformity.

١ - معامل الانتظامية (Coefficient of Uniformity (C_u)

تستخدم معامل الانتظامية كمؤشر يوضح سوء أو تجانس توزيع المياه في النظام ويطلق عليها عدة أسماء مثل انتظامية الإضافة أو معامل انتظامية كريستنسن. وتتأثر معامل الانتظامية بتصميم النظام ومكونات النظام وكيفية تشغيل وعمل النظام. وقد يكون لنظام الري انتظامية عالية وأن يكون منخفض الكفاءة خلال عملية الري الزائد، أو يكون له انتظامية منخفضة وأن يكون ذو كفاءة ١٠٠٪ خلال عملية الري الناقص.

إن عدم انتظامية توزيع المياه في الحقل لا تؤخذ في الحسبان في تعريفات الكفاءة. ولكن عندما يكون القطاع الرأسي للتربة غير ممتلئ (فقط في بعض المناطق لأن مياه الري لم يتم إضافتها بشكل منتظم)، فإن المحصول يمكن أن يظهر بعض الإجهاد. فنظام الري الذي لا يضيف المياه بشكل منتظم يجب أن يضيف المزيد من المياه في بعض المناطق؛ لأنه ليس هناك ما يكفي من المياه في المناطق الأخرى، مثل هذا الإجهاد النباتي الأدنى يحدث عبر كل الحقل. فالمياه الزائدة يمكن أن تتسبب في الجريان السطحي والتسرب العميق تحت منطقة الجذور. والتسرب العميق الناتج يمكن حتى أن يسبب انخفاض منسوب الماء الأرضي، بناءً على ظروف التربة التحتية. وقد يكون التسرب تحت منطقة الجذور مطلوباً لغسيل الأملاح المتراكمة في منطقة الجذور.

إن الانتظامية الطبيعية للنباتات النامية (الحجم، واللون، واختلافات الذبول... الخ) هي متغيرات أداء أخرى محتملة لتقييم نظام الري. وإن الغرض من نظام الري تحسين نمو النباتات لإنتاج المحصول ورفع قيمته. فعمليات إضافة المياه التي تتسبب في استجابات بيولوجية منتظمة (إنتاج مقاس أو مظهر بصري) عبر مساحة الإنتاج المروية بأكملها تكون مرغوبة بشكل عام.

كثير من الأحجام المستخدمة في تعريفات كفاءات الري يصعب قياسها عملياً؛ لأنها تتأثر بالانتظامية. وتعتمد انتظامية الري بشكل عام على القياسات غير المباشرة. وعلى سبيل المثال، فإن انتظامية المياه التي تدخل التربة يفترض أنها ترتبط بتلك المحتجزة في أوعية تجميع لنظم الري بالرش، وبتصرف منقط نظم الري الدقيق، وبزمن فرصة التسرب ومعدلات التسرب للنظم السطحية.

وقد تم اقتراح واستخدام العديد من التعريفات الرياضية لوصف انتظامية النظام. وقد تم تعريف معامل الانتظامية لكريستيانسن (١٩٤٢م) لتقييم نظم الري بالرش. وهو يعرف كما يلي:

$$C_u = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \left|X_i - \overline{X}\right|}{n \cdot \overline{X}}\right) \times 100 \qquad (٩,١٦)$$

حيث إن:

C_u = معامل الانتظامية أو معامل التجانس للانتظامية، ٪.

X_i = العمق المقاس للمياه في أوعية التجميع متساوية التباعد.

$\overline{X}$ = العمق المتوسط للمياه المحتجزة في كل الأوعية.

n = عدد أوعية التجميع.

ويتطلب هذا أن تمثل عبوة وعاء التجميع العمق المضاف إلى كافة المناطق المتساوية. ولا يعد هذا صحيحاً للبيانات المجموعة تحت نظام الري المحوري حيث تكون أوعية التجميع على بعد متساوي على امتداد الخط القطري من المحور حتى الطرف الخارجي. وبالنسبة لنظم الري المحورية فمن الضروري ضبط ووزن كل قياس بناءً على المساحة التي تمثلها أو بناءاً على ترتيب كل وعاء.

ومع هذا فإن الانتظامية يمكن حسابها من واحدة لأخرى مع التوزيعات الإحصائية المفترضة للأعماق المضافة. ويعد الانحراف المعياري ومعامل الاختلاف مثالان على طرق أخرى لقياس الانتظامية.

وإن المعامل C_u يعطي مدلول على مدى تجانس وانتظامية توزيع المياه المضافة على المساحة المروية، ويشاع استخدامه في تقييم أداء نظم الري بالرش. وفي العموم إذا كانت قيمة C_u أقل من ٨٠٪ بالنسبة لنظام الري بالرش فتعتبر معامل الانتظامية غير مقبولة، أما إذا كانت ٨٠٪ أو أكبر فتعتبر مقبولة.

وقد قام ناكاياما (١٩٧٩م) بتطوير معامل انتظامية التصميم C_{ud}، الذي يعتمد على انحرافات معدل التصرف عن المعدل المتوسط C_{vm}، ويعبر عنها كما يلي:

$$C_{ud} = \left[1 - \frac{0.798(C_{vm})}{\sqrt{n_p}}\right] 100 \qquad (٩,١٧)$$

والثابت ٠,٧٩٨ ينتج من افتراض توزيعاً طبيعياً لمعدلات التصرف واستخدام تعريف انتظامية كريستيانسن. وقد طور هارت (١٩٦١م) علاقة مثيلة لانتظامية توزيع كريستيانسن حيث إن معامل اختلاف إضافة الرشاش يوصف عن طريق نسبة الانحراف القياسي مقسوماً على المتوسط.

بالنسبة لنظم الري بالتنقيط، فإن معدلات تصرف المنقط تستخدم في موضع أعماق الإضافة المقاسة. وبالتالي، فإن انتظامية الري الدقيق تتأثر بمعدلات تصرف المنقط، والتي بدورها تتأثر بخصائص تصنيع المنقطات والخصائص الهيدروليكية لنظام الري. فاختلاف تصرف المنقط المتأثر باختلافات حجم أو شكل الفوهة والخصائص الهيدروليكية يمكن أن تنتج من مراقبة جودة التصنيع غير الكافية. وقام كارميلي وكيللر (١٩٧٥م) بتعريف علاقة لانتظامية عملية التصميم للمنقطات لنظم الري الدقيق كما يلي:

$$Eu = 100\left(1.0 - 1.27\frac{C_v}{\sqrt{n_p}}\right)\frac{q_{min}}{q_a} \qquad (٩,١٨)$$

حيث إن:

Eu = انتظامية التنقيط، ٪.

C_v = معامل الاختلاف المصنعي.

n_p = عدد المنقطات لكل نبات.

q_{min} = متوسط أدنى معدل تصرف لربع المنقطات وهو يكون عند أدنى ضغط.

q_a = متوسط معدل تصرف المنقطات.

٢- انتظامية التوزيع في الربع الأقل (D_u) Distribution of Uniformity

وهذا المعامل D_u أقل دقة من C_u حيث يركز على الربع المنخفض ولا يهتم بالقيم الأعلى أو الفروق الإحصائية، ولكنه يتميز بسهولة حسابه لدرجة إمكانية حسابه في الحقل ومن ثم إجراء بعد التعديلات في النظام إذا كانت قيمته أقل من المفروض. وقيمة D_u تعطي مدلول على مقدار التسرب العميق تحت منطقة الجذور. وعموما إذا كانت قيمة D_u أقل من ٦٧٪ فتعتبر غير مقبولة، أما إذا ساوت أو زادت عن ٦٧٪ تعتبر مقبولة. ويمكن حسابه من المعادلة التالية:

$$D_u = \frac{d}{\overline{X}} \times 100 \qquad (٩,١٩)$$

حيث إن :

d = متوسط أعماق المياه المتجمعة في الربع الأقل.

$\overline{X}$ = العمق المتوسط للمياه المحتجزة في كل الأوعية.

ويمكن تطبيق انتظامية التوزيع للربع المنخفض D_u على نظم الري الدقيق ونظم الري بالرش بما فيها نظم الري المحوري مع الأخذ في الاعتبار الأعماق الموزونة في حالة الري المحوري.

ويوضح الجدول رقم (٢, ٩) نسب التسرب العميق (DP_r) إلى المياه المضافة (Dg) لمجموعة من قيم انتظامية التوزيع في الربع الأقل (Du)، هذه البيانات لحقل يروى بنظام رش تقليدي تم تقييمه. فمثلاً تكون Du تساوي ٩٣٪ فإن نسبة التسرب العميق للمياه أسفل منطقة الجذور حوالي ١٠٪، وكذلك عندما تكون Du ٧٤٪ فإن التسرب العميق حوالي ٣٤٪.

إن انتظامية نظم الري السطحية تتصف بشكل أكثر شيوعاً بانتظامية التوزيع للربع المنخفض، معرفة على أنها متوسط عمق التسرب في الربع المنخفض من الحقل مقسوماً على متوسط عمق التسرب عبر الحقل بأكمله، معبراً عنها كما يلي:

$$D_u = \frac{D_{lq}}{D_{av}} \qquad (٩,٢٠)$$

حيث إن:

D_u = انتظامية التوزيع في الربع الأقل.

D_{lq} = متوسط العمق المتسرب في ربع الحقل الذي له أدنى تسرب.

D_{av} = متوسط العمق المتسرب عبر الحقل بأكمله.

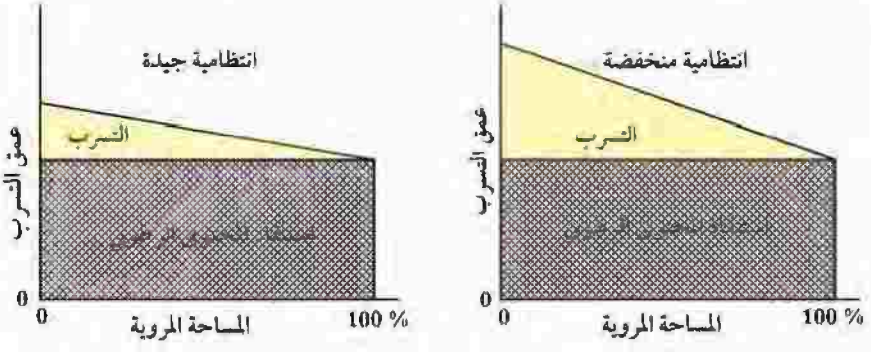
الجدول رقم (٢, ٩). مقدار التسرب العميق DP_r ($DP_r = Dp/Dg$) المقابل لقيم Du.

انتظامية التوزيع في الربع الأقل Du (٪)	التسرب العميق DP_r
٩٣	٠,١٠
٨٣	٠,٢٣
٧٤	٠,٣٤
٦٣	٠,٥٠
٤٨	٠,٦٨

ويبين الشكل رقم (٣, ٩) نظرياً توزيع المياه المتسربة لانتظامية جيدة وانتظامية منخفضة لنظام ري سطحي. المساحة المظللة تمثل المحتوى الرطوبي الذي تم استنفاذه بواسطة المحصول من منطقة الجذور أو الكمية التي تم

تخزينها في منطقة الجذور. بينما المثلث الذي يعلو المساحة المظللة يمثل كمية المياه المتسربة أسفل منطقة الجذور. والشكل يوضح أن زيادة الانتظامية تقلل كمية التسرب العميق أسفل منطقة الجذور.

يمكن أن تتأثر انتظامية التوزيع للمياه في منطقة جذور التربة بعوامل عديدة منها المحتوى المائي الأولي للتربة، ومعدلات الإضافة، والتوزيع السطحي للمياه المضافة، ومدى طول فترة التوزيع على سطح التربة، ومعدل التسرب، ومعامل التوصيل الهيدروليكي للتربة، وعمق التربة، والمياه الكلية المضافة، وتوزيع الجذور.



الشكل رقم (٣, ٩). توزيع نظري لمياه الري تحت سطح التربة أثناء عملية الري لنظام ري سطحي.

ويمكن حساب معامل الانتظامية بقياس الأعماق المضافة من نظام الرش من خلال أوعية التجميع الموضوعة فوق سطح التربة، ويوجد عدد من مصادر الخطأ التي تعمل على تقليل معامل الانتظامية المحسوب. فاختيار وعاء التجميع يعد اعتباراً رئيساً. فيجب أن يكون للوعاء طرف حاد وبهذا تتحدد مساحة التجميع بالأبعاد السطحية للوعاء حتى نتجنب جريان المياه داخل أو خارج الطرف العريض المسطح. ويجب أن يكون عمق الوعاء كافياً لمنع المياه من الانسكاب خارج الوعاء. ويجب أن يكون مسقط فتحة الوعاء أفقياً وبهذا تكون المياه المحتجزة هي العمق المضاف إلى مساحة السطح وليس أكبر أو أصغر من هذا. ويجب أيضاً أخذ تأثير البخر في الاعتبار لمنع الفواقد من الوعاء قبل أن يتم قياس الكميات المتجمعة. وهناك بديل أخر وهو القيام بقياس البخر من خارج العبوة. واستخدام أوعية غير مبخرة يمكن أن يحد من أثر البخر. ويمكن للرياح تحويل المياه عن أوعية التجميع مؤديةً إلى أن يكون العمق المقاس أقل من العمق الفعلي الذي يصل سطح التربة للتسرب. كما أن الرياح يمكنها تحريك الأوعية أو إمالتها أو حتى قلبها ما لم تكون الأوعية مثبتة جيداً فوق سطح التربة.

ومصدر أخر للخطأ في نظم الري المتحركة هو التسريبات في خطوط الأنابيب أو التسريب من أطواق النظام الحديدية، أو الهياكل الداعمة، أو قطرات الرشاش التي يمكن أن تجري مباشرة إلى داخل وعاء التجميع متسببةً في أعماق كبيرة للغاية. وكذلك، يمكن أن تميل عبوات الأوعية وتسبب فقداً أو قراءة أصغر. فيجب اتخاذ الحذر عند حساب الانتظامية Cu مع البيانات التي يمكن أن يكون لها أخطاء قياسية. ومن المستحسن تصحيح البيانات التي يكون الخطأ فيها واضحاً قبل الاستخدام في الحساب. وسوف يساهم الخطأ بشكل عام في تقليل معامل الانتظامية.

٣- انتظامية النظام الكلية Total System Uniformity

بعد الحصول على معامل الانتظامية أو معامل التجانس Cu لمساحة معينة محودة من الحقل في نظام الري يتطلب بعد ذلك إيجاد معامل انتظامية التوزيع الكلية لنظام الري للمساحة الكلية المروية. فمن المعلوم أن تصرف الرشاش أو المنقط يتغير مع تغير ضغط التشغيل ومن المعلوم ايضاً أن الضغط يقل نتيجة الاحتكاك في الخطوط الفرعية ونتيجة تغيرات ميول الخط ما لم تستخدم أجهزة خاصة للتحكم في التصرف مثل منظمات الضغط التي في الخط. ويمكن إيجاد هذه المعاملات لنظام الري كالآتي:

$$C_{us} = C_u \times \frac{1+(P_{min}/P_{av})^{0.5}}{2} \qquad (٩,٢١)$$

$$D_{us} = D_u \times \frac{1+3(P_{min}/P_{av})^{0.5}}{4} \qquad (٩,٢٢)$$

حيث إن:

C_{us} , D_{us} = معاملي التجانس والتوزيع الكلية لنظام الري.

C_u , D_u = معاملي التجانس والتوزيع لمساحة محددة ومجموعة من الرشاشات تم إجراء التقييم الحقلي لها.

P_{min} = أدنى ضغط تشغيل لرشاش أو منقط في النظام.

P_{av} = متوسط ضغط التشغيل للرشاشات أو المنقطات.

ويمكن إيجاد P_{av} بأخذ متوسط ضغط التشغيل لمجموعة كبيرة من الرشاشات أو المنقطات العاملة أثناء الري. أما عند قياس ضغط التشغيل لعدد محدد من هذه الرشاشات أو المنقطات فيكون:

$$P_{av} = \frac{2P_{min} + P_{max}}{3} \qquad (٩,٢٣)$$

حيث إن P_{max} أقصى ضغط تشغيل للرشاشات أو المنقطات المقاسة.

ويجب ملاحظة أنه عند التصميم فتكون P_{av} معلومة بينما يمكن إيجاد P_{min} عند حساب فواقد الاحتكاك والمناسيب. وإذا تم الالتزام أثناء التصميم بعدم تجاوز نسبة الفاقد المسموح به وهي ٢٠٪ من ضغط الرشاش P_{sp} وتم وضع منظمات ضغط في بداية الخطوط الفرعية، فيمكن حساب D_{us} , C_{us} بعد التقييم الحقلي لمجموعة من الرشاشات أو المنقطات كالتالي:

$$C_{us} = 0.97 \times C_u \qquad (٩,٢٤)$$

$$D_{us} = 0.96 \times D_u \qquad (٩,٢٥)$$

ومن هذين المعاملين يكون الحكم أكثر دقة على انتظامية توزيع مياه الري من جميع الرشاشات أو المنقطات على المساحة المروية. عموماً ينصح بأن تكون قيمة C_{us} على الأقل ٨٥٪ للمحاصيل الحساسة وذات الجذور السطحية مثل البطاطس ومعظم الخضروات، وتكون C_{us} مقبولة عموماً بين ٧٥٪ إلى ٨٣٪ للمحاصيل ذات الجذور العميقة مثل البرسيم والذرة. أما بالنسبة للأشجار أو المحاصيل ذات الجذور المنتشرة والعميقة فتكون C_{us} مقبولة إلى ٧٠٪. وعند استخدام المبيدات الكيميائية مع الري فلابد أن تكون قيمة C_{us} أكبر من ٨٠٪، وعند وجود انتظامية توزيع منخفضة بسبب الرياح في حالة الري بالرش ينصح بإضافة المبيدات في حالة الرياح الهادئة.

(٩,٨) الإرشادات العامة للتقييم

١- إجراء مقابلة مع من يقوم بالزراعة قبل القيام بالتقييم الحقلي

لابد من جمع البيانات التالية أثناء مقابلة القائم بتشغيل نظام الري قبل عملية التقييم للحقل:

- البيانات التشغيلية: كيف تتم جدولة للري؟ ما هو الهدف من عملية الري؟ ما هو برنامج التسميد؟ ما هو نمط زراعة المحاصيل المستخدم، تاريخه والخطط المستقبلية له؟ ما هو وضع العاملة من حيث توفرها وخبراتها؟ هل هناك أي معلومات حديثة عن ملوحة التربة أو جودة مياه الري؟.

• البيانات الطبيعية للحقل: ومنها الخريطة التي توضح مصدر المياه وأبعاد الحقل، وميل الحقل، والبيانات التي تدور حول خصائص النظام (المضخات، المرشحات... إلخ).

• بيانات المحاصيل: ومن بينها موعد الزراعة وموعد ظهور النباتات المزروعة، وموعد الحصاد أو الانتهاء من العمل، وعمق منطقة الجذور، وأقصى بخر-نتح يومي للمحصول.

• بيانات النظام: تصرف المضخة وقدرتها، والضاغط الديناميكي الكلي عند المضخة، وضاغط بداية ونهاية الخطوط الفرعي، وتخطيط النظام، تصرف أدوات الري سواء كانت رشاشات أو منقطات، أقطار الخطوط ونوعها.

• المعلومات الاقتصادية: ومن بينها تكلفة المياه، والطاقة، والعمالة (ومن بينها الإدارة).

٢- جمع بيانات الحقل

كل نوع من أنواع النظم لابد أن يكون له سجل البيانات الخاص به. وتلك تعد متاحة من كتيبات أو إرشادات الاستخدام. وهذه السجلات لابد أن تحتوي على التاريخ، وأوقات الابتداء والانتهاء، واسم من يقوم بالتقييم، والأحوال الجوية. ولابد أن تُلحق خريطة الحقل بسجل البيانات ومن الملاحظ أنها تعكس أين يتم أخذ القراءات والتقييمات في الحقل.

٣- إجراء التقييم الحقلي

يجب اختيار منطقة التقييم بعناية شديدة، فمن الصعب عمل تقييم شامل للحقل الذي تبلغ مساحته عدة هكتارات، وبالتالي يتم اختيار مساحة من الحقل أو عدة مساحات يتم عليها التقييم. ويفضل أن تكون تلك المساحة في وسط الحقل، وإذا كان سيتم التقييم لعدة مساحات يمكن أيضا تقييم مساحة في أحد أطراف الحقل. وبصفة عامة يجب التأكد من عدم وجود أي خلل طارئ في الري في تلك المنطقة قبل البدء في التقييم مثل توقف الرشاشات عن الدوران أو وجود سدد ملحوظ في تصرف المنقطات، ويجب عمل خريطة لموضع أوعية التجميع وتسميتها على الخريطة، ويجب اتباع الشروط السابق التنويه إليها عند وضع الأوعية. كما يجب أن لا يتم التقييم إلا في نفس الظروف المناخية المعتادة في المنطقة، وتسجيل تلك العوامل المناخية مثل درجة الحرارة والرطوبة النسبية واتجاه وسرعة الرياح، والبخر. ويجب مراعاة الدقة في تسجيل قراءات الأعماق المتجمعة في أوعية التجميع وتسجيلها في الجداول المعدة لذلك كلاً في موضعه، ثم القيام بحسابات معايير الأداء المختلفة.

٤- النتائج والاستنتاجات

بنفس القدر من الأهمية لجمع البيانات المهمة هو القيام بتحليلها وتفسيرها. وبنفس القدر من دقة القراءات الحقلية ودقة حسابات معايير الأداء يجب الاهتمام بتفسير النتائج ووضع مقترحات تحسين الأداء. ويتطلب التقييم لأداء نظام الري في المزرعة مهارة وليس مجرد قياس بسيط للأداء الهيدروليكي للنظام. ولابد من القيام بالتقييم من قبل متخصص محترف كفء وذو خبرة. وليس هناك نظام للري لن يقوم التقييم بتقديم تقييم شامل وتام له أو تحديد واحد أو أكثر من البدائل لتحسين النظام أو أداءه. ولكن هذه التحسينات تكون نتائجها قليلة أو غير ملموسة إذا كانت تهتم فقط بالهيدروليكا وأداء النظام ولا تشمل تأثير التحسينات الرئيسة لأداء الري والتي يكون لها عائدات على أداء المحصول وعائدات اقتصادية حقيقية. إن الفاعلية التي يتم بها عرض هذه الفرص على مسؤول الري سوف تقوم بتحديد مقدار قيمة التقييم له.

٥- التقرير

يجب عمل تقرير شامل لنتائج التقييم، ولابد أن يشتمل التقرير على عدة أجزاء، جزء يتعلق بالملاحظات على البيانات العامة على النظام، وجزء يتعلق بخطوات العمل، وجزء للنتائج، وجزء للتوصيات. ولابد أن يشتمل جزء النتائج على تقرير موجز إلى جانب نسخة من بيانات الحقل الواقعية. وعلى أقل الأحوال لابد أن يقوم التقرير بتسجيل خصائص الحقل التالية وكيف يتم تحديدها: أبعاد الحقل، المحصول، ومرحلة النمو، وعمق منطقة الجذور، وسعة احتفاظ التربة بالمياه، والمحتوى المائي في التربة قبل وبعد الري، والبخر-نتح للمحصول حتى تاريخ وضع التقرير. وهو يشمل كذلك مقاييس الأداء التي تم أعتبارها في التقييم مثل معدل الإضافة، ومعامل الانتظامية، وكفاءة الإضافة، وكفاءة الري.

(٩,٩) خطوات تقييم نظم الري

تختلف خطوات التقييم التفصيلية التي تتطلبها كل طريقة ري. لإختلاف مفاهيم التصميم والتشغيل للأنواع العامة لطرق الري. وحيث يتم تصنيف نظم الري الكثيرة التي يتم استخدامها اليوم إلى ثلاث أنواع رئيسة هي الري السطحي، والري بالرش، والري بالتنقيط، فسينحصر اهتمامنا على طرق تقييم الري بالرش والري بالتنقيط.

(١ , ٩ , ٩) تقييم نظام الري بالرش التقليدي

تعتبر انتظامية توزيع مياه الري وكفاءة الإضافة والفواقد المائية الناتجة من التبخر وبعثرة المياه من أهم عناصر التقييم لنظم الرش التقليدية (الرشاشات كبيرة الحجم ذات صرف يساوي أو أكبر من ٤ لتر/ الدقيقة) حيث إن الرياح من الممكن أن تؤثر في أنماط الرش. ولكن هذه المشكلة بشكل عام غير ثابتة ويكون من المستحيل تقريباً القيام بالتصميم أو التشغيل بدون عدم تشغيل النظام تحت ظروف الرياح الشديدة، فجدولة الري المتبعة قد تمنع هذا. وحيث يوجد عدة نظم للري بالرش كالري التقليدي الثابت أو المتنقل أو الري المحوري أو ذو الحركة المستقيمة فتختلف خطوات التقييم وحسابات مقاييس الأداء من نوع لأخر. ويعد الضغط، والتصرف هي خصائص النظام التي يتم قياسها بسهولة وتسجيل نتائجها بسرعة، ومقارنة تلك القياسات مع بيانات الاختبار على الخصائص التشغيلية للرشاش، والتي تعد متاحة من المصنعين. وتلك المقارنة بين بيانات الأداء المنشورة والمقاسة للرشاش سوف تعمل على تفسير نتائج التقييم. ويجب مقارنة كفاءة الإضافة الفعلية (Actual Efficiency) الناتجة من التقييم بالكفاءة التصميمية (Potential Efficiency). كذلك يشمل التقييم الدراسات الميدانية التي تؤدي إلى تعديلات في النظام المستخدم مثل تغير ضغط الرشاشات، أو تغيير بعض الرشاشات التي تخل بانتظامية الرش أو تغيير المسافة بين الخطوط أو بين الرشاشات. وهذا سوف يساعد في إدارة النظام وزيادة الكفاءة وبالتالي تقليل التكاليف وزيادة إنتاج المحصول.

خطوات تقييم نظم الرش التقليدية

يمكن القيام بعملية التقييم لأي نوع من نظم الري بالرش التقليدية حسب الخطوات الحقلية التالية:

١- اختيار أربعة رشاشات وسطية مكونة أركان مستطيل أبعاده S_L ، S_S أي المسافة بين الخطوط الفرعية والمسافة بين الرشاشات على الخط الفرعي على التوالي. ويجب التأكد قبل بدء التجربة من أن جميع الرشاشات تعمل بصورة جيدة مثل التأكد من دورانها أثناء الري والتأكد من قطر البلل.

٢- تسجيل نوع الرشاش وقطر الفوهة. وعمل رسم تخطيطي يوضح موضع الرشاشات المختارة من الأرض والخطوط الفرعية والخط الرئيس والمضخة ومصدر الماء، وتحديد اتجاه الشمال واتجاه سرعة الرياح.

٣- قياس وتسجيل المسافة الفعلية بين الرشاشات على الخط الفرعي S_S والمسافة بين الخطوط الفرعية S_L والتأكد أن كل منها متماثل، وقياس ارتفاع حامل الرشاشات H_r.

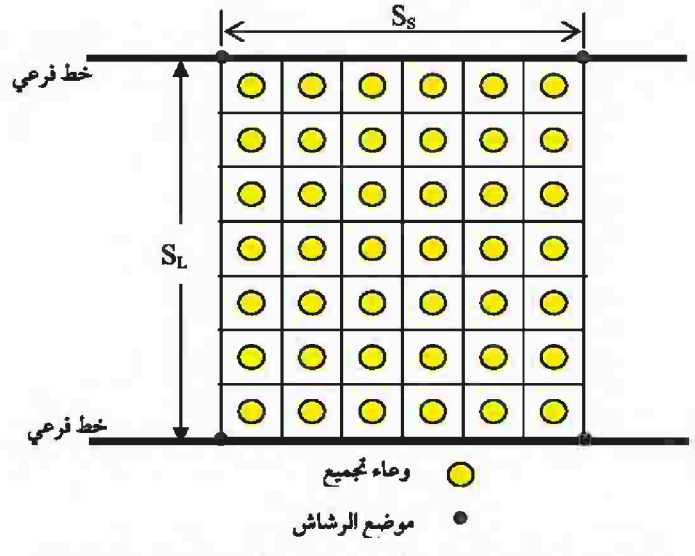
٤- يمكن قياس تصرف الرشاش عن طريق استخدام عداد المياه (Flow meter) أو عن طريق تجميع حجم معين من المياه الخارجة من الرشاش في وعاء تجميع خلال زمن معين باستخدام ساعة إيقاف، وخرطوم مرن مناسب لفتحة فوهة الرشاش، ويتم توصيل الخرطوم المرن إلى فوهة الرشاش وتجميع حجم معين من المياه في وعاء خلال زمن ما، وفي حالة وجود فوهتين للرشاش نستخدم في آن واحد أنبوبان مرنان حسب قطر الفوهتين. ويتم قياس التصرف لكل رشاش من الرشاشات الأربعة المختارة (Q_{sp})، ثم إيجاد متوسط التصرف.

٥- إيجاد ضغط التشغيل للرشاشات المقاسة باستخدام مقياس الضغط. وذلك إما عن طريق فك الرشاش من الحامل وتركيب مقياس ضغط مكان كل رشاش، أو وضع مقياس ضغط ذو إبرة (أنبوب بيتوت) توضع في مواجهة فوهة الرشاش، كما في الشكل رقم (٤, ٩)، فعند دفع هذا الأنبوب داخل فوهة الرشاش فإن مقياس الضغط يعطي قراءة لحظية لضغط تشغيل الرشاش. ثم إيجاد متوسط ضغط التشغيل عند الرشاشات الأربعة المختارة (H_{sp}).

الشكل رقم (٤, ٩). قياس ضغط تشغيل الرشاش بواسطة مقياس ضغط موصل بأنبوب بيتوت.

٦- يتم وضع أوعية التجميع المتماثلة في الشكل والحجم بحيث تُكون شبكة من المربعات أو المستطيلات داخل المساحة بين الرشاشات الأربعة المختارة، كما في الشكلين رقمي (٥, ٩) و (٦, ٩). مع ملاحظة أن زيادة مساحة التجميع بأخذ التقييم بين ٦ أو ٨ رشاشات سيؤدي بالطبع إلى زيادة عدد الأوعية تعطي تقييم أكثر دقة من المساحات الصغيرة (بين ٤ رشاشات فقط)، ولكن التقييم الأكثر شيوعاً هو بين ٤ رشاشات. وتتوقف المسافة بين أوعية التجميع وكونها على شكل مربعات أو مستطيلات على الأبعاد S_L ، S_S وعلى أهمية التقييم فكلما كان المطلوب تقييم عالي الدقة كلما كانت المسافة بين أوعية التجميع صغيرة وبالتالي عدد أوعية التجميع كبيرة، وعلى أي حال

تتراوح المسافة بين أوعية التجميع بين ١-٣ م. ويجب أن لا تكون الأوعية ذات ارتفاع كبير (١٥ سم على الأكثر) حتى لا نغفل تأثير بخر القطرات أثناء التشغيل الفعلي لتلك المسافة، ومن جهة أخرى يجب أن لا يقل ارتفاع الأوعية وقطرها بحيث لا تستوعب الحجوم المتوقع تجميعها أثناء التجربة. ويجب وضع الأوعية بحيث تكون قاعدتها التي تستقبل الماء أفقية تماماً. ويجب التأكد من تثبيت الأوعية في مواضعه جيداً حتى لا تتأثر وتتحرك أو تميل بفعل الرياح. يمكن وضع ثلاثة أوعية أخرى خارج حدود الرش بكل منها حجم مقاس من الماء وليكن ١٠٠ سم^3 ويغطى سطحها بغطاء يمنع التبخر ويزاح الغطاء مع بدء التشغيل وذلك لقياس مقدار البخر من السطح الحر أثناء زمن التشغيل حيث يقاس الحجم بكل منها بعد انتهاء زمن التشغيل لمعرفة البخر أثناء هذا الزمن.



الشكل رقم (٥ ,٩). ترتيب أوعية التجميع أثناء تقييم النظام التقليدي.

الشكل رقم (٦ ,٩). صورة حقلية لوضع العلب أثناء التقييم.

٧- تشغيل النظام على ضغط التشغيل المعتاد للنظام لفترة من الزمن كافية للحصول على عمق ماء يمكن قياسه ويفضل أن يكون زمن التشغيل يساوي على الأقل نصف متوسط زمن الري المتبع لري الحقل. ويتم تسجيل وقت بداية ونهاية التشغيل وزمن التشغيل T_i.

٨- يتم إيقاف التشغيل ثم يتم مباشرة قياس وتسجيل حجم الماء المتجمع في كل وعاء بواسطة المخبار المعياري. مع مراعاة الدقة في القياس والسرعة أثناء القياس حتى لا يكون هناك فروقات في القياسات نتيجة البخر.

٩- يتم قياس وتسجيل الحجوم المتبقية في الأوعية الثلاثة الخارجية لمعرفة حجم التبخر من كل وعاء. كما يجب تسجيل البيانات المناخية وقت تقييم النظام خاصة سرعة الرياح واتجاهها والرطوبة النسبية ومتوسط درجة الحرارة الجوية سواء بقياسها مباشرة بأجهزة تكون متاحة للقائم على التقييم أو بالحصول عليها من محطة أرصاد قريبة. وعلى كل حال يجب القيام بعملية التقييم في ظروف مواتية ومناسبة لظروف الري الفعلية.

خطوات التقييم الحسابية

١- حساب عمق الماء المتجمع في كل وعاء d_i بقسمة حجم الماء المتجمع في كل وعاء V_i على مساحة مقطع الوعاء A_{can}.

$$d_i = \frac{V_i}{A_{can}} \qquad (٩,٢٦)$$

٢- حساب متوسط الحجوم المتجمعة في الأوعية $\overline{V}$ بقسمة مجموع الحجوم في تلك الأوعية $\sum V_i$ على عدد الأوعية n، وحساب متوسط الأعماق المتجمعة بنفس الطريقة أو بقسمة متوسط الحجم المتجمع على مساحة مقطع الوعاء.

$$\overline{V} = \frac{\sum V_i}{n} \qquad (٩,٢٧)$$

$$\overline{d} = \frac{\sum d_i}{n} \qquad (٩,٢٨)$$

$$\overline{d} = \frac{\overline{V}}{A_{can}} \qquad (٩,٢٩)$$

٣- حساب معدل الإضافة R_a من المعادلة التالية:

$$R_a = \frac{Q_{sp}}{S_S \times S_L} \qquad (٩,٣٠)$$

ويجب التأكيد أن من أساسيات إدارة مياه الري أنه يجب أن يكون معدل الإضافة (Ra) يساوي أو أقل من معدل التسرب المائي النهائي للتربة (Ip) وذلك لمنع فاقد المياه نتيجة الجريان السطحي وكذلك من أجل تقليل فقدها بالبخر. أي أن $R_a \leq I_p$.

٤- حساب عمق الماء المضاف Dg من المعادلة التالية:

$$D_g = R_a \times T_i \qquad (٩,٣١)$$

٥- حساب معامل الانتظامية C_u المعبر عن مدى تجانس توزيع المياه من نظام الري بالرش على المساحة المروية ويسمى في بعض المراجع معامل التجانس، ويحسب معامل الانتظامية من المعادلة رقم (١٦ , ٩).

٦- حساب معامل انتظامية التوزيع في الربع الأقل D_u الذي يعبر عن مدى انتظامية توزيع المياه على ربع المساحة المروية التي حصلت على أقل كمية من مياه الري وكذلك يبين مقدار مشاكل التوزيع في نظام الري، ويمكن إيجاد D_u من المعادلة رقم (١٩ , ٩). ويبدأ الحساب بتحديد الربع الأقل، والمقصود بالربع ربع عدد الأوعية الكلية المستخدمة في التقييم فعلى فرض استخدام ٤٢ وعاء تجميع في التقييم كما في الشكل رقم (٥ , ٩)، فيكون ربع هذا العدد هو ١٠ تقريباً. والربع الأقل يعني البحث عن أقل ١٠ قراءات بين الـ ٤٢ قراءة ونحسب متوسطها أي مجموع تلك العشر قيم ونقسم على عددها أي ١٠. وهذا المتوسط يعبر عن متوسط حجوم المياه المتجمعة في الربع الأقل، ومن ثم يمكن حساب متوسط أعماق المياه المتجمعة في الربع الأقل بالقسمة على مساحة علبة التجميع.

أثناء حساب قيمة Cu و Du يكون من الأسهل التعامل مع قيم الحجوم التي تم قياسها مباشرة من الحقل وليس الأعماق لتلافي أي أخطاء حسابية وأيضاً لأننا سنتعامل مع أرقام بلا كسور عشرية كما في الأعماق. وهذا لا يعني أن التعامل مع الأعماق خطأ ولكنه أكثر صعوبة في الحساب.

ويمكن عموماً الحكم على انتظامية توزيع المياه من الرشاشات من قيم C_u , D_u. فإذا كانت قيمة C_u أقل من ٨٠٪ وقيمة D_u أقل من ٦٧٪ فيعتبر توزيع المياه من النظام غير مقبول وهذا يدل على وجود مشاكل في النظام. أما إذا كانت قيمة C_u أكبر من ٨٠٪ وقيمة D_u أكبر من ٦٧٪ فيكون توزيع المياه مقبولاً.

وهناك علاقة بين C_u و D_u يمكن صياغتها كالتالي:

$$C_u = 100 - 0.63(100 - D_u) \qquad (٩,٣٢)$$

أو يمكن صياغتها كالتالي:

$$D_u = 100 - 1.59(100 - C_u) \qquad (٩,٣٣)$$

أما العلاقة بين معامل التجانس C_u والانحراف المعياري S_d لكل عمق من المياه المتجمعة في أوعية القياس فتكون كالتالي:

$$C_u = \left[1 - \frac{S_d}{\overline{X}}\left(\frac{2}{\pi}\right)^{0.5}\right] \times 100 \qquad (٩,٣٤)$$

ويمكن ترتيب المعادلة لحساب الانحراف المعياري كالتالي:

$$S_d = \frac{\overline{X}}{(2/\pi)^{0.5}} \times \left(1 - \frac{C_u}{100}\right) \qquad (٩,٣٥)$$

ويمكن حساب الانحراف المعياري من الأعماق المتجمعة في أوعية التجميع مباشرة باستخدام العلاقة التالية:

$$S_d = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \left|X_i - \overline{X}\right|^2}{n-1} \qquad (٩,٣٦)$$

٧- حساب كفاءة الإضافة E_a وهي تعطي مدلول على مدى الاستفادة من المياه وعلى مدى انتظام توزيع المياه في الحقل ولكن لا تعطي مدلول على مدى كفاية الري. ويمكن حسابها من المعادلة:

$$E_a = \frac{\overline{X}}{D_g} \times 100 \qquad (٩,٣٧)$$

إن انخفاض قيمة كفاءة الإضافة E_a تدل على وجود مشاكل في إدارة وتشغيل نظام الري، وتدل أيضاً على التصميم غير الجيد لنظام الري. ويجب التنويه على أن $\overline{X}$ وهي متوسط الأعماق المتجمعة في أوعية التجميع أثناء التقييم تعبر عن وتمثل D_n متوسط عمق الماء الصافي الذي يتسرب من سطح التربة ويخزن في منطقة الجذور، حيث يصعب قياس D_n داخل التربة.

٨- حساب كفاءة إضافة المياه الممكنة في الربع الأقل PELQ: وهي تعطي مدلول على كيفية إضافة المياه بواسطة نظام الري وتوضح ما إذا كانت الإدارة لنظام الري مثالية. وهي مقياس على كيفية توزيع المياه في الربع الأقل وبالتالي على كفاءة التصميم لنظام الري. ويمكن حسابها من المعادلة:

$$PELQ = \frac{d}{D_g} \times 100 \qquad (٩,٣٨)$$

وعند الحصول على قيمة منخفضة لهذه الكفاءة فإن ذلك يعني أن هناك مشاكل في تصميم نظام الري، وهي الكفاءة الوحيدة التي يمكن استخدامها عند المقارنة بين نظم أو طرق الري المختلفة. الفرق بين قيمة كل من (Ea) , (PELQ) تعطي دلالة على مقدار المشاكل الإدارية في عملية الري، وكلما ازداد الفرق كلما زادت المشاكل مثل زيادة زمن الري وزيادة العمق المضاف عن المطلوب وبذلك تكون جدولة الري غير جيدة. وهي أيضا تسمى بكفاءة النظام System efficiency؛ لأنها تدمج في حسابها كفاءة الإضافة ومعامل الانتظامية في الربع الأقل ويمكن توضيح ذلك من خلال العلاقة التالية:

$$PELQ = D_u \times E_a = \frac{d}{\overline{X}} \times \frac{\overline{X}}{D_g} \times 100 = \frac{d}{D_g} \times 100 \qquad (٩,٣٩)$$

ومقدار الفرق بين (D_u , PELQ) يعطى دلالة على مقدار المياه المفقودة عن طريق التبخر. حيث كلما كان هذا الفرق صغير كانت قيمة التبخر منخفضة.

أثناء حساب الكفاءات سواء E_a أو PELQ فإننا نتعامل مع الأعماق فقط ولا نستطيع التعامل مع الحجوم كما في حساب الانتظامية لأن مقام معادلتي الكفاءة هو العمق المضاف. وملاحظة أخرى يجب التنويه إليها وهي لزيادة الدقة الناتجة، يجب الأخذ في الاعتبار في الأعماق المتجمعة مقدار البخر الذي تبخر من أوعية القياس أثناء زمن التشغيل والذي تم قياسه بواسطة الأوعية الثلاثة الخارجية وتصحيح القيم المقاسة بزيادة هذا المقدار من البخر حيث إنه المفروض أثناء التشغيل الفعلي عدم تجميع الماء فوق سطح التربة ونزوله إلى منطقة الجذور بمجرد وصوله لسطح التربة مما لا يعطي فرصة للبخر من السطح الحر للماء كما يحدث أثناء تجربة التقييم، ومع هذا لسهولة التقييم يمكن إغفال هذا التصحيح لو قل البخر عن ٥٪ أي عندما يكون متوسط حجوم المياه في الأوعية الثلاثة في نهاية التقييم ٩٥ سم^٣ أو أكثر وهو كان في بداية التقييم ١٠٠ سم^٣. وعموماً فإن دقة نتائج القياسات لأوعية التجميع التي تعتبر مقبولة تتراوح من انحراف ± ١٪ إلى ± ٢٪.

٩- حساب فاقد التبخر وبعثرة الرياح E: وهي كمية المياه المفقودة عن طريق بعثرة الرياح ودرجة الحرارة الجوية من نظام الري أثناء عملية الري وتتأثر أيضاً بانخفاض الرطوبة النسبية، وهي عبارة عن الفرق بين كمية

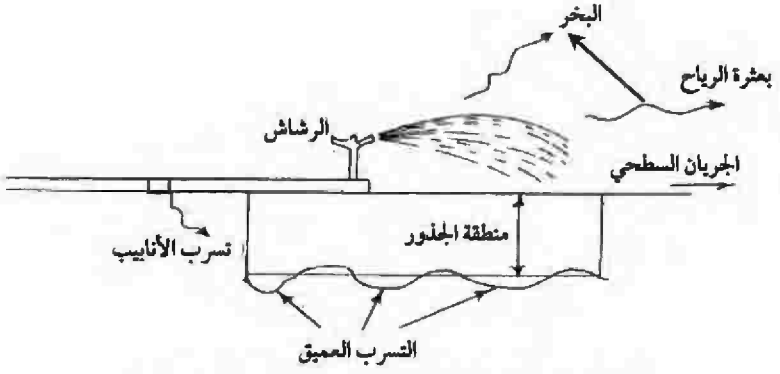
المياه الخارجة من الرشاشات إلى كمية المياه الواصلة إلى سطح التربة أثناء الري. وفواقد التبخر وبعثرة الرياح هي فاقد المياه خلال المسافة بين فوهة الرشاشات إلى سطح الأرض. وهذه الفواقد قد تصل أحياناً إلى نسبة كبيرة تفوق ٣٥٪ خاصة في المناطق الصحراوية. ويمكن إيجادها من المعادلة التالية:

$$E = \frac{D_g - \overline{X}}{D_g} \times 100 \qquad (٩,٤٠)$$

وارتفاع فاقد التبخر وبعثرة الرياح يقلل كفاءة الإضافة والعكس صحيح لأن:

$$E_a + E = 100\% \qquad (٩,٤١)$$

يعتبر فاقد التبخر وبعثرة الرياح أحد فواقد الري بالإضافة إلى فاقد الجريان السطحي وفاقد التسرب العميق وفاقد التسريب من الأنابيب (الشكل رقم ٩,٧).



الشكل رقم (٩,٧) الفواقد في نظم الري بالرش التقليدية.

كفاية الري Adequacy of Irrigation

إن استخدام مياه الري بكفاءة عالية هو التزام مطلوب من كل مزارع عند ري المحصول خاصة في المناطق التي تكون مصادر مياه الري فيها محدودة. وتستخدم كفاءة الري كمفهوم عام عند تصميم وإدارة نظم الري، ويمكن تقسيم ذلك المفهوم إلى جزئين هما انتظامية الماء المضاف على المساحة المروية وكذلك الفواقد المائية أثناء عملية الري من الماء المضاف. فإذا كانت الانتظامية منخفضة أو الفواقد كبيرة فإن كفاءة الري تكون منخفضة مما يؤثر على إنتاجية المحصول وزيادة التكاليف. لذلك نجد أن مفهوم دراسة الكفاءة مع الأخذ في الاعتبار كفاية

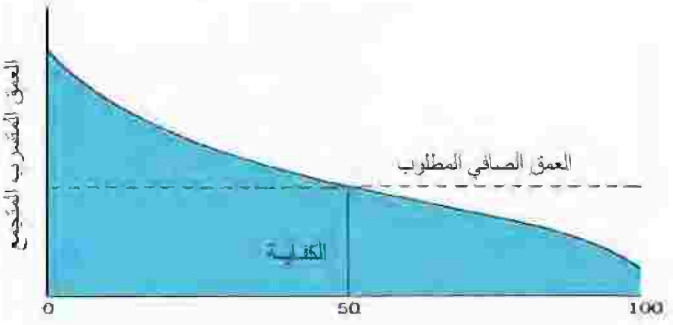
الري (Irrigation adequacy) التي تعطي أفضل رطوبة للتربة بالنسبة للنبات مع انتظامية توزيع تلك الرطوبة على المساحة المروية هو مطلوب حتى يمكن عمل التحسينات التي تؤدي إلى زيادة كفاءة استخدام مياه الري. ولكي يكون لكفاءة الري أهمية عملية يجب أن تقرن بكفاية الري، ونجد أن العامل الذي يحدد كفاءة الري عند أي كفاية هو انتظامية الري. حيث تؤدي معايير الكفاءة والكفاية والانتظامية دوراً مهماً في تقييم وتطوير نظم الري الحقلي وتستخدم هذه المعايير للموازنة بين مختلف أنواع نظم الري وذلك من خلال تقييم هذه النظم باعتماد هذه المعايير للتعبير عن جودة وحسن أداء هذه النظم.

وكفاية الري تعني الوصول إلى أفضل رطوبة للتربة بالنسبة للنبات بحيث يحصل الحقل على كمية كافية من مياه الري المضافة للحصول على محصول جيد النوعية والكمية.

والكفاية يمكن تعريفها بأنها النسبة من مساحة الحقل المروي الذي حصل على متوسط عمق ماء الري (D_n) الصافي المطلوب أو أكثر عند عملية الري. فمثلاً إذا كان مستوى الكفاية ٧٥٪ فمعنى ذلك أن نسبة ٧٥٪ من مساحة الحقل حصلت على العمق المطلوب (D_n) أثناء الري أو أكثر من ذلك، بينما نسبة ٢٥٪ من المساحة حصلت على عمق أقل من (D_n).

ويمكن تقييم نظام الري لإيجاد الكفاية بإجراء تجارب حقلية لقياس أعماق المياه الواصلة إلى سطح التربة في أوعية تجميع (نفس طريقة قياس C_u). وبعد انتهاء التجربة يتم قياس أعماق المياه في كل وعاء، ومن هذه البيانات يمكن رسم نموذج التوزيع التجميعي (التراكمي) المتكرر Cumulative Frequency Distribution Pattern كما في الشكل رقم (٨, ٩). لإيجاد مستوى الكفاية عند تلك الرية.

ويمكن رسم منحنى التوزيع التراكمي السابق بتوقيع بيانات أعماق المياه المتجمعة مع مساحات أماكن أوعية التجميع، ويمكن أن يمثلها في هذه الحالة مساحة فوهة الوعاء. بحيث يتم ترتيب الأعماق المتجمعة في الأوعية تنازلياً مع التجميع التراكمي لنسبة مساحة فوهة كل وعاء وتوقيع الأعماق على المحور الصادي بينما مساحة الأوعية التراكمية على المحور السيني كما في الشكل. ويتم إيجاد مستوى الكفاية عند نقطة تقاطع عمق ماء الري الصافي المطلوب (D_n) مع المنحنى (وهو في الشكل رقم (٨, ٩) يعادل مستوى كفاية ٥٠٪).



الشكل رقم (٨ , ٩). نموذج التوزيع التجميعي (التراكمي) المتكرر لإيجاد مستوى الكفاية عند تلك الربة.

(٢ , ٩ , ٩) تقييم نظام الري المحوري

من الضروري تقييم أداء جهاز الري المحوري بعد تركيبه مباشرة لتقدير عمق الماء الذي يضيفه الجهاز ويصل فعلياً إلى سطح التربة ومقارنته بعمق الماء المطلوب إضافته من خلال التصميم وكذلك مقارنته بالعمق الموجود بكتالوج الجهاز عند نفس سرعة الدوران. وقياس انتظامية توزيع مياه الري وكذلك كفاءة الإضافة وإيجاد الفواقد المائية الناتجة من التبخر وبعثرة المياه. وكذلك لابد من إجراء تقييم لجهاز الري المحوري سنويا قبل بداية الموسم الزراعي لإعطاء مؤشر عن التغيرات التي تحدث للجهاز نتيجة الاستخدام ومدى توفر الصيانة المطلوبة.

يمكن تقييم نظام الري المحوري في الحقل وذلك بقياس ضغط تشغيل الرشاش والتصرف بنفس الخطوات المتبعة مع النظم التقليدية. أما إيجاد الانتظامية والتوزيع والكفاءة للنظام المحوري في الحقل فيمكن استخدام إحدى الطرق التالية:

طرق إيجاد معامل الانتظامية للنظام المحوري

أولاً: الانتظامية على طول خط الرش المحوري (Radial Uniformity (Cu_R)

وهي الطريقة الأكثر أهمية والأكثر شيوعاً في تقييم انتظامية وتوزيع المياه على طول خط الرش المحوري. وهي تبين مدى تجانس توزيع المياه على أمتداد طول خط الرش أي في اتجاه قطري من مركز المحور إلى نهاية حدود دائرة البلل. ويمكن تلخيص تلك الطريقة في الخطوات التالية:

١- يجب قبل الشروع في خطوات التقييم الأساسية قياس العوامل الجوية المؤثرة على أداء نظام الرش والتأكد من أنها ضمن الحدود المعتادة للمنطقة، ومن أهم هذه القياسات: درجة الحرارة، الرطوبة النسبية، سرعة الرياح. وتسجل هذه القراءات في جدول خاص. وفي حالة وجود محطة أرصاد قريبة يمكن أخذ هذه القيم من تسجيلات المحطة.

٢- تشغيل مضخة النظام مع ثبات الخط دون دوران، والانتظار حتى يخرج الهواء من كل الخط الفرعي وينتظم الضغط.

٣- قياس تصرفات الرشاشات الموجودة على الخط الفرعي لمعرفة توزيع التصرف على طول خط الرش المحوري ومعرفة التصرف الكلي للنظام، وفي حالة وجود مقياس تصرف للنظام في بداية الخط وطول الجهاز أي احتوائه على عدد كبير من الأبراج يمكن الاكتفاء بعدة رشاشات (لا تقل عن ثلاثة رشاشات) على كل مسافة أي بين كل برجين. ولقياس تصرف الرشاشات يتم تشغيل النظام دون دوران، ويتم تجميع المياه من فوهات الرشاشات الموجودة على الخط مباشرة بوضع مخبار تجميع كبير تحت كل فوهة من فوهات الرشاشات مباشرة، كما في الشكل رقم (٩ , ٩)، وبمعرفة الحجم المتجمع V_{sp} وزمن التجميع t_{sp} (من ٥ إلى ١٥ ثانية) وتسجل النتائج في الجدول المعد لذلك، ويمكن حساب تصرف كل رشاش من العلاقة $Q_{sp} = V_{sp}/t_{sp}$.

الشكل رقم (٩ , ٩). قياس تصرف الرشاش على خط الرش المحوري.

٤- حساب تصرف الجهاز من تجميع تصرفات الرشاشات على الخط $Q_s = \sum V_{sp}$ أو قياس تصرف الجهاز من مقياس التصرف الموجود في بداية الخط.

٥- يتم قياس ضغط الرشاشات على الخط بفك الرشاش وتركيب مقياس ضغط (الشكل رقم ١٠ , ٩).

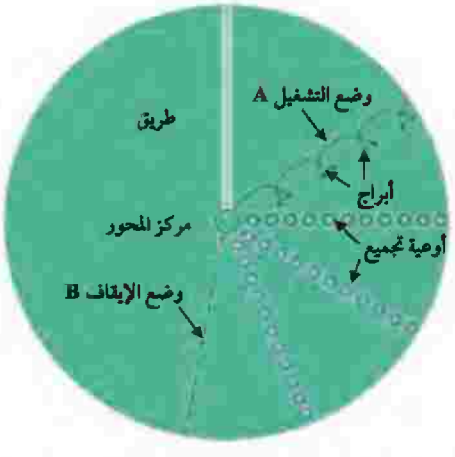
٦- يتم إيقاف تشغيل الجهاز المحوري.

٧- يتم وضع صف من أوعية القياس المتماثلة على طول خط الرشاشات وعلى مسافات متساوية، وفي بعض الأحيان يوضع صفين أو ثلاثة صفوف من أوعية القياس للحصول على دقة أعلى في التقييم. ويجب اختيار خط

موضع أوعية القياس بحيث تكون فروق المناسيب على طول الخط أقل ما يمكن، وفي حالة وجود محصول أثناء التجربة يفضل وضع خط أوعية القياس على الطريق غير المزروع الموصل إلى المحور.

الشكل رقم (١٠ ,٩). قياس ضغط الرشاش على خط الرش المحوري.

٨- يضبط وضع خط الرشاشات في الوضع (A) بدوران خط الرشاشات بدون ري بحيث يكون بينه وبين خط أوعية القياس زاوية تتراوح بين ١٠-٣٠ درجة وهي تتوقف على محاولة تجنب تأثير الرشاشات عند بداية التشغيل وتكون على وشك التأثير أي بعد فترة قليلة جداً من التشغيل يبدأ تأثر خط أوعية القياس بدوائر الرش لخط الرشاشات كما موضح بالشكل رقم (١١ ,٩).



الشكل رقم (١١ ,٩). وضع ثلاثة صفوف لأوعية التجميع في نظام الري المحوري.

٩- ترتب أوعية القياس مبتدئاً من المحور وعلى مسافات متساوية تتراوح بين ٢-٥ م، حسب طول خط الرشاشات (تزداد المسافة بين الأوعية كلما كان خط الرش طويل لتقليل عدد الأوعية)، وتتوقف المسافة بين الأوعية أيضاً حسب الدقة المطلوبة في التقييم (تقل المسافة بين الأوعية كلما كان من المرغوب دقة عالية). ويجب ترقيم هذه الأوعية بحيث يكون رقم (١) هو الأقرب من المحور، يمكن حذف عدد من الأوعية القريبة من المحور لأنها تستغرق وقتا طويلاً في التجميع كما أن تأثيرها في نتائج التقييم صغير جداً لأنها تمثل مساحة صغيرة ولكن الترقيم لابد أن يشملها، وأهمية الترقيم أن كل وعاء يمثل مساحة بلل مختلفة حيث إن هذه المساحة تزيد كلما ابتعدنا من المحور. يجب التأكد من التثبيت الجيد للأوعية وكذلك التأكد من أنها في وضع رأسي على سطح الأرض وغير مائلة.

١٠- تستخدم ثلاثة أوعية قياس إضافية وملء كل منها بحجم معين من الماء لحساب التبخر من السطح الحر منذ وصول تأثير الرشاشات إلى موضع التأثير وحتى ابتعاده عنه. مع مراعاة وضعها بعيدة عن تأثير دوائر الرش أثناء التجربة.

١١- يضبط الجهاز على سرعة الدوران المتبعة أثناء الري والتي تحقق عمق الماء المضاف المطلوب بواسطة مفتاح السرعات في لوحة التحكم بالقرب من مركز المحوري، كما في الشكل رقم (١٢ , ٩).

الشكل رقم (١٢ , ٩). ضبط سرعة الدوران لخط الرش المحوري من لوحة التحكم.

١٢- يتم تشغيل النظام المحوري مع الدوران وهو في الوضع (A) (الشكل رقم ١١ , ٩).

١٣- أثناء دوران الجهاز يتم بقياس سرعة الجهاز الفعلية للبرج الأخير بواسطة تحديد الزمن (t) المستغرق في قطع المسافة (ℓ) على مسار آخر عجل للجهاز المحوري، $V = \ell/t$.

١٤- حساب زمن الدورة الكاملة للجهاز من العلاقة $T_{rev} = \frac{2\pi R_L}{V}$ حيث إن $(2\pi R_L)$ محيط دورة العجل الأخير للجهاز، R_L هي المسافة من نقطة المحور إلى مركز البرج الأخير أو نصف قطر الدورة $R_L = N_t S_t$، N_t عدد الأبراج، S_t المسافة بين الأبراج.

١٥- يتم إيقاف التشغيل عند الوضع (B) الذي يبعد عن خط أوعية القياس بنفس الزاوية التي يبعدها الوضع (A) عن خط أوعية القياس (الشكل رقم ١١, ٩).

١٦- قياس المياه المتجمعة في أوعية القياس مباشرة بعد انتهاء مرور خط الرشاشات في أسرع وقت وبدقة شديدة. مع تسجيل الحجم المتجمع بجوار رقم الوعاء.

١٧- يتم تعيين الحجم المتبقي من المياه في أوعية القياس الإضافية الثلاثة وتؤخذ القراءات بعد توقف التشغيل ثم أثناء منتصف تسجيل قراءات أوعية القياس ثم في نهاية تسجيل القراءات.

١٨- حساب عمق الماء المضاف Dg من العلاقة $D_g = \frac{T_{rev} \times Q_s}{A_i}$، حيث A_i = المساحة الكلية المروية ويمكن حسابها من المعادلة $A_i = \pi R^2$، حيث R = نصف قطر دائرة البلل لخط الرش (م) ويمكن حسابها من العلاقة $R = R_L + L_o + r_a$ حيث L_o = طول الوصلة الطرفية في حالة وجودها، r_a = نصف قطر دائرة الرش للرشاش الأخير. Q_s تصرف النظام ويقاس عند أول خط الرشاشات بواسطة عداد المياه الموجود بالقرب من المحور. أما في حالة عدم وجود مقياس للتصرف فيتم إيجاد العمق المضاف مباشرة من المعادلة التالية $D_g = D_w + E_v$، حيث E_v = متوسط عمق الماء المفقود بالتبخر من الأوعية الثلاثة الإضافية.

١٩- حساب العمق المتجمع بمعلومية مساحة مقطع وعاء القياس.

٢٠- حساب العمق الموزون لكل وعاء وذلك بضرب العمق المتجمع في رقم الوعاء، أما في حالة عدم ثبات المسافة بين أوعية القياس فيضرب العمق المتجمع في بعد الوعاء عن المحور.

٢١- ترتيب القياسات في الجدول حسب العمق المتجمع ترتيب تصاعدياً مع تدوين الرقم الفعلي للوعاء أمام هذا الترتيب.

٢١- يتم تغيير سرعة الجهاز ثم اعد الخطوات السابقة ابتداء من الخطوة (١١). حتى نحصل على أربع سرعات مختلفة (٢٥٪، ٥٠٪، ٧٥٪، ١٠٠٪).

٢٢- حساب معامل الانتظامية (Cu) ومعامل الانتظامية في الربع الأقل (Du) وكفاءة إضافة المياه (Ea) لنسب السرعات ٢٥٪، ٥٠٪، ٧٥٪، ١٠٠٪ بالإضافة لسرعة التشغيل التصميمية.

٢٣- رسم علاقة بيانية بين نسب سرعة الجهاز X وكل من سرعة الجهاز V، ومعامل الانتظامية، ومعامل الانتظامية في الربع الأقل، وكفاءة الإضافة الفعلية، وعمق الماء المضاف عند كل سرعة.

٢٤- رسم علاقة بيانية بين مسافة الرشاش من المحور وتصرفه، توضح زيادة تصرف الرشاشات كلما بعدنا عن المحور.

ويوضح الشكل رقم (٩, ١٣) تقييم نظام ري محوري جديد، بينما يوضح الشكل رقم (٩, ١٤) تقييم نظام ري محوري قديم تم تعديل الخط الفرعي به داخل المزرعة ولكن بخط بديل ذو تصميم ردئ كما موضح بالشكل.

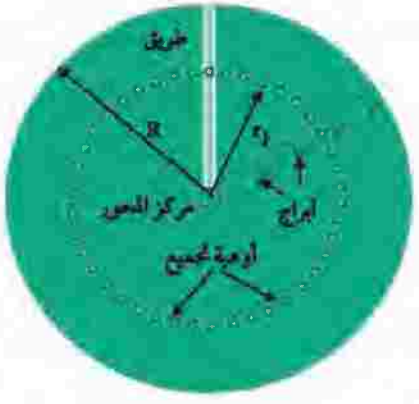
الشكل رقم (٩, ١٣). تقييم أداء نظام رش محوري جديد حقلياً.

الشكل رقم (٩, ١٤). تقييم أداء نظام رش محوري قديم وبالخط الفرعي تعديل.

ثانياً: الانتظامية مع اتجاه خط السير Circular Uniformity (Cu_c)

وذلك بقياس توزيع المياه في اتجاه دائري مع اتجاه خط السير، وهذه الانتظامية تبين مدى الاختلاف في تضاريس الحقل، وتتم قياس هذه الانتظامية بوضع أوعية القياس في صورة دائرة أو جزء من دائرة وعلى مسافات متساوية مع اتجاه السير وعلى مسافات منتظمة من المحور (الشكل رقم ١٥ ,٩). والموقع المناسب الذي توضع عنده الأوعية وهو على بعد مسافة من المحور تساوي $r_j=\frac{2R}{3}$ حيث يعتبر ذلك الموقع مركز ثقل التصرف (متوسط التصرف) على طول خط الرش المحوري. ويمكن إجراء ذلك بوضع علب التجميع على مسافات متساوية تعادل ٣٠ م على طول خط السير. ولنظام محوري نصف قطر دائرة البلل له ٤٠٠ م يكون موضع الأوعية على بعد ٢٦٦ م تقريباً من المحور، وعدد الأوعية المستخدمة ٥٥ وعاء.

$$\left(r_j=\frac{2\times400}{3}\approx266m\ ,\ N=\frac{2\pi\times266}{30}=55\right)$$



الشكل رقم (١٥ ,٩). وضع أوعية التجميع لحساب الانتظامية في اتجاه السير.

ويمكن وضع صفين من العلب مع اتجاه السير بينهما مسافة ٥م. ولابد من حساب فاقد التبخر وبعثرة الرياح بسبب الزمن الطويل لإجراء التجربة. ويمكن حساب C_{uc} ، D_{uc} باستخدام المعادلات التي استخدمت مع النظام التقليدي مباشرة. ولتحسين دقة القياس لابد أن تكون صفوف الأوعية تبعد عن أي مسار للعجلات بمسافة لا تقل عن ٥م.

عناصر تقييم الري المحوري

إن عناصر أو معايير تقييم أداء نظام الري المحوري لا تختلف عن المعايير المتبعة في نظم الري بالرش التقليدية لكن يجب الأخذ في الاعتبار أنه يجب وضع وزن لموقع علب التجميع من بداية المحور حيث إن تأثير الموقع يزداد أهمية كلما بعدنا عن المحور. ويتم هذا إما بأخذ رقم الوعاء في الاعتبار أو المسافة التي يبعدها عن المحور.

١ - معامل الانتظامية للنظام المحوري (Cu) Coefficient of Uniformity

يمكن تقدير معامل الانتظامية للنظام المحوري باستخدام معادلة كرستيانسن المعدلة أو معادلة هيرمان-هين، والمعادلتان تعطي تقريباً نفس النتائج. أما معادلة كرستيانسن المعدلة فهي بالصيغة التالية:

$$C_u = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^{i=N} W_i \left| \frac{X_i}{D_w} - 1 \right|}{\sum_{i=1}^{i=N} W_i}\right] \times 100 \qquad (٩,٤٢)$$

حيث إن:

N = عدد أوعية القياس.

X_i = عمق المياه المتجمعة في الوعاء القياسي الواحد.

W_i = معامل الوزن أو رقم الوعاء في حال ثبات المسافة بين الأوعية.

D_w = متوسط العمق الموزون = مجموع الأعماق الموزونة/ مجموع أرقام الأوعية.

$$D_w = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} (W_i \times X_i)}{\sum_{i=1}^{i=N} W_i} \qquad (٩,٤٣)$$

وتعتبر قيمة C_u مقبولة إذا كانت ٧٥٪ أو أكثر في المناطق الصحراوية.

٢ - انتظامية التوزيع للربع الأقل (Du) Distribution Uniformity

يمكن إيجاد انتظامية التوزيع للربع الأقل للنظام المحوري من المعادلة التالية:

$$D_u = \frac{d_w}{D_w} \times 100 \qquad (٩,٤٤)$$

حيث إن:

D_u = انتظامية التوزيع للربع الأقل (٪).

D_w = متوسط العمق الموزون (مم).

d_w = متوسط العمق الموزون لعمق الماء المتجمع في الربع الأقل (مم).

= مجموع الأعماق الموزونة في الربع الأقل/ مجموع ربع أرقام الأوعية.

إن انخفاض قيمة D_u يشير إلى زيادة فواقد التسرب العميق.

٣- كفاءة الإضافة لنظام الري المحوري (Water Application Efficiency (E_a)

يمكن إيجاد كفاءة الإضافة (E_a) للنظام المحوري من المعادلة التالية:

$$E_a = \frac{D_w}{D_g} \times 100 \qquad (٩,٤٥)$$

حيث يمكن اعتبار أن D_w العمق الواصل إلى سطح الأرض مساوياً للعمق الصافي D_n في حالة التقييم، D_g يساوي العمق الكلي المضاف، ويمكن حسابه من المعادلة:

$$D_g\ (mm) = \frac{Q_s\ (L/S) \times 3600 \times T_{rev}\ (hr)}{A_i\ (ha) \times 10000} \qquad (٩,٤٦)$$

حيث إن:

Q_s = تصرف النظام ويقاس عند أول خط الرشاشات بواسطة عداد المياه الموجود بالقرب من المحور. أما في حالة عدم وجود مقياس للتصرف فيتم إيجاد العمق المضاف مباشرة من المعادلة التالية:

$$D_g = D_w + E_v \qquad (٩,٤٧)$$

E_v = متوسط عمق الماء المفقود بالتبخر من الأوعية الثلاثة الإضافية.

T_{rev} = زمن الدورة الكاملة.

$$T_{rev} = \frac{2\pi R_L}{V} \qquad (٩,٤٨)$$

تقدر السرعة V حقليا بقياس طول محيط البرج الأخير أي قياس طول مسار العجل للبرج الأخير أثناء التجربة S وزمن التجربة T

$$V = \frac{S}{T} \qquad (٩,٤٩)$$

R_L = المسافة من المحور إلى البرج الأخير (متر).

وإذا كانت المسافة بين الأبراج S_t متساوية وعدد الأبراج N_t تكون:

$$R_L = N_t \cdot S_t \qquad (٩,٥٠)$$

A_i = المساحة الكلية المروية ويمكن حسابها من المعادلة:

$$A_i = \pi R^2 \qquad (٩,٥١)$$

R = نصف قطر دائرة البلل لخط الرش (متر).

$$R = R_L + L_o + r_a \qquad (٩,٥٢)$$

L_o = طول الوصلة الطرفية في حالة وجودها.

r_a = نصف قطر دائرة الرش للرشاش الأخير.

٤- كفاءة الإضافة في الربع الأقل Potential Efficiency of low quarter (PELQ)

وهي أيضا تسمى بكفاءة النظام System efficiency ويمكن إيجادها كالتالي:

$$PELQ = D_u \times E_a = \frac{d_w}{D_w} \times \frac{D_w}{D_g} \times 100 = \frac{d_w}{D_g} \times 100 \qquad (٩,٥٣)$$

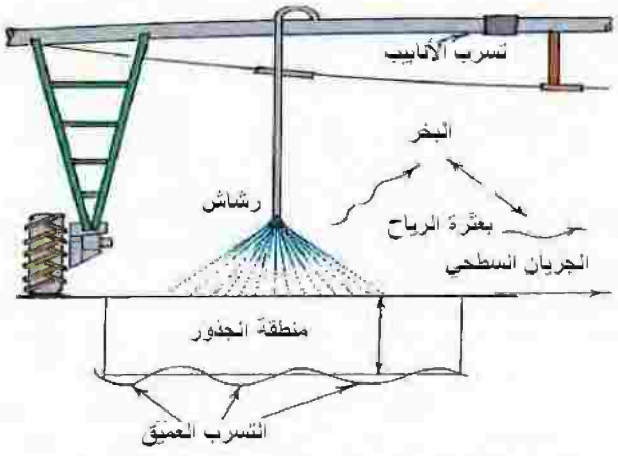
إنخفاض قيمة (PELQ) يشير إلى وجود مشاكل في التصميم.

٥- فواقد التبخر Evaporation Losses (E)

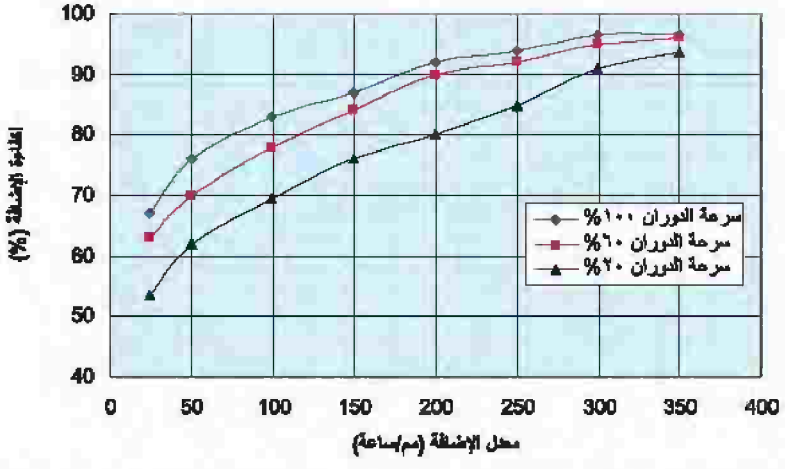
يمكن إيجاد كمية المياه المفقودة عن طريق بعثرة الرياح ودرجة الحرارة الجوية من نظام الري أثناء عملية الري (الشكل رقم ٩, ١٦)، من المعادلة التالية:

$$E = \frac{D_g - D_w}{D_g} \times 100 \qquad (٩,٥٤)$$

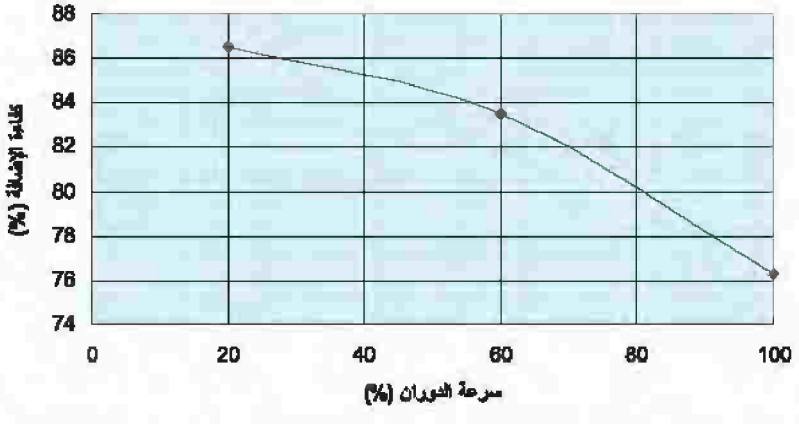
ونجد أن كفاءة الإضافة تتأثر بمعدل الإضافة في نظام الري المحوري، فتزداد كفاءة الإضافة بزيادة معدل الإضافة، كما أن معدل الإضافة يقل بإنخفاض سرعة الدوران (الشكل رقم ٩, ١٧). كما تقل كفاءة الإضافة بزيادة سرعة الدوران (الشكل رقم ٩, ١٨).



الشكل رقم (٩ , ١٦). فواقد المياه من نظام الري المحوري.



الشكل رقم (٩ , ١٧). العلاقة بين كفاءة الإضافة ومتوسط معدل الإضافة على طول خط الرش المحوري عند سرعات دوران مختلفة.



الشكل رقم (٩ , ١٨). العلاقة بين كفاءة الإضافة تحت نظام الرش المحوري عند سرعات دوران مختلفة.

أسباب سوء انتظام التوزيع تحت نظام الري المحوري

١- التصميم غير الجيد للنظام.

٢- وجود انسداد في بعض الرشاشات.

٣- الترتيب غير السليم للرشاشات على طول خط الرش.

٤- ضغط التشغيل عند المحور غير مناسب.

٥- وجود تسرب للمياه في خط الرش.

٦- عدم انتظام سرعة الحركة أو الدوران والذي قد ينتج من عدم تسوية خط السير.

٧- زيادة فواقد التبخر من المياه المضافة بسبب درجة الحرارة وسرعة الرياح. وهذه الفواقد تزداد مع زيادة درجة الحرارة وسرعة الرياح وكلما قلت حجم القطرات ومعدل الرش.

٨- حركة المياه على سطح الأرض بعد إضافتها نتيجة وجود اختلاف في مناسيب الأرض المروية وخاصة عندما يزيد معدل الرش عن معدل تسرب التربة.

٩- التعديلات التي يقوم بها بعض المزارعين على التصميم.

(٣, ٩, ٩) تقييم نظام الري بالتنقيط

يتسم نظام الري بالتنقيط بتزويد النباتات بالمياه والعناصر الغذائية بكميات صغيرة وعلى فترات متقاربة، غالباً يتم الري يومياً، للإيفاء بالاحتياجات المائية والاحتياجات من السماد، ولهذا يعتبر من الضروري أن يكون التغير في سريان المنقطات وانتظام توزيع المياه في النظام معروفا؛ لأن فترة الري وكميته مبنية على معدل التصرف. كما أن الريات الخفيفة وفترات الري المتقاربة في نظام الري بالتنقيط يستوجب غالباً هذا النمط من التشغيل القيام بعمل آلية مكثفة ومراقبة مستمرة للنظام وإدارة جيدة للنظام. وتتوقف الإدارة الجيدة على الحصول على فهم تام للنظام ومراقبة دقيقة لأداء المنقطات ومعالجة أي انسداد سواء جزئي أو كلي، ويمكن معرفة حدوث انسداد ولو جزئي من ملاحظة مساحة البلل الناتجة من المنقطات. لهذا يجب معرفة العوامل المؤثرة على التغير في سريان المنقطات وقياس وانتظام التصرف من المنقطات ثم طرق التقييم الحقلية.

ولا يزال هناك بعض المشاكل المتعلقة بالإدارة المثلى للتطبيق الحقلي للمياه والمخصبات في نظام الري بالتنقيط، رغم أن النظام يكفل توفيراً كبيراً في كميات المياه والمحاليل الكيميائية.

ورغم أن نظام التنقيط لديه القدرة على تطبيق مياه الري بكفاءة عالية إلا أن التصميم الضعيف للنظام والإدارة والصيانة غير المسؤولة يمكن أن تؤدي إلى انخفاض في كفاءة النظام. فالتصميم غير الجيد للنظام قد ينتج عنه عدم انتظام في تصرفات المنقطات في جميع الحقل، ولكي يتلافى المزارع النقص في انتظام التوزيع يعمد إلى الري بكمية إضافية من الماء تفوق الاحتياج الفعلي للنبات وهذا يؤدي إلى فقدان جزء من الماء والعناصر الكيميائية والطاقة دون الاستفادة منها وربما أيضاً يؤدي إلى تلوث المياه الجوفية.

وعدم الانتظام في التصرف من المنقطات قد يكون نتيجة للعديد من العوامل قد يكون أهمها الاختلافات الهيدروليكية، والاختلاف في تصرفات المنقطات فالاختلافات الهيدروليكية على طول خط المنقطات أو الخط الفرعي أو شبه الرئيس يتأثر بالميل وطول الأنبوب وقطره، ثم العلاقة بين الضغط والتصرف للمنقط.

أما اختلاف تصرف المنقطات عند ضغط تشغيل ثابت فيكون نتيجة للاختلاف المصنعي أو الانسداد أو التغير في درجة الحرارة أو التلف للمنقط.

يمكن تطبيق طرق التقييم واستخدام عوامل التقييم المتبعة في نظام الري بالتنقيط على كل طرق الري الدقيق الأخرى (والتي تشمل الرشاشات صغيرة الحجم ذات تصرف أقل من ٤ لتر/ الدقيقة، والنابع أو البيلر... الخ).

ويرجع اختلاف طرق تقييم الري بالتنقيط عن الري بالرش لسببين رئيسين الأول أن خطوط التنقيط والمنقطات تكون موضوعة على سطح الأرض عكس الري بالرش حيث تكون الرشاشات مرتفعة عن سطح الأرض، والسبب الأخر هو نظام الري بالتنقيط يبلل الحقل جزئياً ولا تستدعي التصاميم تداخل أنماط البلل كما في الري بالرش، وبالتالي يكون الانتظامية تقاس للأجزاء المبللة حيث توجد النباتات وليس لكل مساحة الحقل كما في الري بالرش.

أهمية التقييم لنظم الري بالتنقيط

يعتبر التقييم الحقلي لنظم الري بالتنقيط ضروري لعدة أسباب، فهو مهم لمهندس التصميم للتأكد من أن انتظام التصرف المرغوب فيه من المنقطات أمكن تحقيقه بالمواصفات الموضوعة، كما يعتبر مهماً للمزارع لمعرفة ما إذا كان بالإمكان تشغيل النظام بكفاءة عالية، وأخيرا لمسؤول الصيانة كأداة تشخيص لمعرفة طريقة التشغيل الأفضل للنظام وأجزاؤه واتخاذ الإجراءات اللازمة عند الحاجة.

والتصميم الهيدروليكي الجيد يعتبر ضروري للتشغيل السليم للنظام، وهناك العديد من الطرق التي أمكن تطويرها للمساعدة في تصميم وتقييم النظام مثل نظرية انتظام التنقيط وفكرة التغير في السريان من خلال المنقطات، ثم فكرة الانتظام الإحصائي في توزيع المياه.

أهداف تقييم نظم الري بالتنقيط

إن الهدف من تقييم نظام الري بالتنقيط يمكن إيجازه في النقاط التالية:

١- معرفة كفاءة النظام الفعلية.

٢- معرفة التصرفات الفعلية للمنقطات والتعرف على المنقطات التي بها سدد.

٣- تقدير معامل الاختلاف المصنعي للمنقطات الذي يعتبر مؤشر لجودة المنقطات.

٤- معرفة مدى انتظام التنقيط في التصميم.

٥- تقويم ومعالجة أي خلل في النظام بناءاً على نتائج التقييم.

٦- الحصول على معلومات فعليه عن أنواع المنقطات وظروف تشغيلها التي تفيد في التصاميم المستقبلية.

أثر خصائص تصنيع المنقطات على أداء المنقطات

حيث إن ممرات الخروج في المنقطات تكون عادة صغيرة القطر (في حدود ١ - ٢ مم) فإنه يتطلب تصنيعها بدقة. حيث إن الاختلافات الصغيرة في أقطار الممرات يمكن أن تسبب تبايناً كبيراً نسبياً في التصرفات عند نفس الضغط. وعملياً يعتبر من الصعب تصنيع جزئين متماثلين تماماً من الناحية الفعلية. فالفروق البسيطة بين ما يبدو ظاهرياً أنها منقطات متشابهة ومن نفس النوع والحجم يمكن أن تسبب اختلافات كبيرة في التصرف بين منقط وآخر في الحقل.

لذلك يستخدم معامل يسمى معامل الاختلاف المصنعي أو معامل تباين صناعة المنقطات (Cv) كمقياس للتغيرات أو الاختلافات المتوقعة في تصرف المنقطات. ويعتبر هذا المعامل من أهم العوامل المؤثرة على انتظام تصرف المنقطات والحكم على جودة المنقطات، ويحسب هذا المعامل من عينة من المنقطات لا يقل عددها عن ٣٢ منقط، على أن تقاس هذه التصرفات تحت ضغط تشغيل معين ومناسب للمنقط. ويمكن الحصول على قيمة هذا المعامل من الشركات المصنعة، أو يمكن إيجاده حسابياً أثناء خطوات التقييم. وهناك معامل آخر يسمى معامل الاختلاف المصنعي لنظام التنقيط (C_{vs}). وتعتبر فكرة معامل الاختلاف المصنعي لنظام التنقيط مفيدة عند استخدام أكثر من منقط أو مخرج للتنقيط للشجرة الواحدة، وبالتالي فإن التغيرات في معدل التصرف لجميع المنقطات حول

الشجرة يمكن لبعضها أن يعوض النقص في الآخر بصفة عامة، فأحدها قد يكون له تصرف عالي والآخر منخفض وبالتالي يكون في المتوسط التغيرات في مجموع حجم الماء الواصل لكل شجرة أقل مما يمكن توقعه عند حساب المعامل C_v فقط ويمكن أن تميز C_{vs} بالعلاقة:

$$C_{vs} = \frac{C_v}{\sqrt{N_P}} \qquad (٩,٥٥)$$

حيث إن:

N_p= عدد المنقطات لكل شجرة.

لذلك عند وجود أكثر من منقط واحد حول النبات فإنه يتم تعديل Cv بإيجاد Cvs لذلك فإن Cvs يحوي نظام توزيع التغير بالنسبة لعدة منقطات متماثلة تخدم نبات واحد، فإذا استخدم منقط ذو عدة فتحات خروج لخدمة شجرة معينة فإن Cvs = Cv. أما إذا استخدم مثلاً ٤ منقطات للشجرة الواحدة فإن معامل الاختلاف المصنعي للنظام يكون $C_{vs} = C_v/\sqrt{4}$.

أسباب تغير التصرفات الفعلية للمنقطات في الحقل من مكان لآخر:

١- الخصائص التصميمية للمنقطات.

٢- معايير التصميم.

٣- فواقد الاحتكاك في شبكة الأنابيب.

٤- عدم انتظامية تضاريس الحقل.

٥- عدد المنقطات المسدودة كلياً أو جزئياً في النظام.

٦- تباين درجة حرارة المياه في النظام.

معايير تقييم نظم الري بالتنقيط

١- معامل الاختلاف أو التغير المصنعي C_v

وهو يعكس الاختلافات الناتجة في تصرفات المنقطات الناتجة عن تصنيع المنقط وبالتالي جودة المنقط، دون الأخذ في الاعتبار متغيرات التشغيل.

$$C_v = \frac{S_d}{q_a} \qquad (٩,٥٦)$$

حيث إن:

Cv = معامل التغير المصنعي.

q_a = متوسط تصرف المنقطات أو متوسط الحجوم المتجمعة منها.

S_d = الانحراف المعياري لتصرفات المنقطات أو الحجوم المتجمعة منها.

ويمكن حساب الانحراف المعياري من إحدى المعادلات التالية:

$$S_d = \sqrt{\frac{q_1^2 + q_2^2 + ... + q_n^2 - nq_a^2}{n-1}} \qquad (٩,٥٧)$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\Sigma (q_i - q_a)^2}{n-1}} \qquad (٩,٥٨)$$

٢- النسبة المئوية للتغير في سريان المنقطات q_{var}

وهي طريقة مبسطة لمعرفة التغير في تصرف المنقط لنظام تنقيط بناء على التغيرات الهيدروليكية في أنبوب المنقطات بالإضافة للتغير المصنعي للمنقطات نفسها والانسداد الذي قد يحدث بها نتيجة التشغيل، ويمكن حسابها من المعادلة التالية:

$$q_{var} = \left(1 - \frac{q_n}{q_m}\right) \times 100 \qquad (٩,٥٩)$$

حيث إن:

q_{var} = النسبة المئوية للتغير في سريان المنقط.

q_n = متوسط تصرفات أو حجوم الربع الأقل للمنقطات.

q_m = متوسط تصرفات أو حجوم الثمن الأكبر للمنقط.

٣- معامل الانتظام الحقلي Eu_f

ويعتبر من أبسط طرق التقييم حيث يمكن حسابه أثناء وجود فريق العمل في الحقل وهو يعطي مدلول على مدى التفاوت في التصرفات الصغرى للمنقطات عن متوسط تصرف المنقطات. ويمكن حسابه من المعادلة التالية:

$$Eu_f = \frac{q_n}{q_a} \times 100 \qquad (٩,٦٠)$$

حيث إن:

Eu_f = معامل الانتظام الحقلي.

٤- معامل الانتظام التصميمي Eu_d

ويمكن تطوير العلاقة السابقة لتشمل معامل التغير المصنعي (Cv) وعدد المنقطات لكل شجرة في الحقل (Np) فتصبح العلاقة:

$$Eu_d = \left(1 - \frac{1.27 \times C_v}{\sqrt{N_p}}\right) \times \frac{q_n}{q_a} \times 100 \qquad (٩,٦١)$$

حيث إن:

Eu_d = معامل الانتظام التصميمي لنظام التنقيط.

N_p = عدد المنقطات لكل شجرة في الحقل.

q_n = متوسط تصرفات أو حجوم الربع الأقل للمنقطات.

٥- معامل الانتظام الحقلي المطلق Eu_a

وهو يعطي مدلول على مدى التفاوت في التصرفات العالية في النظام مقارنة بالتصرف المتوسط بالإضافة إلى التفاوت في التصرفات المنخفضة في النظام مقارنة بالتصرف المتوسط والمعروفة بمعامل الانتظام الحقلي. ويحسب من المعادلة التالية:

$$Eu_a = 0.5 \left(\frac{q_n}{q_a} + \frac{q_a}{q_m}\right) \times 100 \qquad (٩,٦٢)$$

حيث إن:

Eu_a= معامل الانتظام الحقلي المطلق.

٦- معامل التجانس أو الانتظامية C_u

وهو شبيه بمعامل الانتظامية في تقييم نظام الري بالرش، ويحسب من المعادلة:

$$C_u = \left[1 - \frac{\Sigma\ (q_i - q_a)}{n \cdot q_a}\right] \times 100 \qquad (٩,٦٣)$$

حيث إن:

q_i = تصرف المنقطات من $i = 1$ إلى $i = n$ (L/hr).

q_a = متوسط تصرف المنقطات (L/hr).

n = عدد علب التجميع (عدد المنقطات).

٧- معامل الانتظام الإحصائي U_s

وهو مؤشر إحصائي يوضح تأثير الاختلاف المصنعي على انتظامية التوزيع، ويمكن حسابه من المعادلة:

$$U_s = (1 - C_V) \times 100 \qquad (٩,٦٤)$$

٨- النسبة المئوية للإختلاف في التصرف الفعلي عن التصرف الأسمي dq

وهو مؤشر يبين مدى جودة تصميم وإدارة وتشغيل النظام، وهو يوضح اختلاف متوسط تصرف المنقطات المقاس q_a عن التصرف الأسمي q_e، ويمكن حسابه بالمعادلة:

$$d_q = \left(\frac{q_a - q_e}{q_e} \right) \times 100 \qquad (٩,٦٥)$$

٩- كفاءة الإضافة E_a

لا تتأثر كفاءة الإضافة في نظم الري بالتنقيط بفواقد البخر وبعثرة الرياح التي تحدث في نظم الري بالرش لكون المنقطات موضوعة مباشرة فوق سطح التربة، وبالتالي تتأثر كفاءة الإضافة بمدى التجانس في توزيع المياه على سطح التربة والمعروفة بالانتظامية الحقلية وتتأثر أيضاً بنسبة النتح لأقصى استهلاك مائي T_r وهي نسبة العمق الصافي لماء الري الذي يجب إضافته ليفي بمتطلب النتح اليومي إلى عمق الماء الفعلي والمنتوح من النبات، (العمود، ١٩٩٩). ويوضح الجدول رقم (٩,٣) قيم Tr لترب مختلفة ولمناخ وعمق مختلف. ويمكن حساب كفاءة الإضافة من المعادلة التالية:

$$E_a = \frac{Eu_f}{T_r} \times 100 \qquad (٩,٦٦)$$

وهناك معايير كثيرة أخرى لتقييم نظم الري بالتنقيط ولكنها أقل أهمية ولا تستخدم كثيراً في التقييم.

في معادلات التقييم السابقة بدأً من المعادلة رقم (٩,٥٧) يمكن التعامل مع قيم q_m ، q_n ، q_i ، q_a في صورة تصرفات أو حجوم أو أعماق لتسهيل الحسابات دون حدوث أي تغيير في النتائج.

يجب أن لا يقل معامل الانتظام التصميمي لنظام الري بالتنقيط E_{us} في التصميم الممتاز عن ٩٠٪، كما يوضح الجدول رقم (٩,٤). ويجب أن لا تزيد النسبة المئوية للتغير في التصرف q_{var} عن ٥٪ في التصميم الممتاز لنظام الري بالتنقيط، كما يوضح الجدول رقم (٩,٥). وتتوقف جودة المنقطات على قيمة معامل الاختلاف المصنعي Cv فيجب أن لا تتعدى هذه القيمة ٠,٠٤ للمنقطات الجيدة الصنع، كما يوضح الجدول رقم (٩,٦).

الجدول رقم (٣, ٩). نسبة النتح الموسمية T_r للمناخ الجاف والرطب لأنواع مختلفة من التربة ولأعماق جذور مختلفة.

المناخ وعمق الجذور	نسبة النتح الموسمية T_r لأنواع الترب			
	ناعمة	متوسطة	خشنة	خشنة جداً
جاف حار				
أقل من ٨٠ سم	١,٠٥	١,٠٥	١,١٠	١,١٥
٨٠ – ١٥٠ سم	١,٠٠	١,٠٥	١,١٠	١,١٠
أكبر من ١٥٠ سم	١,٠٠	١,٠٠	١,٠٥	١,٠٥
رطب				
أقل من ٨٠ سم	١,١٠	١,١٥	١,٢٥	١,٣٥
٨٠ – ١٥٠ سم	١,٠٥	١,١٠	١,٢٠	١,٢٥
أكبر من ١٥٠ سم	١,٠٠	١,٠٥	١,١٠	١,٢٠

الجدول رقم (٤, ٩). تصنيف معامل الانتظام المقابل لقيم معامل الانتظام التصميمي لنظام ري بالتنقيط.

معامل الانتظام التصميمي Eus	الانتظام
أكبر من ٩٠ ٪	ممتاز
٨٠ – ٩٠ ٪	جيد
٧٠ – ٨٠ ٪	مقبول
٦٠ – ٧٠ ٪	ضعيف
أقل من ٦٠ ٪	غير مقبول

الجدول رقم (٥, ٩). تصنيف معامل الانتظام المقابل لقيم النسبة المئوية للتغير في التصرف لنظام ري بالتنقيط.

النسبة المئوية للتغير في التصرف q_{var}	الانتظام
أقل من ٥ ٪	ممتاز
٥ – ١٠ ٪	جيد
١٠ – ٢٠ ٪	مقبول
٢٠ – ٢٥ ٪	ضعيف
أكثر من ٢٥ ٪	غير مقبول

الجدول رقم (٦ , ٩). تصنيف الانتظام المقابل لقيم معامل الاختلاف المصنعي لنظام ري بالتنقيط.

معامل الاختلاف المصنعي Cv	التصنيف
أقل من ٠,٠٤	ممتاز
٠,٠٤ – ٠,٠٧	جيد
٠,٠٧ – ٠,١١	متوسط
٠,١١ – ٠,١٥	رديء
أكبر من ٠,١٥	غير مقبول

خطوات التقييم الحقلي لنظام ري بالتنقيط

إن خطوات التقييم لنظام تنقيط يستخدم للمحاصيل الصفية باستخدام منقطات منفردة يتم تبعاً للخطوات التالية:

١- إختيار أربعة (٤) خطوط فرعية حاملة للمنقطات وتحديد عشرة (١٠) منقطات على كل خط يتم عليها التقييم، وعدد الخطوط التي يتم اختيارها وكذلك عدد المنقطات على الخط يتوقف على مساحة وحدة الري والعمالة المتوفرة للقيام بالتقييم. ويفضل أن تكون الخطوط الفرعية ممثلة لوحدة الري وليست متجاورة وكذلك بالنسبة للمنقطات على الخط الفرعي الواحد يجب إختيار منقطات متباعدة وهذا حتى تظهر فروق التصرفات نتيجة اختلاف الضغوط الفعلية الواقعة على المنقطات وبالتالي اختلاف التصرفات بسبب الاحتكاك وفروق المناسيب. يمكن زيادة عدد الخطوط الفرعية التي يتم تقييمها إذا توفرت العمالة اللازمة، ولكن أربعة خطوط هي الحد الأدنى لخطوط التقييم.

٢- ترفع خطوط الفرعية الحاملة للمنقطات عن الأرض بغرس شوك حديدية على شكل حرف Y بارتفاع أكبر من ارتفاع علب التجميع، بحيث يمكن غرس الشوك وتثبيتها في الأرض ووضع الخط فوق تلك الشوك.

٣ - يتم فتح الصمام الرئيس وتشغيل المضخة للنظام وضبط ضغط التشغيل على الضغط المتبع في النظام. وبعد ثبات الضغط والتأكد من خلو الخطوط الفرعية من الهواء. يتم قياس التصرف الخارج من أربعة منقطات على الأقل (منقط على كل خط فرعي) عند ضغط التشغيل وتسجيل التصرف المتوسط لتلك المنقطات ومقارنته مع التصرف الأسمي للمنقطات. كما يتم تسجيل الضغط عند بداية ونهاية كل خط فرعي.

٤- توضع أوعية التجميع كلاً في موضعه بالقرب من المنقطات التي تم إختيارها للتقييم، وأوعية التجميع مماثلة للمستخدمة في تقييم الري بالرش أسطوانية الشكل وغالبا يتراوح قطرها من ٧-١٠ سم وارتفاعها

١٠-١٥ سم، وتستخدم هذه الأوعية عندما تكون المسافة بين المنقطات على الخط ٢٥ سم أو أكثر، بينما في حالة المسافات بين المنقطات الأصغر من ٢٥ سم تستعمل أوعية تجميع مستطيلة طول الوعاء متر وبعرض حوالي ١٠ سم ويتم التجميع من عدة منقطات للوعاء الواحد.

٥- يجب توفر أربعة عمال كل عامل يقف عند أول وعاء في كل خط، وبعد التأكد من انتظام الضغط يعطي المهندس القائم بالتقييم الإشارة للعمل ليبدأ كل منهم بوضع الوعاء أسفل المنقط الأول ثم يذهب للذي يليه ويضع الوعاء أسفل المنقط التالي حتى ينتهي من وضع الأوعية العشرة كلاً أسفل منقط (الشكل رقم ٩,١٩)، وعند إعطاء إشارة البداية يقوم المهندس بتشغيل ساعة إيقاف، ويعود العمال إلى موضع البداية أثناء تشغيل النظام، وبعد فترة زمنية تتراوح بين ٢ إلى ٥ دقائق حسب التصرف الأسمي للمنقطات وسعة وعاء التجميع تسمح بتجميع حجوم مناسبة (الشكل رقم ٩,٢٠)، يعطي المهندس إشارة أخرى للعمال وعندها يسحب كل عامل الوعاء من أسفل المنقط بحرص شديد ويضعه بالقرب من المنقط وبعيداً عن فوهة التنقيط ويذهب للوعاء التالي ويسحبه بنفس الطريقة حتى يتم سحب آخر وعاء في الخط.

الشكل رقم (٩,١٩). وضع أوعية التقييم في موضعها الصحيح.

(أ) خط التنقيط مرفوع بحوامل أثناء التجميع.

(ب) وعاء التجميع أسفل المنقط أثناء التجميع.

الشكل رقم (٢٠, ٩). تجميع المياه في الأوعية.

٦- يتم قياس الحجوم المتجمعة في أوعية التجميع وتسجيل هذه الحجوم في جدول معد سابقاً، ويفضل أن يكون هناك عمود بعد العمود الذي يمثل رقم الوعاء يوضح موضع المنقط (البعد عن بداية الخط). ويمكن إجراء التقييم على تلك الحجوم مباشرة أو بعد تحويلها إلى تصرفات حيث إن زمن التجميع ثابت ومعلوم أو بعد تحويلها. ويفضل التعامل مع الحجوم للتسهيل.

٧- نحسب متوسط الحجوم أو متوسط التصرفات المتجمعة من المنقطات (٤٠ منقط).

٨- نحسب معاملات التقييم السابقة الذكر.

(٩,١٠) أمثلة محلولة

المثال رقم (٩,١)

إذا كان تصرف المياه من المصدر وهو قناة مائية مكشوفة ١٢٠ لتر/ ث وكان التصرف الذي يصل ويضاف إلى الحقل ٨٠ لتر/ ث. احسب كفاءة نقل المياه.

الحل

$$D_g = 80\,\text{Lit/sec} \qquad D_r = 120\,\text{Lit/sec}$$

$$E_c = \frac{D_g}{D_r} \times 100 = \frac{80}{120} \times 100 = 66.7\,\%$$

وهذا يعني أن ٣٣,٣٪ من كمية المياه المنقولة من القناة الرئيسة فقدت بواسطة البخر أو التسرب من قاع وجوانب قنوات النقل، ولرفع هذه الكفاءة يجب منع التسرب بتبطين القنوات أو منع البخر بنقل المياه عبر أنابيب.

المثال رقم (٩,٢)

إذا كان تصرف المياه الذي يصل إلى الحقل ٨٠ لتر/ ث وزمن الري ٦ ساعات، والجريان السطحي ٣٢٠ م^3 وفاقد البخر أثناء الري ١١٢ م^3، ولا يوجد تسرب عميق تحت منطقة الجذور. احسب كفاءة إضافة المياه.

الحل

$$D_g = 80\,\text{Lit/sec} \qquad T_i = 6\,\text{hr} \qquad R_o = 320\,\text{m}^3$$
$$D_p = 0 \qquad E_v = 112\,\text{m}^3$$

يجب تحويل التصرف المضاف الذي يصل للحقل إلى وحدات حجم حتى يتناسب مع المعطيات الأخرى

$$D_g = 80\,\text{Lit/sec} = \frac{80}{1000} \times 3600 \times 6 = 1728\,\text{m}^3$$

$$D_n = D_g - \left(R_o + D_p + E_v\right) = 1728 - (320 + 0 + 112) = 1296\,\text{m}^3$$

$$E_a = \frac{D_n}{D_g} \times 100 = \frac{1296}{1728} \times 100 = 75\,\%$$

المثال رقم (٩,٣)

في نظام ري بالرش إذا كان العمق الخارج من الرشاشات في الرية يعادل ٩٠ مم، والفاقد ببعثرة الرياح ٧ مم، وفاقد البخر أثناء الري ٦ مم، والفاقد بالجريان السطحي ٣ مم، وفاقد التسرب العميق أسفل منطقة الجذور ٤ مم. احسب كفاءة إضافة المياه.

الحل

$D_g = 85\,mm$ $L_w = 11\,mm$ $E_v = 8\,mm$

$R_o = 7\,mm$ $D_p = 9\,mm$

نحسب عمق الماء الذي يخزن في منطقة الجذور

$$D_n = D_g - (R_o + D_p + E_v + L_w) = 90 - (3+4+6+7) = 70\,mm$$

كفاءة الإضافة

$$E_a = \frac{D_n}{D_g} \times 100 = \frac{70}{90} \times 100 = 78\%$$

المثال رقم (٤ , ٩)

تربة لومية رملية متوسط الرطوبة الحجمية عند السعة الحقلية لها ٢٥٪ مزروع بها محصول عمق قطاع الجذور له ٤٥ سم، فإذا تم تقسيم قطاع منطقة الجذور إلى ثلاثة قطاعات وتم قياس نسبة الرطوبة الحجمية بكل قطاع باستخدام التنشيومتر قبل وبعد الري ورصدت النتائج في الجدول التالي:

عمق قطاع التربة (سم)	٠ – ١٥	١٥ – ٣٠	٣٠ – ٤٥
الرطوبة الحجمية قبل الري (٪)	٩	١٢	١٥
الرطوبة الحجمية بعد الري (٪)	٢٤	٢١	١٨

احسب كفاءة التخزين المائي.

الحل

حساب عمق الماء المخزن فعليا في كل قطاع من قطاعات التربة لمنطقة الجذور

$$D_{n1} = (\theta_{V2} - \theta_{V1})_1 \times D_{rz1} = (0.24 - 0.09) \times 15 = 2.25\,cm$$

$$D_{n2} = (\theta_{V2} - \theta_{V1})_2 \times D_{rz2} = (0.21 - 0.12) \times 15 = 1.35\,cm$$

$$D_{n3} = (\theta_{V2} - \theta_{V1})_3 \times D_{rz3} = (0.18 - 0.15) \times 15 = 0.45\,cm$$

عمق الماء المخزن فعليا في كل منطقة الجذور

$$D_n = D_{n1} + D_{n2} + D_{n3} = 2.25 + 1.35 + 0.45 = 4.05\,cm$$

حساب عمق الماء المطلوب تخزينه لاستهلاك النبات قبل الري في كل قطاع من قطاعات التربة لمنطقة الجذور

$$D_{c1} = (\theta_{VF} - \theta_{V1})_1 \times D_{rz1} = (0.25 - 0.09) \times 15 = 2.40\ cm$$

$$D_{c2} = (\theta_{VF} - \theta_{V1})_2 \times D_{rz2} = (0.25 - 0.12) \times 15 = 1.95\ cm$$

$$D_{c3} = (\theta_{VF} - \theta_{V1})_3 \times D_{rz3} = (0.25 - 0.15) \times 15 = 1.50\ cm$$

عمق الماء المطلوب تخزينه لاستهلاك النبات قبل الري في منطقة الجذور

$$D_c = D_{c1} + D_{c2} + D_{c3} = 2.40 + 1.95 + 1.50 = 5.85\ cm$$

كفاءة التخزين المائي

$$E_s = \frac{D_n}{D_c} \times 100 = \frac{4.05}{5.85} \times 100 = 69.2\%$$

المثال رقم (٥ , ٩)

تربة رملية مزروع بها محصول الاستهلاك المائي اليومي له ٨ مم/ يوم، والفترة بين الريات ٥ أيام. فإذا كان أجمالي الماء المستنزف من القطاع الأرضي خلال الفترة بين الريات ٨٠ مم. احسب كفاء الاستهلاك المائي.

الحل

$$ET_c = 8\ mm/day \qquad II = 5\ day \qquad (ET_c + D_p) = 80\ mm$$

الاستهلاك المائي خلال الفترة بين الريات

$$ET_c = 8\ mm/day = 8 \times 5 = 40\ mm$$

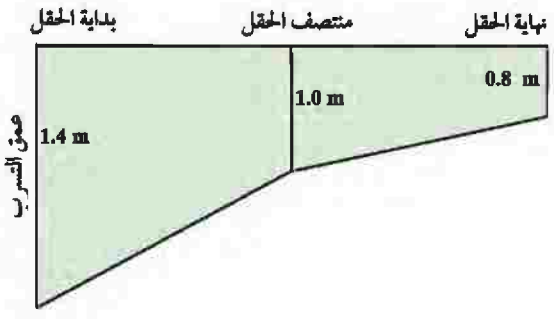
كفاءة الاستهلاك المائي

$$E_{cu} = \frac{ET_c}{(ET_c + D_p)} \times 100 = \frac{40}{80} \times 100 = 50\%$$

المثال رقم (٦ , ٩)

في حقل مروي بنظام ري سطحي وجد أن المياه تعمقت في التربة لعمق ١ , ٤ م عند بداية الحقل، بينما تعمقت فقط لعمق ١ , ٠ م عند وسط الحقل و ٠ , ٨ م عند نهاية الحقل. احسب كفاءة توزيع الماء خلال قطاع التربة.

الحل



متوسط عمق الماء المضاف للتربة في منطقة الجذور

$$\bar{d} = \frac{1.4 + 1.0 + 0.8}{3} = 1.07\ \text{m}$$

متوسط الانخفاض المطلق عن متوسط عمق الماء المضاف

$$\bar{y} = \frac{(1.4 - 1.07) + (1.07 - 1.0) + (1.07 - 0.8)}{3} = 0.22\ \text{m}$$

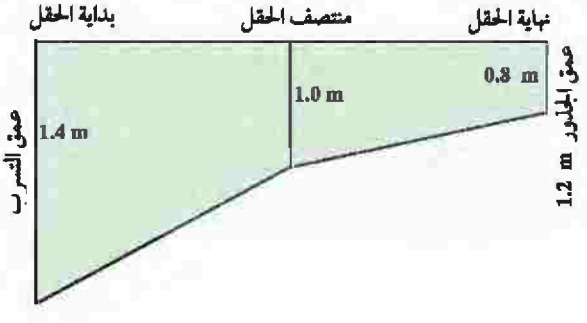
كفاء توزيع الماء خلال قطاع التربة

$$E_d = \left(1 - \frac{\bar{y}}{\bar{d}}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{0.22}{1.07}\right) \times 100 = 79.1\%$$

المثال رقم (٧, ٩)

في المثال السابق إذا كان عمق الجذور ١,٢ م، احسب كفاءة التخزين؟

الحل



مساحة قطاع منطقة الجذور المخزن به ماء

$$A_w = \left(1.2 \times \frac{L}{4}\right) + \left(\frac{1.2+1.0}{2} \times \frac{L}{4}\right) + \left(\frac{1.0+0.8}{2} \times \frac{L}{2}\right) = 1.025\ L$$

مساحة قطاع منطقة الجذور المطلوب تخزين الماء بها

$$A_z = 1.2 \times L = 1.2\ L$$

كفاءة التخزين المائي

$$E_s = \frac{A_w}{A_z} \times 100 = \frac{1.025\ L}{1.2\ L} \times 100 = 85.4\%$$

المثال رقم (٨, ٩)

عند تقييم نظام ري بالرش تقليدي ثابت المسافة بين الرشاشات به ٩ م، والمسافة بين الخطوط ١٥ م، وتصرف الرشاش ١ , ١ م^3/ ساعة. عند تشغيل النظام لمدة ساعة ونصف كانت حجوم المياه المتجمعة في علب التجميع (سم^3) هي:

٨٨	٩٠	٨٢	٨١
٧٦	٨١	٧٠	٧٣
٧٥	٨٤	٨٥	٦٧
٦٦	٦٤	٦٠	٥٨

فإذا علمت أن قطر علبة التجميع ١٠ سم.

احسب: معدل الإضافة R_a، معامل الانتظامية C_u، معامل الانتظامية في الربع الأقل D_u، الكفاءة الفعلية لإضافة المياه E_a، كفاءة إضافة المياه في الربع الأقل PELQ، نسبة الفاقد بالبخر وبعثرة الرياح E.

الحل

$S_S = 9\ m$, $S_L = 15\ m$, $Q_{SP} = 1.1\ m^3/hr$, $T = 1.5\ hr$
$R_a = ?$, $C_u = ?$, $D_u = ?$, $E_a = ?$, $PELQ = ?$, $E = ?$

أولاً: نحسب متوسط الحجم المتجمع في أوعية التجميع

$$\sum X_i = 88+90+82+81+76+81+70+73+75+84+85+67+66+64+60+58 = 1200\ cm^3$$

$$n = 16$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{1200}{16} = 75\ cm^3$$

ثانياً: نحسب انحراف كل حجم متجمع عن متوسط الحجم المتجمع المحسوب سابقاً (٧٥ سم٣) دون أخذ الإشارة في الاعتبار أي الفرق المطلق بين العمق المتجمع وبين المتوسط $\left|X_i-\overline{X}\right|$:

٦	٧	١٥	١٣
٢	٥	٦	١
٨	١٠	٩	صفر
١٧	١٥	١١	٩

نحسب مجموع الانحراف عن المتوسط

$$\Sigma\left|X_i-\overline{X}\right|=13+15+7+6+1+6+5+2+0+9+10+8+9+11+15+17=134\ cm^3$$

ثالثاً: نحسب معامل الانتظامية C_u

$$C_u=\left(1-\frac{\sum_{i=1}^{i=n}\left|X_i-\overline{X}\right|}{n\times\overline{X}}\right)\times100=\left(1-\frac{134}{16\times75}\right)\times100=88.83\%$$

نحسب متوسط حجم المياه المتجمع في الربع الأقل (d): بالبحث عن أقل أربعة حجوم متجمعة، ونحسب متوسطها والسبب في أخذ أقل أربع حجوم هو أن عدد الحجوم الكلية ١٦ فيكون الربع لها هو أربعة (٤) حجوم

$$d=\frac{58+60+64+66}{4}=62\ cm^3$$

رابعاً: نحسب معامل التوزيع D_u

$$D_u=\frac{d}{\overline{X}}\times100=\frac{62}{75}\times100=82.67\%$$

نحسب معدل الإضافة R_a

$$R_a=\frac{Q_{SP}}{S_L\times S_S}=\frac{1.1}{9\times15}\times1000=8.15\ mm/hr$$

نحسب عمق الماء المضاف D_g

$$D_g=R_a\times T_i=8.15\times1.5=12.22\ mm$$

ويجب تحويل هذا العمق المضاف بما يعادله من حجم بضرب هذا العمق × مساحة وعاء التجميع.

$$\left(D_g\right)_{Volume}=\left(D_g\right)_{depthe}\times A_{Can}=\frac{12.22}{10}\times\frac{\pi}{4}(10)^2=95.94\ cm^3$$

خامساً: كفاءة إضافة المياه (E_a)

$$E_a = \frac{D_n}{D_g} \times 100 = \frac{\overline{X}}{D_g} \times 100 = \frac{75}{95.94} \times 100 = 78.17\%$$

كفاءة إضافة المياه الممكنة في الربع الأقل (PELQ)

$$PELQ = \frac{d}{D_g} \times 100 = \frac{62}{95.94} \times 100 = 64.62\%$$

فاقد التبخر (E)

$$E = \frac{D_g - \overline{X}}{D_g} \times 100 = \frac{95.94 - 75}{95.94} \times 100 = 21.83\%$$

المثال رقم (٩ , ٩)

من واقع تجربة حقلية لتقييم نظام ري بالرش تقليدي ثابت المسافات البينية بين الرشاشات به ١٢ × ١٢م. التصرف المتوسط للرشاشات ٣٠ لتر/ دقيقة. والتربة لومية القوام ولها معدل تسرب نهائي يساوي ١,٣ سم/ ساعة. تم وضع علب تجميع ذات قطر يساوي ١٠سم على مسافات متساوية تساوي ٢ م، وبذلك تم وضع ٣٦ علبة تجميع بين أربع رشاشات وسطية في النظام. وعند تشغيل النظام لمدة ٧٥ دقيقة كانت حجوم المياه المتجمعة في علب التجميع (سم٣) كالتالي:

٩٠	٧٧	٨٩	٧٦	١٠٤	١٠٠
٨٣	٨٠	٩١	٦٨	٨٨	٧٨
٨٠	١٠٠	٧٠	٦٥	٨٦	٨٤
٧٥	١٠٥	٧٦	٩٤	٩٠	٨٩
٩٣	٩٢	٧٠	١٠٢	٨٧	٩٠
٨٨	٨٨	٨٥	٩٧	٦٩	٩٧

احسب: معدل الإضافة R_a، معامل الانتظامية C_u، معامل الانتظامية في الربع الأقل D_u، الكفاءة الفعلية لإضافة المياه E_a، كفاءة إضافة المياه في الربع الأقل PELQ، نسبة الفاقد بالبخر وبعثرة الرياح E

الحل

نضع البيانات في صورة جدول لتسهيل الحسابات. ونسجل رقم الوعاء في العمود الأول. ونسجل حجم الماء المتجمع V_i في وعاء التجميع (سم٣) في العمود الثاني.

(١) رقم الوعاء	(٢) الحجم المتجمع V_i (cm^3)	(٣) الانحراف عن المتوسط (cm^3) $\lvert V_i - \bar{V} \rvert$	(٤) ترتيب الحجوم تصاعديا Vi Sort (cm^3)
١	٩٠	٤	٦٥
٢	٨٣	٣	٦٨
٣	٨٠	٦	٦٩
٤	٧٥	١١	٧٠
٥	٩٣	٧	٧٠
٦	٨٨	٢	٧٥
٧	٧٧	٩	٧٦
٨	٨٠	٦	٧٦
٩	١٠٠	١٤	٧٧
١٠	١٠٥	١٩	
١١	٩٢	٦	
١٢	٨٨	٢	
١٣	٨٩	٣	
١٤	٩١	٥	
١٥	٧٠	١٦	
١٦	٧٦	١٠	
١٧	٧٠	١٦	
١٨	٨٥	١	
١٩	٧٦	١٠	
٢٠	٦٨	١٨	
٢١	٦٥	٢١	
٢٢	٩٤	٨	
٢٣	١٠٢	١٦	
٢٤	٩٧	١١	
٢٥	١٠٤	١٨	
٢٦	٨٨	٢	
٢٧	٨٦	صفر	
٢٨	٩٠	٤	
٢٩	٨٧	١	
٣٠	٦٩	١٧	
٣١	١٠٠	١٤	
٣٢	٧٨	٨	
٣٣	٨٤	٢	
٣٤	٨٩	٣	
٣٥	٩٠	٤	
٣٦	٩٧	١١	
المجموع	٣٠٩٦	٣٠٨	٦٤٦

نجمع مجموع الحجوم المتجمعة في نهاية العمود الثاني:

$$\Sigma V_i = 3096\ cm^3$$

نحسب متوسط الحجم المتجمع $\overline{V}$ بالقسمة على عدد الأوعية

$$\overline{V} = \frac{\Sigma V_i}{n} = \frac{3096}{36} = 86\ cm^3$$

نحسب الفرق المطلق بين كل حجم متجمع عن المتوسط $|V_i - \overline{V}|$ ونسجل القيم في العمود الثالث

$$|V_1 - \overline{V}| = |90 - 86| = 4 \qquad |V_2 - \overline{V}| = |83 - 86| = 3$$

وهكذا لباقي الحجوم.

نجمع مجموع الفروق في نهاية العمود الثالث:

$$\Sigma |V_i - \overline{V}| = 308\ cm^3$$

نحسب معامل الانتظامية C_u مع ملاحظة أننا يمكننا أن نتعامل مع الحجوم في المعادلة أو الأعماق فالنتيجة واحدة

$$Cu = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{i=n} |X_i - \overline{X}|}{n \cdot \overline{X}}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{i=n} |V_i - \overline{V}|}{n \cdot \overline{V}}\right) \times 100$$

$$Cu = \left(1 - \frac{308}{36 \times 86}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{308}{3096}\right) \times 100 = 90.5\%$$

نرتب الحجوم ترتيبا تصاعدياً ونضع القيم في العمود الرابع

نحدد الربع الأقل:

$$\frac{n}{4} = \frac{36}{4} = 9$$

نجمع أقل تسعة حجوم متجمعة ونسجل القيمة في نهاية العمود الرابع.

نحسب متوسط حجوم المياه المتجمعة في الربع الأقل d.

$$d = \frac{646}{9} = 71.78\ cm^3$$

نحسب معامل الانتظامية في الربع الأقل D_u مع ملاحظة التعامل مع الحجوم في المعادلة أو الأعماق فالنتيجة واحدة

$$D_u = \frac{d}{X} \times 100 = \frac{71.78}{86} \times 100 = 83.5\%$$

تصرف الرشاش

$$Q_{sp} = 30\,L/min = 30 \times 60/1000 = 1.8\,m^3/hr$$

نحسب معدل الإضافة

$$R_a = \frac{Q_{SP}}{S_L \times S_S} = \frac{1.8}{12 \times 12} \times 1000 = 12.5\,mm/hr$$

وحيث إن التربة لومية لها $I_f = 13\,mm/hr$ إذاً $R_a < I_f$ وعليه يصبح التصرف الناتج من الرشاش مناسب لهذه التربة مع هذه المسافات المستعملة بين الرشاشات.

نحسب عمق الماء المضاف الكلي

$$D_g = R_a \times T = 12.5 \times \frac{75}{60} = 15.625\,mm$$

لحساب كفاءة الإضافة لابد أن يكون عمق الماء المضاف بنفس وحدات متوسط الحجوم، ولذلك لابد من تحويل عمق الماء المضاف إلى ما يكافئ وحدة حجم أي نتعامل مع حجم الماء المضاف وذلك بالضرب في مساحة علبة التجميع:

نحسب مساحة وعاء التجميع:

$$A_{can} = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi}{4} \times 10^2 = 78.54\,cm^2$$

نحسب الحجم المضاف الكلي:

$$V_g = D_g \times A_{can} = \frac{15.625}{10} \times 78.54 = 122.72\,cm^3$$

نحسب كفاءة الإضافة (Ea):

$$E_a = \frac{\overline{X}}{D_g} \times 100 = \frac{86}{122.72} \times 100 = 70\%$$

نحسب كفاءة الإضافة في الربع الأقل (PELQ):

$$PELQ = \frac{d}{D_g} \times 100 = \frac{71.78}{122.72} \times 100 = 58.5\%$$

فاقد التبخر وبعثرة الرياح (E):

$$E = (1 - E_a) \times 100 = (1 - 0.70) \times 100 = 30\%$$

المثال رقم (١٠, ٩)

عند تقييم نظام ري بالرش تقليدي ثابت المسافة بين الرشاشات به ٩م، والمسافة بين الخطوط ١٢م، وتصرف الرشاش ١٨ , ٠ لتر/ ث. عند تشغيل النظام لمدة ساعة ونصف كانت أعماق المياه المتجمعة في علب التجميع (مم) هي:

٦,٦	٧,٧	٤,٥	٥,٠
٨,١	٧,٨	٦,٣	٦,١
٧,٠	٨,٣	٥,٨	٦,٠

فإذا علمت أن قطر علبة التجميع ١٠ سم. احسب:

معدل الإضافة R_a، معامل الانتظامية C_u، معامل الانتظامية في الربع الأقل D_u، كفاءة الإضافة E_a، كفاءة إضافة المياه في الربع الأقل PELQ، نسبة الفاقد بالبخر وبعثرة الرياح E.

الحل

$S_S = 12\ m$, $Q_{SP} = 0.42\ L/s$, $S_L = 12\ m$, $T = 45\ min$

$R_a = ?$, $C_u = ?$, $D_u = ?$, $E_a = ?$, $PELQ = ?$, $E = ?$

أولاً: نحسب متوسط العمق المتجمع للبيانات المتاحة

$$\sum X_i = 6.6+7.7+4.5+5.0+8.1+7.8+6.3+6.1+7.0+8.3+5.8+6.0 = 79.2\ mm$$

$$n = 12$$

$$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{79.2}{12} = 6.6\ mm$$

ثانياً: نحسب انحراف كل عمق متجمع عن متوسط العمق المتجمع $|X_i - \overline{X}|$ المحسوب سابقاً (٦٦مم) دون اعتبار الإشارة أي الفرق المطلق بين العمق المتجمع وبين المتوسط:

١,٦	٢,١	١,١	صفر
٠,٥	٠,٣	١,٢	١,٥
٠,٩	٠,٨	١,٧	٠,٤

نحسب مجموع الانحراف عن المتوسط

$$\Sigma\left|X_i-\overline{X}\right|=0+1.1+2.1+1.6+1.5+1.2+0.3+0.5+0.4+1.7+0.8+0.6=11.8\ mm$$

ثالثاً: نحسب معامل الانتظامية C_u

$$C_u=\left(1-\frac{\sum_{i=1}^{i=n}\left|X_i-\overline{X}\right|}{n\times\overline{X}}\right)\times100=\left(1-\frac{11.8}{12\times6.6}\right)\times100=85.1\%$$

نحسب متوسط حجم المياه المتجمع في الربع الأقل (d): أي البحث عن أقل القيم ونأخذ أقل ثلاثة حجوم ونحسب متوسطها والسبب في أخذ أقل ثلاثة حجوم هو أن عدد الحجوم الكلية ١٢ فيكون الربع لها هو ثلاثة حجوم

$$d=\frac{4.5+5.0+5.8}{3}=5.1\ mm$$

رابعاً: نحسب معامل انتظامية التوزيع في الربع الأقل D_u

$$D_u=\frac{d}{\overline{X}}\times100=\frac{5.1}{6.6}\times100=77.3\%$$

نحسب معدل الإضافة R_a

$$R_a=\frac{Q_{SP}}{S_L\times S_S}=\frac{0.18}{12\times9}\times3600=6\ \ mm/hr$$

نحسب عمق الماء المضاف Dg:

$$D_g=R_a\times T_i=6\times1.5=9\ mm$$

لا نحتاج لمساحة علبة التجميع؛ لأن البيانات المعطاة بيانات أعماق وبالتالي لا نحتاج لعمل أي تحويل.

خامساً: كفاءة إضافة المياه (Ea)

$$E_a=\frac{D_n}{D_g}\times100=\frac{\overline{X}}{D_g}\times100=\frac{6.6}{9}\times100=73.33\%$$

كفاءة إضافة المياه الممكنة في الربع الأقل (PELQ):

$$PELQ=\frac{d}{D_g}\times100=\frac{5.1}{9}\times100=56.67\%$$

فاقد التبخر وبعثرة الرياح (E):

$$E=\frac{D_g-\overline{X}}{D_g}\times100=\frac{9-6.6}{9}\times100=26.67\%$$

المثال رقم (١١ , ٩)

في تجربة تقييم نظام ري بالرش ثابت كانت الأعماق المتجمعة (سم) كالتالي:

٤,٥	٥,٢	٤,٨	٤,٩	٣,٩	٣,٥	٤,٧	٣,٧	٥,٤	٣,٣
٥,١	٣,٩	٤,٦	٤,٤	٤,٨	٥,٢	٤,٢	٣,٨	٣,٦	٤,٥

احسب: معامل الانتظامية، ومعامل الانتظامية في الربع الأقل، ومستوى الكفاية.

الحل

يتم وضع الأعماق في جدول لسهولة الحل واجراء الخطوات الحسابية التالية:

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)
رقم الوعاء	عمق الماء المتجمع (سم)	فرق العمق عن المتوسط	ترتيب الأعماق تنازلياً	نسبة المساحة ٪	نسبة المساحة التجميعية ٪
١	٤,٥	٠,١٠	٥,٤	٥	٥
٢	٥,٢	٠,٨٠	٥,٢	٥	١٠
٣	٤,٨	٠,٤٠	٥,٢	٥	١٥
٤	٤,٩	٠,٥٠	٥,١	٥	٢٠
٥	٣,٩	٠,٥٠	٤,٩	٥	٢٥
٦	٣,٥	٠,٩٠	٤,٨	٥	٣٠
٧	٤,٧	٠,٣٠	٤,٨	٥	٣٥
٨	٣,٧	٠,٧٠	٤,٧	٥	٤٠
٩	٥,٤	١,٠٠	٤,٦	٥	٤٥
١٠	٣,٣	١,١٠	٤,٥	٥	٥٠
١١	٥,١	٠,٧٠	٤,٥	٥	٥٥
١٢	٣,٩	٠,٥٠	٤,٤	٥	٦٠
١٣	٤,٦	٠,٢٠	٤,٢	٥	٦٥
١٤	٤,٤	٠,٠٠	٣,٩	٥	٧٠
١٥	٤,٨	٠,٤٠	٣,٩	٥	٧٥
١٦	٥,٢	٠,٨٠	٣,٨	٥	٨٠
١٧	٤,٢	٠,٢٠	٣,٧	٥	٨٥
١٨	٣,٨	٠,٦٠	٣,٦	٥	٩٠
١٩	٣,٦	٠,٨٠	٣,٥	٥	٩٥
٢٠	٤,٥	٠,١٠	٣,٣	٥	١٠٠
المجموع	٨٨,٠٠	١٠,٦	٨٨,٠٠	١٠٠	

العمود (١): رقم الوعاء من واحد إلى عشرين حيث عدد الأوعية الكلية عشرين.

العمود (٢): الأعماق المتجمعة (سم) كما اعطت في السؤال. والصف الأخير في العمود يمثل مجموع الأعماق (٨٨ سم)، وبالقسمة على عدد الأوعية (٢٠) نحسب متوسط الأعماق المتجمعة (٤ , ٤ سم).

العمود (٣): نحسب فرق كل عمق عن متوسط الأعماق المتجمعة (٤ , ٤سم)، والصف الأخير يمثل مجموع هذه الفروق (٦ , ١٠ سم).

العمود (٤): ترتيب الأعماق تنازلياً وليس تصاعدياً كما في حالة حساب معامل الانتظامية في الربع الأقل لأننا نريد أيضاً حساب مستوى الكفاية الذي يتطلب الترتيب في صورة تنازلية، ويكون الربع الأقل هو الربع الأسفل في هذا العمود، ونحسب متوسط أخر خمسة أعماق في هذا العمود، فيكون متوسط العمق الأقل (٥٨ , ٣ سم).

العمود (٥): يمثل نسبة مساحة كل وعاء من الأوعية الكلية، واحد إلى عشرين، أي (٥ ٪). ويجب أن يكون مجموع هذه النسب ١٠٠٪.

العمود (٦): نسبة المساحة التجميعية عند كل عمق، فأول قيمة في العمود تعني أن نسبة المساحة لعمق ٤ , ٥ سم أو أكبر (٥٪)، وثاني قيمة تعني أن نسبة المساحة لعمق ٢ , ٥ أو أكبر (١٠٪) وهكذا. وأخر قيمة في العمود عند أدنى عمق لابد أن تكون (١٠٠٪).

حساب معامل الانتظامية C_u

$$C_u = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{i=n} |X_i - \overline{X}|}{n \times \overline{X}}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{10.6}{20 \times 4.4}\right) \times 100 = 88\%$$

حساب معامل انتظامية التوزيع في الربع الأقل D_u

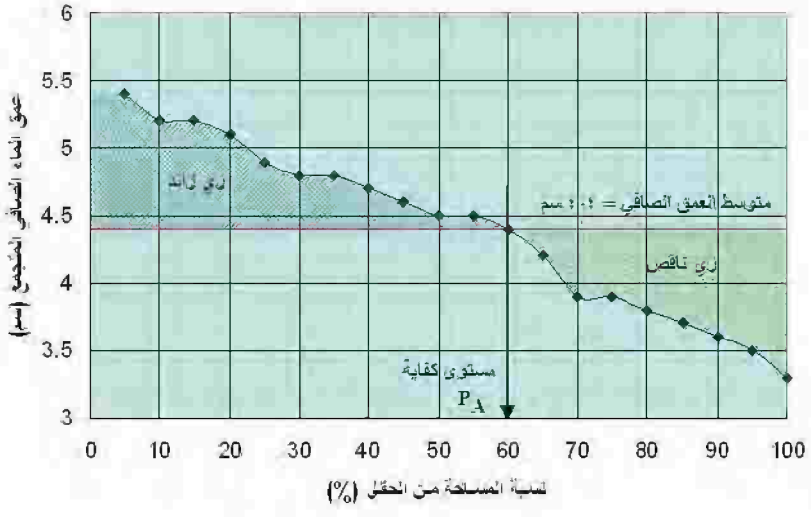
$$D_u = \frac{d}{\overline{X}} \times 100 = \frac{3.58}{4.4} \times 100 = 81.4\%$$

حساب مستوى الكفاية عند عمق متوسط ٤ , ٤ سم

نرسم العلاقة بين نسبة المساحة التراكمية (العمود ٦) كمحور أفقي مع العمق التجميعي (العمود ٤) كمحور رأسي. ومن المنحنى الناتج فاللعمق المتوسط المتجمع (٤ , ٤ سم) نحدد نسبة المساحة التراكمية وهي التي تمثل مستوى الكفاية (٦٠٪) كما موضح بالشكل التالي.

$$P_A = 60\%$$

أي أن ٦٠٪ من مساحة الحقل حصلت على العمق المطلوب ٤ , ٤ سم أو أكثر منه.



المثال رقم (١٢ , ٩)

أثناء تقييم نظام رش تقليدي ثابت الرشاشات فيه على مسافات ١٨×١٨ متر كانت أعماق المياه المتجمعة في العلب كالتالي:

×	٥,١	٦,٣	٤,٩	٥,٦	٧,٠	×
٦,٣	٤,٠	٥,٦	٤,٧	٤,٧	٧,٧	٦,٧
٦,٨	٥,٨	٤,٢	٦,٤	٧,٠	٦,٩	٦,٦
٥,٢	٤,٩	٦,٠	٧,٥	٦,٣	٦,٠	٥,٢
٥,٢	٥,٧	٦,٣	٧,٢	٦,٦	٦,٢	٥,٢
٨,١	٧,٩	٧,٤	٦,١	٥,٠	٥,٩	٦,٢
×	٤,٨	٥,٨	٥,٤	٥,٧	٥,٩	×

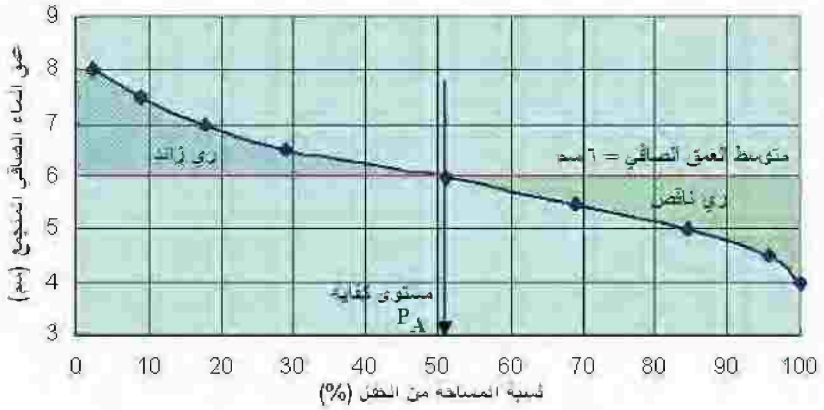
ارسم العلاقة بين العمق الصافي المتجمع ونسبة المساحة المروية، وحدد نسبة المساحة المروية بكفاية.

الحل

لإيجاد مستوى الكفاية يمكن اتباع نفس الخطوات في المثال السابق ولكن ستكون الحسابات طويلة حيث إن عدد الأوعية والأعماق المتجمعة (٤٥) ولذلك يفضل تجميع هذه الحجوم في حزم أو مجموعات، وبالتالي يكون منحنى المساحة التراكمية لهذه المجموعات ويقل العدد عن (٤٥) نقطة، وبالنظر إلى بيانات الأعماق نجد أن أقل عمق هو ٤,٠ سم وأكبر عمق متجمع ٨,١ سم، وبالتالي تكون المجموعات المختارة والتي تحصر جميع الأعماق هي ٨,٥-٨,٠ ، ٨,٠-٧,٥ ، ٧,٥-٧,٠ ، ..... ، ٤,٥-٤,٠ . أي تسعة مجموعات بدلاً من ٤٥ عميق، فعلى سبيل المثال نجد أن ٣ أعماق أي ٣ تكرارات تقع في الشريحة من ٨-٧,٥ وهي ٧,٥ ، ٧,٧ ، ٧,٩ سم، وهكذا لباقي الشرائح، ويتم وضع النتائج في الجدول التالي:

عمق الماء المتجمع	التكرار	نسبة المساحة الى المساحة الكلية	نسبة المساحة التراكمية الى المساحة الكلية	العمق المتجمع أو أكبر من
٨,٥-٨	١	٢,٢٢	٢,٢٢	٨
٨-٧,٥	٣	٦,٦٧	٨,٨٩	٧,٥
٧,٥-٧	٤	٨,٨٩	١٧,٧٨	٧
٧-٦,٥	٥	١١,١١	٢٨,٨٩	٦,٥
٦,٥-٦	١٠	٢٢,٢٢	٥١,١١	٦
٦-٥,٥	٨	١٧,٧٨	٦٨,٨٩	٥,٥
٥,٥-٥	٧	١٥,٥٦	٨٤,٤٤	٥
٥-٤,٥	٥	١١,١١	٩٥,٥٦	٤,٥
٤,٥-٤	٢	٤,٤٤	١٠٠	٤
المجموع	٤٥	١٠٠		

نرسم العلاقة بين المساحة التراكمية والعمق المتجمع، وعند الشريحة الوسطى ٦,٥-٦ التي تمثل العمق المتجمع ٦ سم أو أكثر تكون كفاية الري ٥١٪ كما مبين بالشكل التالي.



المثال رقم (١٣ , ٩)

نظام ري محوري يتكون من ٤ مسافات، طول المسافة الواحدة ٤٨ م، لتقييم أداء هذا النظام تم وضع صف من أوعية التجميع بحيث كانت المسافة بين الأوعية ٦ م، وتم تشغيل النظام لفترة نصف ساعة، فكانت الحجوم المتجمعة في كل وعاء هي كما موضح في العمود الثالث من الجدول التالي. فإذا علمت أن قطر وعاء التجميع ١٠ سم، وعمق الماء المضاف (Dg) ٥ مم. احسب كل من:

معامل الانتظامية Cu، معامل الانتظامية في الربع الأقل Du، كفاءة الإضافة Ea، كفاءة الإضافة في الربع الأقل PELQ، الفاقد بالبخر وبعثرة الرياح E.

الحل

توضيح خطوات الحل: نستكمل الجدول التالي المسجل فيه الأعمدة الثلاثة الأولى في الحقل للقيام بالحسابات المطلوبة

بيانات مسجلة في الحقل:

العمود الأول (Span No): رقم البرج

العمود الثاني (Can No): رقم وعاء التجميع وهو يمثل معامل الوزن (W_i) لأن المسافة بين الأوعية متساوية.

العمود الثالث (Volume): حجم الماء المتجمع داخل كل وعاء (سم٣).

بيانات مسجلة في الحقل:

العمود الأول (Span No): رقم البرج

العمود الثاني (Can No): رقم وعاء التجميع وهو يمثل معامل الوزن (W_i) لان المسافة بين الأوعية متساوية.

العمود الثالث (Volume): حجم الماء المتجمع داخل كل وعاء (سم٣).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Can	Volume	Depth	Weight	$\left\|\frac{X_i}{D_w}-1\right\|$	$W_i\left\|\frac{X_i}{D_w}-1\right\|$	Sorted	Can	Weight	Sum	Sum
Span	No	V	Xi	Depth			Depth	No	Depth	Can	Weight
No	Wi	(ml)	(mm)	Wi * Xi			Xi (mm)		Sort	No	Depth
1	1	18	2.29	2.29	0.38	0.38	2.16	2	4.32	2	4.32
	2	17	2.16	4.33	0.41	0.82	2.29	1	2.29	3	6.61
	3	29	3.69	11.08	0.00	0.01	2.29	14	32.06	17	38.67
	4	19	2.42	9.68	0.34	1.37	2.42	4	9.68	21	48.35
	5	22	2.80	14.01	0.24	1.19	2.67	6	16.02	27	64.37
	6	21	2.67	16.04	0.27	1.64	2.67	22	58.74	49	123.11
	7	24	3.06	21.39	0.17	1.18	2.74	30	82.2	79	205.31
	8	35	4.46	35.65	0.21	1.70	2.80	5	14	84	219.31
2	9	24	3.06	27.50	0.17	1.52	3.06	7	21.42	91	240.73
	10	31	3.95	39.47	0.07	0.74	3.06	9	27.54	100	268.27
	11	24	3.06	33.61	0.17	1.86	3.06	11	33.66	111	301.93
	12	28	3.57	42.78	0.03	0.36	3.18	16	50.88	127	352.81
	13	37	4.71	61.24	0.28	3.66	3.18	27	85.86	154	438.67
	14	18	2.29	32.09	0.38	5.27	3.18	28	89.04		
	15	31	3.95	59.21	0.07	1.11	3.31	29	95.99		
	16	25	3.18	50.93	0.13	2.15	3.44	23	79.12		
3	17	30	3.82	64.94	0.04	0.66	3.57	12	42.84		
	18	37	4.71	84.80	0.28	5.07	3.57	21	74.97		
	19	34	4.33	82.25	0.18	3.38	3.69	3	11.07		
	20	35	4.46	89.13	0.21	4.25	3.82	17	64.94		
	21	28	3.57	74.87	0.03	0.63	3.82	25	95.5		
	22	21	2.67	58.82	0.27	6.00	3.95	10	39.5		
	23	27	3.44	79.07	0.06	1.49	3.95	15	59.25		
	24	31	3.95	94.73	0.07	1.77	3.95	24	94.8		
4	25	30	3.82	95.49	0.04	0.98	4.07	26	105.82		
	26	32	4.07	105.93	0.11	2.82	4.33	19	82.27		
	27	25	3.18	85.94	0.13	3.62	4.33	32	138.56		
	28	25	3.18	98.13	0.13	3.75	4.46	8	35.68		
	29	26	3.31	96.00	0.10	2.88	4.46	20	89.2		
	30	21.5	2.74	82.12	0.26	7.66	4.71	13	61.23		
	31	40	5.09	157.88	0.39	11.95	4.71	18	84.78		
	32	34	4.33	138.53	0.18	5.68	5.09	31	157.79		
Σ=	528		112	1940.9		87.5					

بيانات محسوبة في المكتب:

العمود الرابع (depth): عمق الماء المتجمع داخل كل وعاء (X_i) (مم).

= حجم الماء المتجمع "العمود الثالث" ÷ مساحة مقطع الإناء

$$A_{can} = \frac{\pi}{4} \times 10^2 = 78.54\ cm^3$$

$$X_1 = \frac{V_1}{A_{can}} = \frac{18\ cm^3}{78.54\ cm^2} = 0.229\ cm = 2.29\ mm$$

$$X_2 = \frac{V_2}{A_{can}} = \frac{17\ cm^3}{78.54\ cm^2} = 0.216\ cm = 2.16\ mm$$

العمود الخامس (Weighted depth): العمق الموزون

= العمق المتجمع (Xi) "العمود الرابع" × معامل الوزن (Wi) "العمود الثاني"

أي أن معامل الوزن هو رقم الوعاء لأن المسافة بين الأوعية متساوية.

$$\text{Weight depth}_1 = X_1 \times W_1 = 2.29 \times 1 = 2.29 \text{ mm}$$

$$\text{Weight depth}_2 = X_2 \times W_2 = 2.16 \times 2 = 4.32 \text{ mm}$$

حساب متوسط العمق الموزون (Dw):

D_w = مجموع أرقام الأوعية / مجموع الأعماق الموزونة

= مجموع العمود الخامس / مجموع العمود الثاني

$$D_w = \frac{\Sigma(X_i \cdot W_i)}{\Sigma W_i} = \frac{1940.9}{528} = 3.676$$

العمود السادس $\left|\frac{X_i}{D_w} - 1\right|$: = (العمود الرابع / D_w) − ١ (قيمة مطلقة أي دون اعتبار الإشارة)

$$\left|\frac{X_1}{D_w} - 1\right| = \left|\frac{2.29}{3.676} - 1\right| = 0.38$$

$$\left|\frac{X_2}{D_w} - 1\right| = \left|\frac{2.16}{3.676} - 1\right| = 0.41$$

العمود السابع $\left|\frac{X_i}{D_w} - 1\right| \times W_i$: = العمود السادس × العمود الثاني

$$\left|\frac{X_1}{D_w} - 1\right| \times W_1 = 0.38 \times 1 = 0.38$$

$$\left|\frac{X_2}{D_w} - 1\right| \times W_2 = 0.41 \times 2 = 0.82$$

حساب معامل الانتظامية (C_u)

C_u = { ١ − (مجموع العمود السابع/ مجموع العمود الثاني)} × ١٠٠

$$C_u = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \left|\left(\frac{X_i}{D_w}\right) - 1\right|}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i}\right] \times 100 = \left[1 - \frac{87.5}{528}\right] \times 100 = 83.5\,\%$$

العمود الثامن: depth Sorted (X_i) وهو ترتيب الأعماق في العمود الرابع.

العمود التاسع: رقم الوعاء في العمود الثاني المقابل لقيمة العمق المرتب في العمود الرابع.

العمود العاشر: العمق الموزون للأعماق المرتبة = العمود الثامن × العمود التاسع.

العمود الحادي عشر: معامل الوزن (رقم الوعاء) التجميعي لأرقام الأوعية

= تجميع للعمود التاسع من أول رقم إلى الرقم في نفس السطر.

العمود الثاني عشر: العمق التجميعي للعمق الموزون للأعماق المرتبة

= تجميع للعمود العاشر من أول عمق إلى العمق في نفس السطر.

الربع الأقل: ليس لربع عدد الأوعية الـ ٣٢ أي ٨ بل لربع مجموعهم الـ ٥٢٨ أي يساوي (٥٢٨/ ٤=١٣٢)

نبحث في العمود الحادي عشر عن رقم ١٣٢ أو أقرب رقم له، فنجد أن رقم ١٢٧ هو الأقرب له.

لا نحتاج إلى تكملة خانة العمود الحادي عشر طالما وصلنا إلى الرقم المطلوب وبالتالي ينتهي العمود الثاني عشر عند نفس الصف الذي توقفنا عنده في العمود الحادي عشر.

ثم نأخذ القيمة المقابلة للعمق الموزون المرتب من العمود الثاني عشر وهي ٣٥٢,٨١

متوسط عمق الماء الموزون d_w:

d_w-مجموع الأعماق الموزونة في الربع الأقل / ربع مجموع أرقام الأوعية

$$d_w = \frac{352.81}{132} = 2.67$$

معامل الانتظامية في الربع المنخفض:

$$D_u = \frac{d_w}{D_w} \times 100 = \frac{2.67}{3.676} \times 100 = 72.6\,\%$$

كفاءة الإضافة:

$$E_a = \frac{D_w}{D_g} \times 100 = \frac{3.676}{5} \times 100 = 73.52\%$$

كفاءة الإضافة في الربع المنخفض:

$$E_a = \frac{d_w}{D_g} \times 100 = \frac{2.67}{5} \times 100 = 53.4\%$$

الفاقد بالبخر وبعثرة الرياح:

$$E = 100 - E_a = 100 - 73.52 = 26.48\%$$

المثال رقم (١٤ , ٩)

مثال توضيحي يبين كيفية التحليل وحساب معامل الاختلاف المصنعي والمعايير الآخرى لتقييم نظام ري بالتنقيط، تمت الحسابات لعشرين منقط فقط لتسهيل الحل والمنقطات في النظام من النوع ذو المسار الطويل وتصرفها الأسمي ٤ لتر/ ساعة وتعمل عند ضاغط تشغيل ١ بار، والحجوم المتجمعة في زمن التجربة وهو ٥ دقائق موضحة في العمود الثاني من الجدول التالي. احسب معايير الأداء المختلفة لنظام التنقيط.

الحل

١	٢	٣	٤	٥	٦
رقم المنقط	الحجم المتجمع V_i سم^٣	الفرق المطلق عن المتوسط $(V_i - V_a)$ سم^٣	مربع الفرق عن المتوسط $(V_i - V_a)^2$ سم^٦	ترتيب الحجم المتجمع تصاعديا V_i سم^٣	تصرف المنقط Q_e لتر/ ساعة
١	٢١٥	٦,٧٥	٤٥,٥٦	٢٠٥	٢,٥٨
٢	٢١٠	١١,٧٥	١٣٨,٠٦	٢٠٥	٢,٥٢
٣	٢١٥	٦,٧٥	٤٥,٥٦	٢٠٥	٢,٥٨
٤	٢٣٥	١٣,٢٥	١٧٥,٥٦	٢٠٥	٢,٨٢
٥	٢٣٠	٨,٢٥	٦٨,٠٦	٢١٠	٢,٧٦
٦	٢١٠	١١,٧٥	١٣٨,٠٦	٢١٠	٢,٥٢
٧	٢٠٥	١٦,٧٥	٢٨٠,٥٦	٢١٠	٢,٤٦
٨	٢٢٥	٣,٢٥	١٠,٥٦	٢١٥	٢,٧٠
٩	٢١٥	٦,٧٥	٤٥,٥٦	٢١٥	٢,٥٨
١٠	٢٦٠	٣٨,٢٥	١٤٦٣,٠٦	٢١٥	٣,١٢
١١	٢٢٠	١,٧٥	٣,٠٦	٢١٥	٢,٦٤
١٢	٢١٥	٦,٧٥	٤٥,٥٦	٢٢٠	٢,٥٨
١٣	٢١٠	١١,٧٥	١٣٨,٠٦	٢٢٠	٢,٥٢
١٤	٢٠٥	١٦,٧٥	٢٨٠,٥٦	٢٢٥	٢,٤٦
١٥	٢٤٠	١٨,٢٥	٣٣٣,٠٦	٢٣٠	٢,٨٨
١٦	٢٥٥	٣٣,٢٥	١١٠٥,٥٦	٢٣٥	٣,٠٦
١٧	٢٠٥	١٦,٧٥	٢٨٠,٥٦	٢٤٠	٢,٤٦
١٨	٢٤٠	١٨,٢٥	٣٣٣,٠٦	٢٤٠	٢,٨٨
١٩	٢٢٠	١,٧٥	٣,٠٦	٢٥٥	٢,٦٤
٢٠	٢٠٥	١٦,٧٥	٢٨٠,٥٦	٢٦٠	٢,٤٦
المجموع	٤٤٣٥	٢٦٥,٥	٥٢١٣,٧٥	٤٤٣٥	٥٣,٢٢

توضيح خطوات الحل والمبينة في الجدول التالي:

العمود الأول: سجل به رقم المنقط على الخط.

العمود الثاني: سجل به حجم الماء المتجمع V_i في وعاء التجميع أسفل المنقط (سم٣).

نجمع مجموع الحجوم المتجمعة في نهاية العمود الثاني:

$$\Sigma V_i = 4435\ cm^3$$

نحسب متوسط الحجم المتجمع V_a

$$V_a = \frac{\Sigma V_i}{n} = \frac{4435}{20} = 221.75\ cm^3$$

العمود الثالث: سجل به الفرق المطلق بين كل حجم متجمع عن المتوسط $|V_i - V_a|$

$$|V_1 - V_a| = |215 - 221.75| = 6.75\ cm^3$$

$$|V_2 - V_a| = |210 - 221.75| = 11.75\ cm^3$$

وهكذا لباقي المنقطات

نجمع مجموع الفروق في نهاية العمود الثالث:

$$\Sigma|V_i - V_a| = 265.50\ cm^3$$

العمود الرابع: سجل به مربع الفرق المطلق بين كل حجم متجمع عن المتوسط $|V_i - V_a|^2$

$$|V_1 - V_a|^2 = (6.75)^2 = 45.56\ cm^6$$

$$|V_2 - V_a|^2 = (11.75)^2 = 138.06\ cm^6$$

وهكذا لباقي المنقطات

نجمع مجموع الفروق في نهاية العمود الرابع:

$$\Sigma|V_i - V_a|^2 = 5213.75\ cm^6$$

العمود الخامس: سجلت به الحجوم المتجمعة بعد ترتيبها ترتيبا تصاعديا

نحدد الربع الأقل في الحجوم:

$$\frac{n}{4} = \frac{20}{4} = 5$$

نجمع أقل خمسة حجوم متجمعة

$$\Sigma V_{1\to5} = 1030\ cm^3$$

نحسب متوسط حجوم المياه المتجمعة في الربع الأقل d_n

$$d_n = \frac{1030}{5} = 206\ cm^3$$

نحدد الثمن الأقصى في الحجوم

$$\frac{n}{8} = \frac{20}{8} \approx 2$$

نجمع أعلى قيمتين للحجوم المتجمعة

$$\Sigma V_{19\to20} = 515\ cm^3$$

نحسب متوسط حجوم المياه المتجمعة في الثمن الأعلى d_m

$$d_m = \frac{515}{2} = 257.5\ cm^3$$

العمود السادس: سجلت به التصرفات لكل منقط حسب ترتيبه الفعلي في العمود الثاني بقسمة الحجم المتجمع على زمن التجميع

$$q_1 = \frac{V_1}{T} = \frac{(215/1000)\times60}{5} = 2.58\ Lit/hr$$

$$q_2 = \frac{V_2}{T} = \frac{(210/1000)\times60}{5} = 2.52\ Lit/hr$$

وهكذا لباقي المنقطات

حسابات معايير الأداء:

أن حسابات معايير الأداء جميعها نسبية وبالتالي يمكن التعامل لكل من q_m ، q_n ، q_i ، q_a أثناء الحساب بالحجوم المقاسة دون التحويل إلى التصرفات لأن في ذلك تجنب للعلامات العشرية التي تنتج في التعامل بالتصرفات مما يتيح سهولة في الحساب حيث النتيجة النهائية واحدة.

حساب الانحراف المعياري

$$S_d = \sqrt{\frac{\Sigma(q_i - q_a)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{5213.75}{20-1}} = 16.565\ cm^3$$

حساب معامل الاختلاف المصنعي

$$C_v = \frac{S_d}{q_a} = \frac{16.565}{221.75} = 0.075$$

حساب النسبة المئوية للتغير في سريان المنقط

$$q_{var} = \left(1 - \frac{q_n}{q_m}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{206}{257.5}\right) \times 100 = 20\%$$

حساب النسبة المئوية للإختلاف في متوسط تصرف المنقطات المقاس عن التصرف الأسمي لها (dq)

$$q_e = 4 \text{ Lit/hr}$$

$$q_a = 221.75 \text{cm}^3 = \frac{V_a}{T} = \frac{(221.75/1000) \times 60}{5} = 2.661 \text{ Lit/hr}$$

$$dq = \left(\frac{q_a - q_e}{q_e}\right) \times 100 = \left(\frac{2.661 - 4}{4}\right) \times 100 = -33.475\%$$

حساب انتظامية التوزيع

$$U_d = (1 - C_v) \times 100 = (1 - 0.075) \times 100 = 92.5\%$$

حساب معامل الانتظام الحقلي

$$(Eu)_f = \frac{q_n}{q_a} \times 100 = \frac{206}{221.75} \times 100 = 92.9\%$$

حساب معامل الانتظام المطلق

$$(Eu)_a = 0.5\left(\frac{q_n}{q_a} + \frac{q_a}{q_m}\right) \times 100 = 0.5\left(\frac{206}{221.75} + \frac{221.75}{257.5}\right) \times 100 = 89.51\%$$

حساب معامل الانتظام التصميمي على فرض وضع منقط واحد للشجرة في التصميم:

$$(Eu)_d = \left(1 - \frac{1.27 \times C_v}{\sqrt{N_p}}\right) \times \frac{q_n}{q_a} \times 100 = \left(1 - \frac{1.27 \times 0.075}{\sqrt{1}}\right) \times \frac{206}{221.75} \times 100 = 84.08\%$$

حساب معامل التجانس في التوزيع

$$Cu = \left(1 - \frac{\Sigma|V_i - V_a|}{n \cdot V_a}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{265.50}{20 \times 221.75}\right) \times 100 = 94.01\%$$

حساب كفاءة الإضافة

تم الاستعانة بالمعادلة التي تعتمد على التجانس في توزيع المياه ونسبة التنح لأقصى استهلاك مائي Tr وهي للمناخ الحار والتربة الرملية تتراوح بين ١,٠٥ – ١,١٠ لحساب كفاءة الإضافة.

$$E_a = \frac{(E_u)_f}{Tr} \times 100 = \frac{92.9}{1.1} \times 100 = 84.45\%$$

(٩,١١) مسائل منوعة

١- عند تقييم نظام ري بالرش تقليدي ثابت المسافة بين الرشاشات به ١٢ م، والمسافة بين الخطوط ١٥ م، وتصرف الرشاش ٣٠ لتر/ دقيقة. تم تشغيل النظام لمدة ٥٠ دقيقة فكانت أعماق المياه المتجمعة في علب التجميع (مم) هي:

٨,٢	٦,٥	٦,٤	٧,٢	٧,٦	٧,٩
٨,٩	٧,٨	٧,٤	٦,٠	٧,٥	٨,٦

احسب:

معدل الإضافة R_a، معامل الانتظامية C_u، معامل الانتظامية في الربع الأقل D_u، الكفاءة الفعلية لإضافة المياه E_a ، كفاءة إضافة المياه في الربع الأقل PELQ، نسبة الفاقد بالبخر وبعثرة الرياح E

٢- عند تقييم نظام ري بالرش تقليدي متنقل الرشاشات موضوعة على مسافات ٩ × ١٢ متر. فإذا علمت أن تصرف الرشاش ١,٤٥ م^3/ ساعة. عند تشغيل النظام لمدة ٦٠ دقيقة على ضغط ٢ كجم/ سم^2 كانت حجوم المياه المتجمعة في علب التجميع ذات قطر ١٠ سم (سم^3) هي كما في الجدول التالي:

٧٥	٤٥	٨٠	٨٧
٤٨	٨٨	٥٠	٥٥
٧٢	٣٨	٩٠	٤٠

احسب:

معدل الإضافة R_a، معامل الانتظامية C_u، معامل الانتظامية في الربع الأقل D_u، الكفاءة الفعلية لإضافة المياه E_a، كفاءة إضافة المياه في الربع الأقل PELQ، نسبة الفاقد بالبخر وبعثرة الرياح E. وما رأيك بأداء النظام وكيف يمكن تقويم ذلك.

٣- عند تقييم نظام ري بالرش تقليدي متنقل الرشاشات فيه موضوعة على مسافات ١٢ × ١٥ متر. فإذا علمت أن تصرف الرشاش ٤٢ لتر/ دقيقة. وعند تشغيل النظام لمدة ساعة واحدة كانت حجوم المياه المتجمعة في علب التجميع (سم٣):

٩٦	٨٠	٩٠	٩٢
٨٤	٥٢	٤٧	٩٤
٤٦	٤٩	٣٥	٣٩

احسب:

معدل الإضافة R_a، معامل الانتظامية C_u، معامل الانتظامية في الربع الأقل D_u، الكفاءة الفعلية لإضافة المياه E_a، كفاءة إضافة المياه في الربع الأقل PELQ، نسبة الفاقد بالبخر وبعثرة الرياح E. وما رأيك بأداء النظام وكيف يمكن تقويم ذلك.

٤- في تجربة تقييم نظام ري بالرش ثابت كانت الأعماق المتجمعة (سم) كالتالي:

٦,٣	٥,٥	٤,٣	٥,١	٤,٢	٤,٩	٣,٧	٣,٩	٤,٨	٥,٢
٥,٥	٣,٩	٤,٨	٤,٧	٤,١	٥,٨	٦,٢	٥,٨	٤,٦	٤,٤
٤,٣	٥,٨	٤,٦	٤,٧	٣,٩	٣,٧	٥,٨	٤,٦	٥,٢	٤,٣
٣,٩	٤,٢	٥,٤	٣,٧	٤,٨	٥,٠	٣,٦	٤,٢	٣,٤	٥,٢

احسب: معامل الانتظامية، ومعامل الانتظامية في الربع الأقل، ومستوى الكفاية.

٥- أثناء تقييم نظام رش تقليدي ثابت الرشاشات على مسافات ١٢ × ١٢ م كانت أعماق المياه المتجمعة في العلب كالتالي:

٦,٦	٩,٠	٤,٤	٣,٥	٤,١	٥,٧
٨,٢	٣,٣	٩,٢	٧,٧	٦,٥	٥,٩
٤,٤	٤,٨	٧,٥	٨,٥	٨,٠	٣,٢
٥,٠	٦,٦	٧,٤	٧,٢	٧,٨	٩,١

احسب: معامل التجانس، معامل التوزيع، نسبة المساحة المروية بكفاية.

مع رسم العلاقة بين العمق المضاف ونسبة المساحة المروية.

٦- نظام ري محوري يتكون من ٥ مسافات، طول المسافة الواحدة ٥٠ م، لتقييم أداء هذا النظام تم وضع صف من علب التجميع بحيث كانت المسافة بين العلب ٥ متر، وتم تشغيل النظام لفترة ٤٠ دقيقة، فكانت الحجوم المتجمعة (سم^3) في كل علبة هي كما موضحة بالجدول التالي. فإذا علمت أن قطر علبة التجميع ١٠ سم، وعمق الماء المضاف (D_g) ٣٠ مم.

الوعاء	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠
الحجم	٩٨	٨٧	٧٢	٧٦	٩٠	٨٨	٦٧	٧٠	٧٥	٩٩
الوعاء	١١	١٢	١٣	١٤	١٥	١٦	١٧	١٨	١٩	٢٠
الحجم	٨٣	٧٧	٦٨	٩٢	٩٥	٨٦	٨١	٩٦	٨٠	٧٧
الوعاء	٢١	٢٢	٢٣	٢٤	٢٥	٢٦	٢٧	٢٨	٢٩	٣٠
الحجم	٨٤	٩٦	١٠٥	١٠٤	٨٧	٧٩	٩٧	٨٥	٨٨	١٠٠
الوعاء	٣١	٣٢	٣٣	٣٤	٣٥	٣٦	٣٧	٣٨	٣٩	٤٠
الحجم	٩٧	٩٦	٧٧	٧١	٧٤	٨٣	٨٥	٩٠	٩٣	٦٩
الوعاء	٤١	٤٢	٤٣	٤٤	٤٥	٤٦	٤٧	٤٨	٤٩	٥٠
الحجم	٨٧	٩٥	٩١	٧٨	٨٠	٩٥	٨٤	٨٧	٩٢	٩٠

احسب كل من: معامل الانتظامية C_u، معامل الانتظامية في الربع الأقل D_u، كفاءة الإضافة E_a، كفاءة الإضافة في الربع الأقل PELQ، الفاقد بالبخر وبعثرة الرياح كفاءة الإضافة E.

٧- تدفقت مياه الري من المصدر بتصرف مقداره ٢٧ لتر/ ثانية لري حقل مساحته ١٠ دونم، قيس حجم الماء المتدفق عند مدخل الحقل بواسطة عداد مياه وذلك خلال زمن تشغيل جهاز الرش البالغ ٥ ساعات، فكان ٤٠٠م^3، وكان عمق الماء الواصل إلى التربة هو ٣٨ مم خلال زمن الري، وأنه تم تقدير عمق ماء الري المطلوب للنبات بمعرفة المحتوى الرطوبي الوزني عند السعة الحقلية ونقطة الذبول على عمق المجموع الجذري للنبات البالغ ٨٠سم، فكانت على التوالي ١٦٪، ٦٪ ويتم الري عند استنفاذ ٤٠٪ من الرطوبة الأرضية. مع العلم أن الكثافة الظاهرية للتربة هي ١,٤ جم/ سم^3. وأن الاستهلاك المائي للنبات ٥ مم/ يوم، والفترة بين الريات ٧ أيام. احسب:

أ) كفاءة النقل. ب) كفاءة الإضافة. ج) كفاءة التخزين. د) كفاءة الاستعمال.

٨- إذا كان تصرف المياه من المصدر وهو قناة مائية مكشوفة ٩٠ لتر/ ث وكان التصرف الذي يصل ويضاف إلى الحقل ٧٠ لتر/ ث. وعمق الماء الصافي في منطقة الجذور ٤٠ مم وزمن الري ٦ ساعات ومساحة الحقل ٣ هكتار. احسب كفاءة نقل المياه، وكفاءة إضافة المياه.

٩- إذا كان تصرف المياه الذي يصل إلى الحقل ٤٢ لتر/ث وزمن الري ٥ ساعات، والجريان السطحي ٩٠ م٣ وفاقد البخر أثناء الري ٦٠ م٣، والتسرب العميق تحت منطقة الجذور ٧٠ م٣ . احسب كفاءة إضافة المياه.

١٠- لنظام ري بالرش إذا كان معامل الانتظامية C_u = ٧٨٪، ونسبة التسرب العميق D_p = ١٧٪، والفاقد بالبخر وبعثرة الرياح E = ١٣٪، ومستوى الكفاية P_a = ٦٥٪. احسب: الكفاءة المركبة E_{cc} وكفاءة التخزين E_s.

١١- تربة لومية رملية متوسط الرطوبة الحجمية عند السعة الحقلية لها ٢٥٪ مزروع بها محصول عمق قطاع الجذور له ٥٠ سم، والرطوبة الحجمية قبل وبعد الري هي ١٢٪، ٢٠٪ على التوالي. احسب كفاءة التخزين المائي.

١٢- في حقل مزروع بمحصول عمق جذوره ٨٠ سم يروى بنظام ري سطحي، فإذا تعمقت المياه في التربة لعمق ١٢٠ سم عند بداية الحقل، بينما تعمقت فقط لعمق ٩٠ سم عند وسط الحقل و ٧٠ سم عند نهاية الحقل. احسب كفاء توزيع الماء خلال قطاع التربة، وكفاءة التخزين.

١٣- في نظام ري بالرش إذا كان العمق الخارج من الرشاشات في الرية يعادل ٧٢ مم، والفاقد بالبخر وبعثرة الرياح ٨ مم، والفاقد بالجريان السطحي ٦ مم. احسب فاقد التسرب العميق إذا كانت كفاءة إضافة المياه تساوي ٧٥٪.

١٤- تربة رملية مزروع بها محصول الاستهلاك المائي اليومي له ٥ , ٧ مم/ يوم، والفترة بين الريات ٥ أيام. فإذا كان أجمالي الماء المضاف للتربة خلال الفترة بين الريات ٦٠ مم. احسب كفاءة الاستهلاك المائي.

١٥- مزارع يأخذ حصته المائية من قناة تبعد ٦٠ كم، ويريد ري ٦٥ هكتار مزروعة بالقمح مستخدما الري المحوري، واحتياج المحصول المائي من الرية الأخيرة هو ٥٠ مم، وبسب التوزيع غير المتجانس والمتوقع مع الري المحوري، سيتم إيصال ٥٥ مم إلى الحقل لضمان وصول ٥٠ مم على الأقل إلى جميع أجزاء الحقل، ويتوقع أن تكون فواقد البخر والرياح ٨٪ من الماء المتدفق من فوهات الرشاش، وفواقد نقل الماء في القناة من المصدر الرئيس إلى المزرعة ١٥٪، وفواقد التسرب والبخر من القناة المائية حتى مدخل المزرعة هو ٤٥٪. احسب كفاءات الري وحجم الماء (م٣) الخارج من ترعة الماء ليتسنى للمزارع جعفر الحصول على الاحتياجات المائية المطلوبة لمحصوله.

١٦- أرض مساحتها ٤٠٠ هكتار تروي على مدى ٨ أيام متواصلة بمعدل ٥ ساعات يومياً، الأرض مقسمة إلى شرائح أبعادها ٢٥×١٠٠ متر. يراد ري هذه الأرض بعمق ١٠٠ مم، فإذا علمت أن كمية الماء الداخلة للشريحة ٤٥٠ م٣، والفاقد نتيجة الجريان السطحي ١٧٥ م٣، وعمق التسرب في نهاية الحقل ٩٠ مم، وفي بداية

الحقل ١٢٠ مم. بفرض أن التوزيع النهائي للتسرب هو خط مستقيم. احسب: كفاءة النقل، كفاءة إضافة المياه، كفاءة التخزين، نسبة فاقد الماء بالتسرب العميق، نسبة ماء الجريان السطحي.

١٧- إذا كانت التصرفات الناتجة من تجربة لتقييم نظام ري بالتنقيط (L/hr):

8.9	8.2	7.9	8.3	8.7	7.4	8.4	8.5	7.1
8.8	7.2	8.5	7.6	7.5	7.7	7.4	7.0	8.6

فإذا علمت أن عدد المنقطات للشجرة منقط واحد ، احسب:

معامل الانتظام الاحصائي (Us)، معامل الانتظام الحقلي $(Eu)_f$، معامل الانتظام التصميمي $(Eu)_d$

معامل الانتظام المطلق $(Eu)_a$، النسبة المئوية للتغير في التصرف (q_{var})

١٨- أجري اختبار على ثلاثين منقط ذات ثابت تصرف (β) يساوي ٥ , ٠، ومعامل التغير الناتج من انسداد المنقطات (C_p) ٠٧ , ٠، في نظام ري بالتنقيط فكانت الحجوم المتجمعة (سم٣) عند ضغط تشغيل ١٥ م في زمن ١٠ دقائق هي:

1520	1610	1690	1660	1500	1690	1590	1580	1670	1600
1580	1660	1520	1650	1610	1520	1610	1590	1540	1520
1490	1550	1430	1490	1510	1500	1660	1480	1630	1500

عند استخدام ٤ منقطات للشجرة الواحدة ، احسب:

- معامل الاختلاف المصنعي • معامل الانتظام الاحصائي • معامل الانتظام الحقلي
- معامل الانتظام التصميمي• معامل الانتظام المطلق • النسبة المئوية للتغير في التصرف.

١٩- مجموعة منقطات ذات ثابت تصرف (β) يساوي ٦ , ٠، تم اختبار معدلات الأداء لها فكانت الحجوم المتجمعة (سم٣) في زمن دقيقة كالتالي:

330	340	375	320	300	370	280	355	295
310	260	330	290	300	260	365	345	275

عند استخدام ٣ منقطات للشجرة الواحدة ، احسب :

معامل الاختلاف المصنعي، معامل الانتظام الاحصائي، معامل الانتظام الحقلي، معامل الانتظام التصميمي، معامل الانتظام المطلق، النسبة المئوية للتغير في التصرف.