الفصل السادس

تقييم نظم الرش التقليدية
Evaluation of Conventional Sprinkle Systems

(٦,١) مقدمة

تعتبر المياه في العالم من الموارد الثمينة التي لا يحق لإنسان أن يبددها عند احتياج إنسان آخر إليها. وكفاءة استعمال المياه هو التزام مطلوب 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 فأنه يكون الاتجاه هو سوء استعمال هذه المياه. وعلاوة على ذلك تتأثر الكفاءة بتكاليف العمالة ونوعيتها وسهولة استعمال واستخراج هذه المياه، ونوع المحصول وخصائص التربة. لذلك معرفة متى وأين يمكن عمل التحسينات التي تؤدى إلى زيادة فاعلية أو كفاية الري مطلبا ضروريا في أي نظام للري. وذلك لإمكان التحكم الكافي لتدبير مياه الري منذ مغادرة المياه من المصدر إلى أن يتم استهلاك النبات لها. لذلك يمكن تلخيص الهدف من تقييم نظم الري في أربعة أسباب هي :

١ . إيجاد كفاءة النظام الفعلية كما هو مستعمل في الحقل.

٢ . معرفة كيفية استعمال نظام الري استعمالاً مفيداً. وكذلك معرفة إمكانية تحسينه.

٣ . الحصول على المعلومات المفيدة التي سوف تساعد مهندس التصميم في تطويره.

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

لذلـــك يمكن القول أن التقييم هو التحليل الكمي لأي نظام ري مبنى على قياســـــات مأخوذة في الحقل تحت الشروط والحالات المســـتخدمة عادة. كذلك يشـــمل الدراســـات الميدانية التي تؤدى إلى تعديلات في النظام المستخدم مثل تغير ضغط الرشاشات.

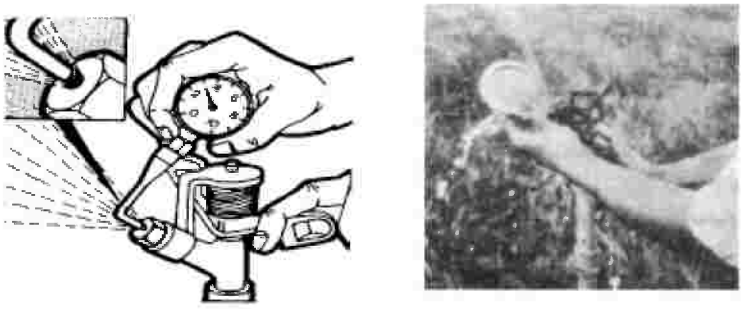
كفاءة الري مفهوم يستخدم بكثرة عند تقييم نظم الري. ويتم قياس انتظامية إضـــافة مـــياه الري وكذلك إيجاد الفواقد المائية عند الكفاءة. وبالتالي يمكن معرفة كفاءة النظام من حيث توزيع المياه على المساحة المروية. وهناك علاقة مباشرة بين كفـــاءة الري وانتظامية الإضافة، فإذا كانت الإضافة منخفضة أو الفواقد عالية فان كفاءة الري سوف تنخفض.

(٦,٢) عناصر تقييم نظم الري بالرش التقليدية

تتطلب عناصر التقييم أخذ قياسات في الحقل أثناء تشغيل النظام حتى يمكن معـــرفة كفاءة انتظام توزيع المياه من الرشاشات وبالتالي يمكن الحكم على الكفاءة الحقيقـــية (Actual Efficiency) للـــنظام ومقارنـــتها بالكفاءة التصميمية (Potential Efficiency). وهـــذا ســـوف يساعد في إدارة النظام وزيادة الكفاءة وبالتالي تقليل التكالـــيف وزيادة إنتاج المحصول. والعناصر المطلوب قياسها في الحقل أو حسابها من البيانات الحقلية حتى يمكن تقييم أداء نظام الرش التقليدي هي:

١ . ضغط تشغيل الرشاش Sprinkler Operating Pressure :

ويمكـــن معـــرفة ضـــغط التشغيل في الحقل لأي رشاش باستخدام مقيـــاس الضـــغط (Pressure gauge) مع توصيل أنبوب بيتوت بالمقياس، الشكل رقم (٦,١)، وعـــند دفع هذا الأنبوب داخل فوهة الرشاش فإن مقياس الضغط يعطي قراءة لحظية لضـــغط تشغيل الرشاش. وإذا تعذر وجود أنبوب بيتوت يتم فك الرشاش وتركيب مقياس الضغط مباشرة في نفس المخرج للمياه، ويفضل قياس أكثر من رشاش واحد أثناء التقييم.



الشكل رقم (٦,١) قياس ضغط تشغيل الرشاش بواسطة مقياس ضغط موصل بأنبوب بيتوت.

٢ . تصرف الرشاش Sprinkler Discharge :

يمكـــن قياس تصرف الرشاش عن طريق استخدام عداد المياه (Flow meter) أو عـــن طريق تجميع حجم معين من المياه الخارجة من الرشاش في وعاء خلال زمن معين، ويتم قياس التصرف لأكثر من رشاش في مواقع مختلفة من الحقل حتى يكون التقيـــيم أكثر شمولية. ويستخدم في ذلك أنبوب مرن يتم توصيله إلى فوهة الرشاش وتجمـــيع حجـــم معين من المياه في وعاء خلال زمن ما، وفي حالة وجود فوهتين للرشاش نستخدم في آن واحد أنبوبان مرنان حسب قطر الفوهتين.

٣ . معدل إضافة الماء Water Application Rate :

وذلـــك بقياس تصرف الرشاشات المستخدمة على المساحة المروية. حيث لابد من قياس الرشاشات التي في النظام للحصول على معدل إضافة الماء. وبمعرفة متوســـــط التصـــــرف والمســـافة بين الرشاشات والخطـــوط يمكن إيجاد متوسط معدل الإضافة.

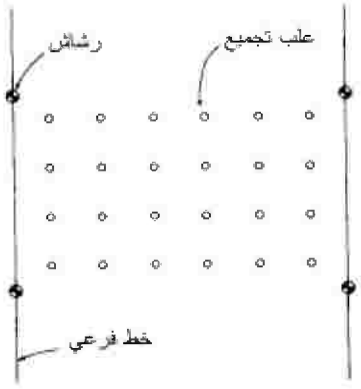
٤ . معامل الانتظامية (التجانس) (Cu) Coefficient of Uniformity :

لقياس درجة تجانس توزيع المياه من نظام الري بالرش على المساحة المروية لابد من إيجاد معامل التجانس، ويحسب المعامل من القياسات الحقلية لأعماق الماء المتجمع في أوعية القياس الموضوعة على مسافات منتظمة ضمن المنطقة المتأثرة بالرش. وهناك عدة معادلات يمكن استخدامها لإيجاد معامل التجانس لنظام الري المستخدم.

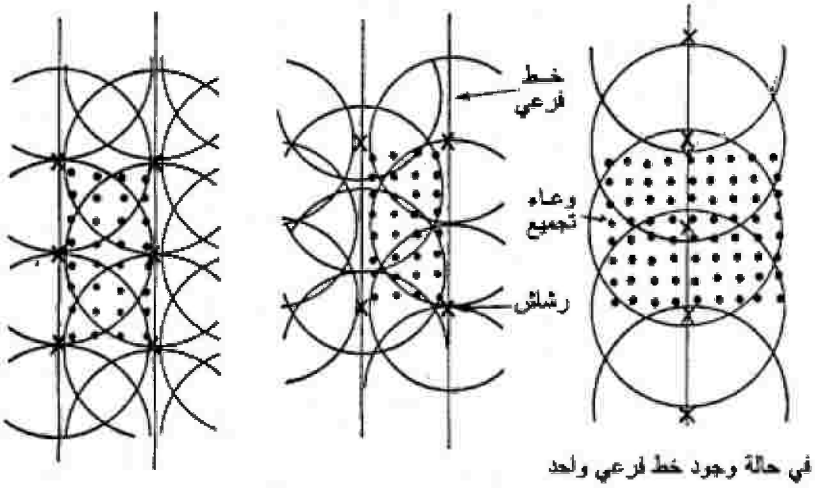
ولإيجاد معامل التجانس في الحقل يتم وضع أوعية ذات أحجام متساوية بحيث تكون شبكة من المربعات بين الرشاشات كما هو موضح بالشكل رقم (٦,٢). تتراوح المسافة بين أوعية التجميع بين ١-٣ متر حسب الغرض من التقييم حيث كلما صغرت هذه المسافة كلما كان التقييم أكثر دقة. ثم يتم تشغيل النظام لفترة من الزمن بحيث تكون كافية للحصول على عمق كافي. ويفضل أن يكون زمن التشغيل يساوى نصف متوسط زمن الري المطلوب للحقل. بعد ذلك يتم قياس حجم الماء المتجمع في كل وعاء ثم يحسب عمق الماء المتجمع في كل وعاء بقسمة حجم الماء المقاس على مساحة فوهة الوعاء. أيضاً يتم حساب عمق الماء المضاف $\left(D_g = R_a \times T_i\right)$ من النظام. وقد يكون هناك عدة أشكال لترتيب أوضاع أوعية التجميع حسب تصميم نظام الري وعدد الخطوط الفرعية الموجودة وترتيب الرشاشات على الخطوط، شكل رقم (٦,٣)، مع ملاحظة أن زيادة مساحة التجميع (أي زيادة عدد العلب) تكون أفضل وتعطي تقييم أكثر دقة من المساحات الصغيرة.

وبالتالي يمكن إيجاد معامل التجانس (C_u) لنظم الري بالرش التقليدية من المعادلة التالية وهي أكثر المعادلات استخداما :

$$C_u = \left[1 - \frac{\sum \left|X_i - \overline{X}\right|}{N \times \overline{X}}\right] \times 100 \qquad (٦,١)$$



الشكل رقم (٦,٢) ترتيب أوعية التجميع أثناء تقييم النظام التقليدي.



١- في حالة وجود خط فرعي واحد

٢- في حالة وجود أكثر من خط فرعي

الشكل رقم (٦,٣) أشكال تبين تخطيط أوضاع أوعية التجميع أثناء تقييم النظام التقليدي.

ويمكن أن تكتب كالتالي:

$$C_u = \left[1 - \frac{\Sigma Z}{N \times \overline{X}}\right] \times 100 \qquad (٦,٢)$$

حيث أن :

X_i = عمق المياه المتجمعة في وعاء القياس الواحد (مم).

$\overline{X}$ = متوسط عمق المياه المتجمعة من الأوعية (مم).

$= \frac{\Sigma X}{N}$ حيث أن ΣX مجموع كمية المياه المتجمعة في الأوعية.

N = عدد الأوعية القياسية المستخدمة في التقييم.

Z = الانحراف المطلق عن المتوسط = $\left|X - \overline{X}\right|$

٥ . انتظامية التوزيع في الربع الأقل (D_u) Distribution Uniformity :

يستخدم هذا المعامل للتعرف على درجة 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 التالية:

$$D_u = \frac{d}{\overline{X}} \times 100 \qquad (٦,٣)$$

حيث أن :

D_u = معامل انتظام التوزيع (٪).

d = متوسط عمق الماء المتجمع في الربع الأقل (مم).

ويجب ملاحظة أن قيمة D_u تعطي مدلول على مدى انتظامية توزيع المياه في الربع الأقل وتشير إلى حجم مشاكل توزيع المياه في ربع المساحة المروية. ويدل انخفاض D_u على زيادة فواقد التسرب العميق.

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

الـــنظام 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 إيجادها كالتالي:

$$C_u = 100 - 0.63(100 - D_u) \qquad (٦,٤)$$

أو تكون كالتالي:

$$D_u = 100 - 1.59(100 - C_u) \qquad (٦,٥)$$

أمـــا العلاقة بين معامل التجانس C_u والانحراف المعياري Standard deviation (S_d) لكل عمق من المياه المتجمعة في أوعية القياس فتكون كالتالي:

$$C_u = \left[1 - \frac{S_d}{\overline{X}}\left(\frac{2}{\pi}\right)^{0.5}\right] \times 100 \qquad (٦,٦)$$

ويمكن ترتيب المعادلة كالتالي:

$$S_d = \frac{\overline{X}}{(2/\pi)^{0.5}} \times \left(1 - \frac{C_u}{100}\right) \qquad (٦,٧)$$

وعموماً فإن دقـــة نتائـــج القياسات لأوعية التجميع تتراوح من انحراف ± ١٪ إلى ± ٢٪.

٦ . انتظامية النظام System Uniformity :

بعـــد الحصول على معامل التجانس ومعامل التوزيع لمساحة معينة من الحقل ولمجموعة محددة من الرشاشات المستخدمة في نظام الري يأتي بعد ذلك إيجاد معامل التجانس ومعامل التوزيع لنظام الري بالرش وللمساحة المروية الكلية. ومن المعلوم أن تصرف الرشاش يتغير مع تغير ضغط التشغيل حسب العلاقة الهيدروليكـــية $\left(Q_{Sp} = K\sqrt{P_{SP}}\right)$ وهـــذه العلاقة ثابتة ما لم تستخدم أجهزة

خاصـــة للـــتحكم في التصرف مثل منظمات الضغط التي تركب عند قواعد الرشاشات. ويمكن إيجاد هذه المعاملات لنظام الري بالرش كالآتي:

$$C_{us} = C_u \times \frac{1 + (P_{min}/P_{av})^{0.5}}{2} \qquad (٦,٨)$$

$$D_{us} = D_u \times \frac{1 + 3(P_{min}/P_{av})^{0.5}}{4} \qquad (٦,٩)$$

حيث أن:

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

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

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

P_{av} = متوسط ضغط التشغيل للرشاشات.

ويمكن إيجاد P_{av} بأخذ متوسط ضغط التشغيل لمجموعة كبيرة من الرشاشات العاملة أثناء الـــري. أمـــا عـــند قـــياس ضـــغط التشغيل لعدد محدد من هذه الرشاشات فيكون $\left(P_{av} = \frac{2P_{min} + P_{max}}{3}\right)$ ، حيث أن P_{max} أقصى ضغط تشغيل للرشاشات المقاســـة.

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

$$C_{us} = 0.97 \times C_u \qquad (٦,١٠)$$

$$D_{us} = 0.96 \times D_u \qquad (٦,١١)$$

ومـــن هذين المعاملين يكون الحكم أكثر دقة على انتظامية توزيع مياه الري من جميع الرشاشـــات على المساحة المروية. عموماً ينصح بأن تكون قيمة C_{us} على الأقل ٨٥٪ للمحاصـــيل الحساســـة وذات الجذور السطحية مثل البطاطس ومعظم الخضراوات، وتكـــون 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} مقـــبولة إلى ٧٠٪. وعند استخدام المبيدات الكيميائية بواسطة الرشاش فلابد أن تكـــون قيمة C_{us} أكبر من ٨٠٪، وعند وجود معامل تجانس منخفض بسبب الرياح ينصح بإضافة المبيدات في حالة الرياح الهادئة.

٧ . كفاءة إضافة المياه Water Application Efficiency (E_a) :

أن الكفـــاءة الفعلية لإضافة المياه تعطى دلالة على درجة انتظام توزيع المياه أثناء الري في الحقل ، وبالتالي يمكن الحكم على مقدار الري في هذه المساحة من الحقل. ويمكن إيجاد (E_a) من المعادلة التالية :

$$E_a = \frac{D_n}{D_g} \times 100 \qquad (٦,١٢)$$

حيث أن :-

D_n = متوسط عمق الماء المتسرب داخل التربة (مم).

D_g = متوسط عمق الماء المضاف من النظام (مم).

ويمكن اعتبار أن $\left(D_n = \overline{X}\right)$ لصعوبة قياس D_n داخل التربة.

إن انخفـــاض قـــيمة E_a تدل على وجود مشاكل في إدارة نظام الري و/أو اســـتخدامه. وهي تعطي دلالة على مدى انتظامية مياه الري ولكن لا تعطي مدلول على مدى كفاية الري.

٨ . كفاءة إضافة المياه الممكنة في الربع الأقل

Potential Efficiency of low quarter (*PELQ*):

وهـــي تعطي مدلول على كيفية إضافة المياه بواسطة نظام الري إذا كانت الإدارة لنظام الري مثالية. وهى مقياس على كيفية استخدام النظام في توزيع المياه على الربع الأقل، وتعطى دلالة على كفاءة التصميم لنظام الري. وعند الحصول على قيمة منخفضة لهذه الكفاءة فأن ذلك يعنى 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 (E_a) ، $(PELQ)$ تعطى دلالة على مقدار المشاكل الإدارية في عملية الري، وكلما ازداد الفرق كلما زادت المشـــاكل مـــثل زيادة زمن الري وزيادة العمق المضاف عن المطلوب وبذلـــك تكـــون جدولة الري غير جيدة. وهي أيضا تسمى بكفاءة النظام *System efficiency* ويمكن إيجادها كالتالي:

$$PELQ = D_u \times E_a = \frac{d}{\overline{X}} \times \frac{D_u}{D_g} \times 100 = \frac{d}{D_g} \times 100 \qquad (٦,١٣)$$

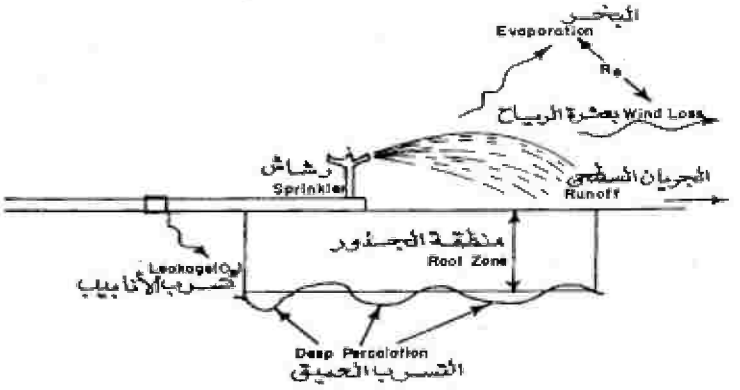
باعتـــبار أن $\overline{X}$ تمثل D_u . ومقدار الفرق بين $(PELQ\ ,\ D_u)$ يعطى دلالة على مقـــدار المـــياه المفقودة عن طريق التبخر. حيث كلما كان هذا الفرق صغير كانت قيمة التبخر منخفضة.

٩ . فواقد التبخر (*E*): Evaporation Losses

يمكـــن إيجـــاد كمية المياه المفقودة عن طريق بعثرة الرياح ودرجة الحرارة الجويـــة من نظام الري أثناء عملية الري. وهي تمثل نسبة كمية المياه المفقودة من كمية المياه المضافة بواسطة الرشاشات. وهي عبارة عن الفرق بين كمية المـــياه الخارجـــة من الرشاشات إلى كمية المياه الواصلة إلى سطح التربة أثناء الري. وفواقد التبخر وبعثرة الرياح تفقد في المسافة بين فوهة الرشاشات إلى

سطح الأرض بواسطة الرياح ودرجة الحرارة ، الشكل رقم (٦,٤). وهذه الفواقد قد تصل إلى نسبة كبيرة خاصة في المناطق الصحراوية لذلك لابد من تخفيض هذه الفواقد أثناء الري. ويمكن إيجادها من المعادلة التالية:

$$E = \frac{D_g - \overline{X}}{D_g} \times 100 \qquad (٦,١٤)$$



الشكل رقم (٦,٤) الفواقد من نظم الري بالرش التقليدية.

ومن الملاحظ أن انتظامية توزيع المياه تؤثر على المسافة بين الرشاشات والخطوط والعلاقة بين الضغط والتصرف للرشاشات. عموماً ينصح بأن تكون قيمة C_u على الأقل ٨٥٪ للمحاصيل الحساسة وذات الجذور السطحية مثل البطاطس ومعظم الخضراوات، وتكون C_u مقبولة عموماً بين ٧٥٪ إلى ٨٣٪ للمحاصيل ذات الجذور العميقة مثل البرسيم ، الذرة. أما بالنسبة للأشجار أو المحاصيل ذات الجذور المنتشرة والعميقة فتكون C_u مقبولة إلى ٧٠٪، وعند استخدام المبيدات الكيميائية بواسطة الرشاش فلابد أن تكون قيمة C_u أكبر من ٨٠٪، وعند وجود معامل تجانس منخفض بسبب الرياح ينصح بإضافة المبيدات في حالة الرياح الهادئة. أيضا يمكن تحسين انتظامية توزيع المياه في حالة النظام المتنقل وذلك بتغيير أوضاع خطوط الرشاشات عن الرية السابقة بوضع الخط الفرعي في منتصف المسافة عن الأوضاع السابقة.

(٦,٣) تقييم توزيع المياه رياضياً :

يمكـــن تقييم توزيع المياه من رشاش واحد أو عدة رشاشات بدون أجراء تجارب وقياسات حقلية وكذلك بدون استخدام علب تجميع. هذه الطريقة للتقييم تســـتخدم طرق حسابية وهندسية لمعرفة نماذج توزيع المياه من الرشاشات ثم إيجاد حســـابياً عناصر التقييم المطلوبة مثل معامل التجانس (C_u) ومعامل التوزيع (D_u) ، كذلـــك يمكن إيجاد معدل الإضافة وعمق الماء المضاف عند أي نقطة في المساحة المروية. من عيوب هذه الطريقة أنها تكون أقل دقة من الطريقة الحقلية والسبب في ذلـــك أنهـــا لا تأخذ في الاعتبار تأثير العوامل التشغيلية مثل تغير ضغط التشغيل والحقلية مثل عناصر المناخ. ولكن يمكن الاستفادة من هذا التقييم في الوصول إلى اختيار الرشاش المناسب والمسافات المناسبة بين الرشاشات والخطوط أثناء تصميم نظام الري بالرش حتى يمكن الحصول على توزيع منتظم للمياه المضافة وبالتالي إلى كفاءة الري الجيدة.

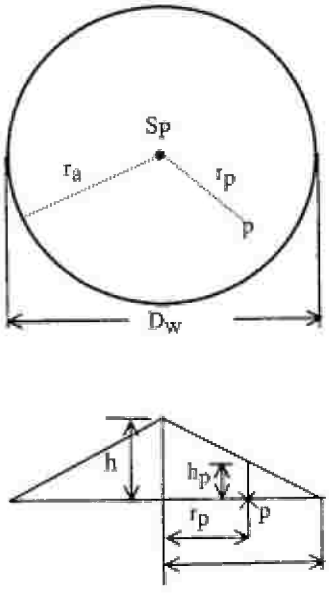
معادلات إيجاد عناصر التقييم :

أثـــناء استخدام رشاش واحد سواء كان رشاش دوار أو ثابت فإن نموذج توزيـــع المياه سوف يكون على شكل مثلث، الشكل رقم (٦,٥)، عند استخدام الرشـــاش الـــدوار، أو عـــلى هيئة نصف قطع مكافئ، الشكل رقم (٦,٦)، عند اســـتخدام الرشاش الثابت. ولإيجاد معدل الإضافة أو عمق الماء المضاف عند أي نقطة داخل دائرة البلل يمكن اتباع الخطوات التالية:

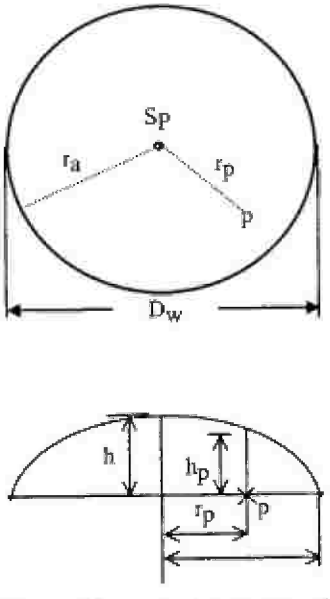
أولاً: معدل الإضافة:

لإيجاد معدل الإضافة عند أي نقطة داخل دائرة البلل عندما يكون نموذج توزيع المياه على شكل مثلث، الشكل رقم (٦,٥)، كالتالي:

$$R_{ap} = R_a \left(\frac{r_a - r_p}{r_a} \right) \qquad (٦,١٥)$$



الشكل رقم (٦,٥) نموذج توزيع المياه من رشاش دوار مفرد.



الشكل رقم (٦,٦) نموذج توزيع المياه من رشاش ثابت مفرد.

أمـــا عـــندما يكون نموذج توزيع المياه على شكل نصف قطع مكافئ فإن معدل الإضافة عند تلك النقطة كالتالي:

$$R_{ap} = R_a \left(\frac{r_a^{\,2} - r_p^{\,2}}{r_a^{\,2}} \right) \qquad (٦,١٦)$$

حيث أن :

R_{ap} = معدل الإضافة المطلوب عند نقطة P التي داخل دائرة البلل.

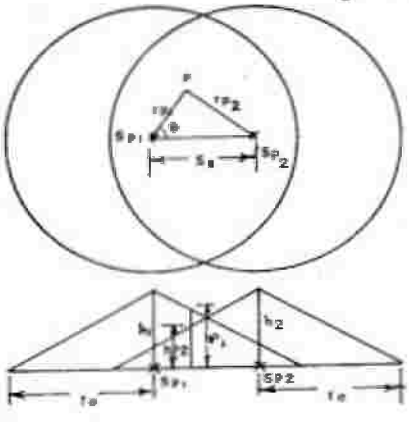
R_a = متوسط معدل الإضافة للرشاش.

r_a = نصف قطر دائرة البلل.

r_p = المسافة بين نقطة P والرشاش (مركز الدائرة).

ثانياً: عمق الماء المضاف:

يمكن إيجاد عمق الماء المضاف عند أي نقطة داخل دائرة البلل لرشاش دوار عـــندما يكون هناك تداخل لدوائر البلل كما في الشكل رقم (٦,٧). ويمكن إيجاد المعادلـــة لذلك بمعرفة نموذج توزيع المياه. ومن المعروف أن شكل توزيع المياه أثناء خـــروجها مـــن فوهة الرشاش إلى سطح الأرض يكون على هيئة شكل مخروطي تكون قمته عند فوهة الرشاش.



الشكل رقم (٦,٧) تداخل نماذج توزيع المياه من رشاشين.

وإيجـــاد عمق الماء المضاف عند نقطة P على المساحة المروية من دائرة البلل والتي تبعد r_p من الرشاش يكون كالتالي:

حجم الماء المضاف يكون مساوياً لحجم المخروط لذلك يكون:

حجم الماء الخارج من الرشاش = تصرف الرشاش × زمن الإضافة

$$V_{sp} = Q_{sp} \times T_i \qquad (٦,١٧)$$

أما حجم المخروط = ثلث مساحة القاعدة × الارتفاع

$$V = \frac{1}{3} \pi r_a^{\,2} \cdot h \qquad (٦,١٨)$$

حيث أن :

V = حجم المخروط.

h = ارتفاع المخروط = أقصى عمق يمكن الحصول عليه عند الرشاش .

وبتساوي معادلتين السابقتين يكون :

$$Q_{sp} \cdot T_i = \frac{1}{3} \pi r_a^{\,2} \cdot h \qquad (٦,١٩)$$

ويكون أقصى عمق (h) :

$$h = \frac{3\, Q_{sp} \cdot T_i}{\pi\, r_a^{\,2}} \qquad (٦,٢٠)$$

وبالتناسب يمكن إيجاد عمق الماء عند أي نقطة داخل دائرة البلل تبعد أي مسافة من الرشاش. لذلك يمكن إيجاد عمق الماء المضاف (h_p) عند نقطة P التي تبعد مسافة r_p من مركز دائرة البلل كالتالي:

$$h_p = \frac{h}{r_a}\left(r_a - r_p\right) \qquad (٦,٢١)$$

وبالتعويض عن قيمة h من المعادلة السابقة يكون:

$$h_p = \frac{3\, Q_{sp} \cdot T_i}{\pi\, r_a^{\,3}}\left(r_a - r_p\right) \qquad (٦,٢٢)$$

وبالتالي يمكن إيجاد h_p من المعادلة السابقة عند أي نقطة تبعد مسافة r_p من الرشاش. ومن المعروف أن عمق الماء المضاف يقل كلما زادت المسافة r_p من الرشاش. وللحصول على عمق متجانس أثناء الري حتى يكون العمق متساوي تقريباً عند أي نقطة في المساحة المروية يتم استخدام اكثر من رشاش واحد حتى يكون هناك تداخل بين دوائر البلل للرشاشات المستخدمة. لذلك عند استخدام رشاشين يكون وهناك تداخل بين دوائر البلل وبالتالي فإن عمق الماء المضاف إلى نقطة P التي تبعد مسافة r_{p1} ، r_{p2} من مركز الرشاش الأول والثاني على التوالي يمكن إيجادها كالتالي:

$$h_p = h_{p_1} + h_{p_2} \qquad (٦,٢٣)$$

حيث أن:

h_p = عمق الماء المضاف الكلي من الرشاشين إلى نقطة P .

H_{p1} = عمق الماء المضاف إلى نقطة P من الرشاش الأول.

H_{p2} = عمق الماء المضاف إلى نقطة P من الرشاش الثاني.

لإيجاد عمق الماء المضاف إلى نقطة P من الرشاش الأول فيكون:

$$h_{p_1} = \frac{3\,Q_{sp}\cdot T_i}{\pi\, r_a^{\,3}}\left(r_a - r_{p_1}\right) \qquad (٦,٢٤)$$

كذلك عمق الماء المضاف إلى نقطة P من الرشاش الثاني يكون :

$$h_{p_1} = \frac{3\,Q_{sp}\cdot T_i}{\pi\, r_a^{\,3}}\left(r_a - r_{p_2}\right) \qquad (٦,٢٥)$$

وبالتالي يمكن إيجاد عمق الماء المضاف الكلي h_p إلى نقطة P من الرشاشين (١)و(٢) كالتالي:

$$h_p = \frac{3\,Q_{sp}\cdot T_i}{\pi\, r_a^{\,3}}\left(2r_a - r_{p_1} - r_{p_2}\right) \qquad (٦,٢٦)$$

كذلك يمكن إيجاد h_p عند استخدام اكثر من رشاشين. فمثلاً عند استخدام ثلاثة رشاشات يكون هناك تداخل بين دوائر البلل، وبالتالي يمكن إيجاد عمق الماء المضاف

الكـــلي إلى نقطة P والتي تبعد مسافات مختلفة r_{p1} ، r_{p2} ، r_{p3} من الرشاشات الثلاثة على التوالي. ويمكن إيجاد h_p كالتالي:

$$h_p = \frac{3\,Q_{sp}\cdot T_i}{\pi\, r_a^{\,3}}\left(3r_a - r_{p_1} - r_{p_2} - r_{p_3}\right) \qquad (٦,٢٧)$$

وهـــناك معادلـــة عامـــة يمكـــن استخدامها لإيجاد h_p عند استخدام أي عدد من الرشاشات (N_{sp}) كالتالي:

$$h_p = \frac{3\,Q_{sp}\cdot T_i}{\pi\, r_a^{\,3}}\left(N_{sp}\cdot r_a - r_{p_1} - r_{p_2} - r_{p_3} - r_{p_{N_{sp}}}\right) \qquad (٦,٢٨)$$

$$h_p = B\left(N_{sp}\cdot r_a - \sum_{i=1}^{Nsp} r_{p_i}\right) \qquad (٦,٢٩)$$

حيث أن:

$$B = \frac{3\,Q_{sp}\cdot T_i}{\pi\, r_a^{\,3}}$$

N_{sp} = عدد الرشاشات المستخدمة أثناء الري.

لذلك يمكن استخدام إحدى المعادلتين السابقتين لإيجاد عمق الماء المضاف إلى نقطة P من أي رشاش مستخدم.

(٦,٤) كفاءة وكفاية وانتظامية الري بالرش:

أن 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 كفـــاءة الري (Irrigation efficiency) كمفهوم عام عند تصميم وإدارة نظم الري ، ويمكـــن تقســـيم ذلك المفهوم إلى جزئين هي انتظامية الماء المضاف على المساحة المـــروية وكذلـــك الفواقـــد المائية أثناء عملية الري من الماء المضاف. فإذا كانت الانتظامية (Uniformity) ضعيفة أو الفواقد كبيرة فإن كفاءة الري تكون منخفضة مما يؤثـــر على إنتاجية المحصول وزيادة التكاليف. لذلك نجد أن مفهوم دراسة الكفاءة

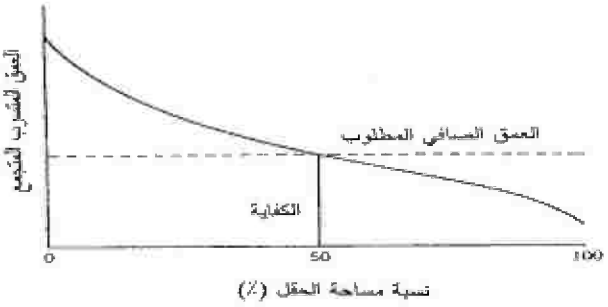
مـــع الأخذ في الاعتبار كفاية الري (Irrigation adequacy) التي تعطي افضل رطوبة للـــتربة بالنســـبة للنـــبات مع انتظامية توزيع تلك الرطوبة على المساحة المروية هو مطلوب حتى يمكن عمل التحسينات التي تؤدي إلى زيادة كفاءة استخدام مياه الري. ولكي يكون لكفاءة الري أهمية عملية يجب أن تقرن بكفاية الري ، ونجد أن العامل الذي يحدد كفاءة الري عند أي كفاية هو انتظامية الري. حيث تؤدي معايير الكفاءة والكفايـــة ومعامل التجانس دوراً هاماً في تقييم وتطوير نظم الري الحقلي وتستخدم هـــذه المعايير للموازنة بين مختلف أنواع نظم الري وذلك من خلال تقييم هذه النظم باعتماد هذه المعايير للتعبير عن جودة وحسن أداء هذه النظم.

كفاية الري Adequacy of Irrigation :

وهي تعني الوصول إلى أفضل رطوبة للتربة بالنسبة للنبات Optimum Moisture بحيـــث يحصل الحقل على كمية كافية من مياه الري المضافة للحصول على محصول جيد النوعية والكمية.

والكفايـــة 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 كـــان مســـتوى الكفايـــة 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) .

ويمكـــن تقيـــيم نظام الري لإيجاد الكفاية بإجراء تجارب حقلية لقياس أعماق المياه الواصلة إلى سطح التربة في علب تجميع (نفس طريقة قياس C_u). بعد انتهاء التجربة يتم قياس أعمـــاق المياه في كل علبة وكذلك مساحة فوهة كل علبة، ومن هذه البيانات يمكن رسم نموذج التوزيع التجميعي (التراكمي) المتكرر Cumulative Frequency Distribution Pattern كما في الشكل رقم (٦,٨). لإيجاد مستوى الكفاية عند تلك الرية.

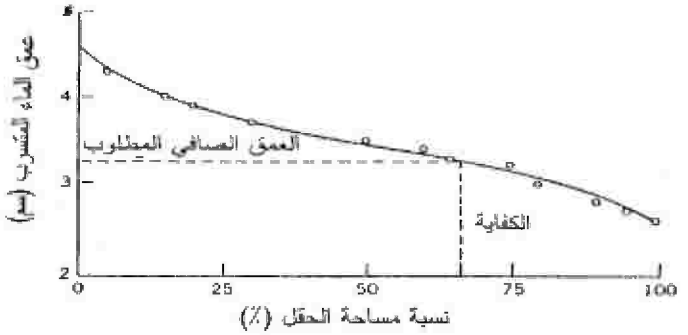


الشكل (٦,٨) نموذج التوزيع التجميعي (التراكمي) المتكرر لإيجاد مستوى الكفاية عند تلك الرية.

ويمكـــن رسم المنحنى السابق بتوقيع بيانات أعماق المياه المتجمعة مع مساحات أماكن علب التجميع يمثلها في هذه الحالة مساحة فوهة العلبة. بحيث يتم ترتيب الأعماق المـــتجمعة في العلـــب تنازلياً مع التجميع التراكمي لنسبة مساحة فوهة كل علبة وتوقيع الأعمـــاق على المحور الصادي بينما مساحة العلب التراكمية على المحور السيني كما في الشـــكل. ويتم إيجاد مستوى الكفاية عند نقطة تقاطع عمق ماء الري الصافي المطلوب (D_n) مـــع المـــنحنى (وهو في الشكل تعادل مستوى كفاية ٥٠٪). والمثال التالي يوضح كيفية إيجاد مستوى الكفاية عند إجراء تجربة حقلية.

مثال: عند حساب كفاية الري كانت أعماق المياه المتجمعة في علب التجميع كالتالي بعد تشغيل النظام لإعطاء عمق ٣,٢٥ سم . والمطلوب حساب كفاية الري.

عمق الماء المتجمع (سم) (١)	النسبة المئوية من الحقل (٪) (٢)	النسبة التراكمية من الحقل (٪) (٣)
4.3	5	5
4.0	5	10
4.0	5	15
3.9	5	20
3.7	5	25
3.7	5	30
3.6	5	35
3.5	5	40
3.5	5	45
3.5	5	50
--	--	--
--	--	--
--	--	--
2.6	5	100



من المنحني كانت الكفاية = ٦٧٪. وهذا يعني أن ٦٧٪ من مساحة الحقل حصلت على العمق المطلوب ٣,٢٥سم أو أكثر منه.

خطوات رسم المنحنى:

١ . ترتيب الأعماق تنازلياً كما في عمود (١).

٢ . حساب نسبة مساحة أماكن تجميع المياه والذي يمثلها مساحة فوهة علب التجميع كما في عمود (٢).

٣ . تجميع تراكمي للمساحات التي تمثل أماكن التجميع كما في عمود (٣).

٤ . توقيع بيانات العمود (١) مع العمود (٣) لإيجاد العلاقة بينهما.

٥ . من المنحنى الناتج من الخطوة رقم ٤ ومعرفة العمق المضاف يمكن إيجاد كفاية الري.

(٦,٥) كفاءات التصميم : Design Efficiencies

هناك ما يسمى بكفاءات التصميم أو المصمم تستخدم عند تصميم نظم الري بالرش. هذه الكفاءات تختلف عن الكفاءات التقليدية الأخرى والتي تستخدم عند تقييم نظم الري أثناء تشغيل النظام لري المحصول. أن كفاءات التصميم تستخدم عند تصميم نظام الري بعد تقدير متوسط عمق الماء المطلوب إضافته إلى منطقة المجموع الجذري بعد الأخذ في الاعتبار الفواقد المائية مثل فاقد التبخر وبعثرة الرياح وفاقد التسرب من أنابيب شبكة نظام الري ، وذلك للوصول إلى أن هناك

نسبة من الحقل تم ريها بكفاية ($P_a\%$) إلى العمق المطلوب (D_n) أو أكثر. ويمكن كتابة تلك المعادلات كالتالي:

١. كفاءة توزيع المصمم Designer Distribution Efficiency :

وهي مدلول يستخدم من قبل المصمم لمعرفة مدى توزيع المياه المضافة أثناء الري إلى المساحة المروية بعد معرفة أو تقدير معامل التجانس (C_u) ومستوى الكفاية ($P_a\%$) ويمكن إيجادها من إحدى المعادلات التالية:

$$DE_{Pa} = \frac{D_n \ at \ Pa\%}{D_{inf.}} \times 100 \qquad (٦,٣١)$$

حيث أن:

DE_{Pa} = كفاءة توزيع المصمم عند نسبة كفاية معينة (P_a) لنسبة من الحقل المروي.

D_n = أقل عمق ماء مطلوب إضافته لنسبة من الحقل تم ريها بكفاية معينة.

D_{inf} = متوسط عمق الماء المتسرب داخل التربة.

أيضا هناك معادلة يمكن استخدامها في إيجاد DE_{Pa} هي:

$$DE_{Pa} = 100 + \left[606 - 24.9\,P_a + 0.349\,P_a^2 - 0.00186\,P_a^3\right] \cdot \left(1 - \frac{C_u}{100}\right) \qquad (٦,٣٢)$$

٢. كفاءة إضافة المصمم Designer Application Efficiency :

وهي مدلول على تأدية النظام لإعطاء النبات كمية المياه المطلوبة عند نسبة كفاية معينة لنسبة المساحة المطلوبة. ويتم تحديد كفاءة إضافة المصمم (E_{Pa}) من قبل المصمم أثناء التصميم لأي نسبة من المساحة يتم ريها بكفاية معينة ويمكن إيجادها كالآتي :

$$E_{Pa} = \frac{D_n \ at \ Pa\%}{D_g} \times 100 \qquad (٦,٣٣)$$

حيث أن:

E_{Pa} = كفاءة إضافة المصمم عند نسبة كفاية معينة لنسبة من الحقل المروي.

في الواقـــع هاتين الكفاءتين يتم استخدامهما عند تصميم نظام الري من قبل المصمم بعد تحديد نسبة المساحة المراد ريها بكفاية معينة. بينما الكفاءات التقليدية مثل E_a ، D_a يتم استخدامهما لتقييم تأدية النظام أثناء الري. وفي الواقع الفرق بين هذه الكفاءات دقيق وليس من السهل إدراكه ، وعادة قيم E_{Pa} ، DE_{Pa} أكبر من أو يساوي E_a ، D_a. أن كفاءات التصميم كل منهما مرتبط بالأخرى حيث أن :

$$E_{Pa} = DE_{Pa} \cdot R_e \cdot O_e \qquad (٦,٣٤)$$

$$DE_{Pa} = \frac{E_{Pa}}{R_e \cdot O_e} \qquad (٦,٣٥)$$

حيث أن :

R_e = نسبة المياه الفعلية التي وصلت إلى سطح التربة من المياه المضافة (٪).

$$E = 1 - R_e \qquad (٦,٣٦)$$

E = نسبة الفاقد بالتبخر وبعثرة الرياح وتسمى فواقد الرش.

O_e = نسبة المياه الخارجة من الرشاشات إلى الماء الداخل إلى النظام (٪).

$$L_k = 1 - O_e \qquad (٦,٣٧)$$

L_k = نسبة التسرب من أنابيب شبكة الري قبل الوصول إلى فوهة الرشاشات.

ويمكن افتراض أن O_e يعادل ٠,٩٩ للأنابيب الحديثة أو ذات الصيانة الجيدة ، بينما O_e يساوي ٠,٩٠ للأنابيب ذات الصيانة الغير جيدة.

لذلـــك نجد أن كفاءات التصميم تستخدم عند تصميم نظم الري بالرش عند تحديد أقـــل عمـــق مطلوب إضافته عند مستوى كفاية معينة والى نسبة مساحة محددة من الحقـــل حتى يمكن تحقيق انتظامية معينة. كذلك يؤخذ في الاعتبار نسبة فواقد الرش والتسرب من الأنابيب. بينما الكفاءات التقليدية لا تأخذ في الاعتبار إلا نسبة الفواقد أثناء تقييم النظام في الحقل حتى يمكن تحسين كفاءة النظام وإجراء الصيانة المطلوبة.

أن قيم كفاءة التوزيع DE_{Pa} للمياه المضافة في الجدول رقم (٦,١) تمثل قيم مختلفة لـ C_u مع افتراض أن اقل عمق مطلوب إضافته قد تحقق عند نسبة مساحة محددة ومستوى كفاية معينة. فمثلاً عندما تكون $C_u = 86\%$ ومستوى كفاية $P_a = 80\%$ من الجدول رقم (٦,١) تكون $DE_{80} = 85\%$ هذا يعني أن ٨٠٪ من المساحة المروية من الحقل سوف تحصل على ٨٥٪ من متوسط العمق المضاف أو اكثر ، بينما هناك حوالي ٢٠٪ من المساحة المروية حصلت على أقل من ٨٥٪ من العمق المضاف.

(٦,٦) العلاقة بين الكفاية والانتظامية:

يمكن القول بشكل عام بأن كفاءة التوزيع تقل كلما زادت كفاية الري عند ثبات الانتظامية (C_u) . وعند ثبات كمية المياه المضافة للحقل تزداد كفاءة وكفاية الري كلما زادت انتظامية الري حيث يزداد عمق الماء الصافي ويقل فاقد التسرب العميق، جدول رقم (٦,١).

يمكن استخدام الكفاية ومعامل التجانس وكذلك كفاءة توزيع المصمم في إيجاد متوسط عمق الماء المطلوب إضافته إلى نسبة المساحة المراد ريها من الحقل. الجدول رقم (٦,١) يستعان به بعد معرفة أثنين من العوامل السابقة لتحديد المعامل المجهول.

العلاقة التي تربط بين C_u ، DE_{Pa} هي تكاليف النظام، قيمة المحصول والمياه المستخدمة وتوفرها، كذلك تكاليف التشغيل والصيانة لنظام الري. وعموماً تزيد قيمة معامل التجانس عند تقليل المسافة بين الخطوط والرشاشات. والمحاصيل تختلف في درجات تحملها للجفاف من عدمه، ولذلك لابد من تحديد هذه العلاقة بعد معرفة نوع المحصول وقيمته وتكاليف المياه المستخدمة. مع ملاحظة أن P_a تزداد مع زيادة عمق الماء المضاف، كذلك يزداد التسرب العميق مع زيادة P_a أو عند انخفاض قيم C_u. والجدول رقم (٦,١) يوضح العلاقة بين هذه العوامل عند اختلاف قيمة كل معامل. فمثلاً عندما تكون نسبة الكفاية ($P_a\%$) ٨٠٪ ومعامل التجانس (C_u) ٨٦٪ فيمكن من الجدول رقم (٦,١) إيجاد قيمة DE_{80} التي تساوي ٨٥٪.

الجدول رقم (٦,١) أداء نظام الري بالرش عند التوزيع العادي المنتظم.

معامل التجانس Cu (٪)	متوسط الانحراف المعياري Sd	الكفاءة	نسبة المساحة المروية بكفاية (٪)									
			٩٩,٩	٩٥	٩٠	٨٥	٨٠	٧٥	٧٠	٦٥	٦٠	٥٥	٥٠
٩٩,٩	٠,٠٠١٢٥	D_E	٠,٩٩٦	٠,٩٩٨	٠,٩٩٨	٠,٩٩٩	٠,٩٩٩	١,٠٠٠	١,٠٠٠	١,٠٠٠	١,٠٠٠	١,٠٠٠	١,٠٠٠
		E_S	٠,٩٩٦	٠,٩٩٨	٠,٩٩٨	٠,٩٩٩	٠,٩٩٩	٠,٩٩٩	٠,٩٩٩	٠,٩٩٩	٠,٩٩٩	٠,٩٩٩	٠,٩٩٩
٩٨	٠,٠٢٥١	D_E	٠,٩٢٣	٠,٩٥٩	٠,٩٦٨	٠,٩٧٤	٠,٩٧٩	٠,٩٨٣	٠,٩٨٧	٠,٩٩٠	٠,٩٩٤	٠,٩٩٧	١,٠٠٠
		E_S	٠,٩٢٣	٠,٩٥٨	٠,٩٦٧	٠,٩٧٢	٠,٩٧٦	٠,٩٧٩	٠,٩٨٢	٠,٩٨٤	٠,٩٨٦	٠,٩٨٨	٠,٩٩٠
٩٦	٠,٠٥٠١	D_E	٠,٨٤٥	٠,٩١٧	٠,٩٣٦	٠,٩٤٨	٠,٩٥٨	٠,٩٦٦	٠,٩٧٤	٠,٩٨١	٠,٩٨٧	٠,٩٩٤	١,٠٠٠
		E_S	٠,٨٤٥	٠,٩١٦	٠,٩٣٣	٠,٩٤٤	٠,٩٥٢	٠,٩٥٩	٠,٩٦٤	٠,٩٦٩	٠,٩٧٣	٠,٩٧٩	٠,٩٨٠
٩٤	٠,٠٧٥٢	D_E	٠,٧٦٨	٠,٨٧٦	٠,٩٠٣	٠,٩٢٢	٠,٩٣٧	٠,٩٤٩	٠,٩٥٩	٠,٩٦٧	٠,٩٧١	٠,٩٨١	١,٠٠٠
		E_S	٠,٧٦٨	٠,٨٧٥	٠,٩٠٠	٠,٩١٦	٠,٩٢٨	٠,٩٣٨	٠,٩٤٦	٠,٩٥٣	٠,٩٥٩	٠,٩٦٥	٠,٩٧٠
٩٢	٠,١٠٠٣	D_E	٠,٦٩٠	٠,٨٣٥	٠,٨٧١	٠,٨٩٦	٠,٩١٥	٠,٩٢٢	٠,٩٤٧	٠,٩٦١	٠,٩٧٥	٠,٩٨٧	١,٠٠٠
		E_S	٠,٦٩٠	٠,٨٣٣	٠,٨٦٧	٠,٨٨٨	٠,٩٠٤	٠,٩١٧	٠,٩٢٨	٠,٩٣٨	٠,٩٤٦	٠,٩٥٣	٠,٩٦٠
٩٠	٠,١٢٥٣	D_E	٠,٦١٣	٠,٧٩٤	٠,٨٣٩	٠,٨٧٠	٠,٨٩٤	٠,٩١٥	٠,٩٣٤	٠,٩٤٧	٠,٩٥٧	٠,٩٦٨	١,٠٠٠
		E_S	٠,٦١٣	٠,٧٩١	٠,٨٣٣	٠,٨٦٠	٠,٨٨٧	٠,٩١٠	٠,٩٢٢	٠,٩٣٢	٠,٩٤١	٠,٩٤٩	٠,٩٥٠
٨٨	٠,١٥٠٤	D_E	٠,٥٣٥	٠,٧٥٣	٠,٨٠٧	٠,٨٤٤	٠,٨٧٣	٠,٨٩٩	٠,٩٢٠	٠,٩٤٢	٠,٩٦٢	٠,٩٨١	١,٠٠٠
		E_S	٠,٥٣٥	٠,٧٤٩	٠,٨٠٠	٠,٨٣٢	٠,٨٥٦	٠,٨٧٦	٠,٨٩٢	٠,٩٠٦	٠,٩١٩	٠,٩٣٠	٠,٩٤٠
٨٦	٠,١٧٥٥	D_E	٠,٤٥٨	٠,٧١١	٠,٧٧٥	٠,٨١٨	٠,٨٥٢	٠,٨٨٢	٠,٩٠٨	٠,٩٢٢	٠,٩٣٦	٠,٩٤٨	١,٠٠٠
		E_S	٠,٤٥٨	٠,٧٠٧	٠,٧٦٧	٠,٨٠٤	٠,٨٣٢	٠,٨٥٥	٠,٨٧٤	٠,٨٩١	٠,٩٠٥	٠,٩١٨	٠,٩٣٠
٨٤	٠,٢٠١٥	D_E	٠,٣٨٠	٠,٦٧٠	٠,٧٤٣	٠,٧٩٢	٠,٨٣١	٠,٨٦٥	٠,٨٩٥	٠,٩٢٣	٠,٩٤٩	٠,٩٧٥	١,٠٠٠
		E_S	٠,٣٨٠	٠,٦٦٦	٠,٧٢٣	٠,٧٧٦	٠,٨٠٩	٠,٨٣٥	٠,٨٥٩	٠,٨٧٥	٠,٨٩٢	٠,٩٠٦	٠,٩٢٠
٨٢	٠,٢٢٥٦	D_E	٠,٣٠٣	٠,٦٢٩	٠,٧١١	٠,٧٦٦	٠,٨١٠	٠,٨٤٨	٠,٨٨٢	٠,٩١٣	٠,٩٤٣	٠,٩٧١	١,٠٠٠
		E_S	٠,٣٠٣	٠,٦٢٤	٠,٧٠٠	٠,٧٤٩	٠,٧٨٥	٠,٨١٤	٠,٨٣٩	٠,٨٦٠	٠,٨٧٨	٠,٨٩٥	٠,٩١٠
٨٠	٠,٢٥٠٧	D_E	٠,٢٢٥	٠,٥٨٨	٠,٦٧٩	٠,٧٤٠	٠,٧٨٩	٠,٨٢٦	٠,٨٥٦	٠,٨٨٣	٠,٩٠٣	٠,٩٢٧	١,٠٠٠
		E_S	٠,٢٢٥	٠,٥٨٢	٠,٦٦٧	٠,٧٢١	٠,٧٦٣	٠,٧٩٣	٠,٨٢١	٠,٨٤٤	٠,٨٦٥	٠,٨٨٣	٠,٩٠٠
٧٨	٠,٢٧٥٧	D_E	٠,١٤٨	٠,٥٤٦	٠,٦٤٧	٠,٧١٤	٠,٧٦٨	٠,٨١٤	٠,٨٥٥	٠,٨٩٠	٠,٩٣٠	٠,٩٦٥	١,٠٠٠
		E_S	٠,١٤٨	٠,٥٤١	٠,٦٣٣	٠,٦٩٣	٠,٧٣٣	٠,٧٧٣	٠,٨٠٣	٠,٨٢٩	٠,٨٥١	٠,٨٧١	٠,٨٩٠
٧٦	٠,٣٠٠٨	D_E	٠,٠٧١	٠,٥٠٥	٠,٦١٤	٠,٦٨٨	٠,٧٤٧	٠,٧٩٧	٠,٨٤٢	٠,٨٨٤	٠,٩٢٤	٠,٩٦٩	١,٠٠٠
		E_S	٠,٠٧٠	٠,٤٩٩	٠,٦٠٠	٠,٦٦٥	٠,٧١٣	٠,٧٥٢	٠,٧٨٥	٠,٨١٣	٠,٨٣٨	٠,٨٦٠	٠,٨٨٠
٧٤	٠,٣٢٥٨	D_E		٠,٤٦٤	٠,٥٨٢	٠,٦٣٢	٠,٦٧٦	٠,٧٢٦	٠,٧٨٠	٠,٨٢٩	٠,٨٧٥	٠,٩١٧	١,٠٠٠
		E_S		٠,٤٥٧	٠,٥٦٧	٠,٦٣٧	٠,٦٨٩	٠,٧٣١	٠,٧٦٧	٠,٧٩٧	٠,٨٢٤	٠,٨٤٨	٠,٨٦٩
٧٢	٠,٣٥٠٩	D_E		٠,٤٢٣	٠,٥٥٠	٠,٦٣٦	٠,٧٠٤	٠,٧٦٣	٠,٨١٦	٠,٨٦٥	٠,٩١١	٠,٩٥٦	١,٠٠٠
		E_S		٠,٤١٥	٠,٥٣٣	٠,٦٠٩	٠,٦٦٥	٠,٧١١	٠,٧٤٩	٠,٧٨٢	٠,٨١١	٠,٨٣٦	٠,٨٥٩
٧٠	٠,٣٧٦٠	D_E		٠,٣٨١	٠,٥١٠	٠,٥٩٨	٠,٦٦٠	٠,٧٢٧	٠,٨٠٢	٠,٨٥٥	٠,٩٠٥	٠,٩٥٣	١,٠٠٠
		E_S		٠,٣٧٣	٠,٥٠٠	٠,٥٨١	٠,٦٤١	٠,٦٩٠	٠,٧٣١	٠,٧٦٦	٠,٧٩٧	٠,٨٢٥	٠,٨٤٩
٦٨	٠,٤٠١١	D_E		٠,٣٤٠	٠,٤٨٦	٠,٥٨٥	٠,٦٦٢	٠,٧٣٠	٠,٧٩٠	٠,٨٤٥	٠,٨٩٩	٠,٩٤٩	١,٠٠٠
		E_S		٠,٣٣٢	٠,٤٦٧	٠,٥٥٣	٠,٦١٧	٠,٦٦٩	٠,٧١٣	٠,٧٥١	٠,٧٨٤	٠,٨١٣	٠,٨٣٩
٦٦	٠,٤٢٦١	D_E		٠,٢٩٩	٠,٤٥٤	٠,٥٥٩	٠,٦٤١	٠,٧١٣	٠,٧٧٧	٠,٨٣٦	٠,٨٩٢	٠,٩٤٦	١,٠٠٠
		E_S		٠,٢٩٠	٠,٤٣٣	٠,٥٢٥	٠,٦٠٣	٠,٦٦٥	٠,٦٩٥	٠,٧٣٥	٠,٧٧٠	٠,٨٠١	٠,٨٢٩
٦٤	٠,٤٥١٢	D_E		٠,٢٥٧	٠,٤٢١	٠,٥٣٣	٠,٦٢٠	٠,٦٩٦	٠,٧٦٣	٠,٨٢٦	٠,٨٨٦	٠,٩٤٣	١,٠٠٠
		E_S		٠,٢١	٠,٤٠٠	٠,٤٩٧	٠,٥٦٩	٠,٦٢٨	٠,٦٧٧	٠,٧١٩	٠,٧٥٧	٠,٧٨٩	٠,٨١٩
٦٢	٠,٤٧٦٣	D_E		٠,٢١	٠,٣٨٩	٠,٥٠٧	٠,٥٩٩	٠,٦٧٩	٠,٧٥٠	٠,٨١٧	٠,٨٧٩	٠,٩٤٠	١,٠٠٠
		E_S		٠,٢٠	٠,٣٦٧	٠,٤٦٩	٠,٥٤٥	٠,٦٠٧	٠,٦٥٩	٠,٧٠٤	٠,٧٤٣	٠,٧٧٨	٠,٨٠٩
٦٠	٠,٥٠١٣	D_E			٠,٣٥٧	٠,٤٠١	٠,٥٧٨	٠,٦٦٢	٠,٧٣٧	٠,٨٠٧	٠,٨٧٣	٠,٩٣٧	١,٠٠٠
		E_S			٠,٣٣٣	٠,٤٤١	٠,٥٢١	٠,٥٨٧	٠,٦٤١	٠,٦٨٨	٠,٧٣٠	٠,٧٦٦	٠,٧٩٩

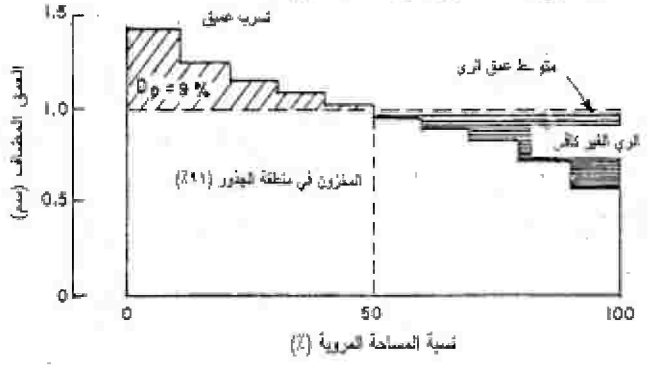
حيث: D_E تعني DE_{Pa} : كفاءة توزيع المصمم عند مستوى كفاية معينة.

E_S تعني ES_{Pa} : كفاءة التخزين عند مستوى كفاية معينة.

وهـــذا يعـــني أن كل وحدة عمق (مثلاً سم) من الماء المضاف الذي حصل عليه المحصـــول أو التربة نجد أن ٨٠٪ من المساحة المروية سوف تحصل على ٨٥٪ من متوســـط عمق الماء المضاف أو أكثر من D_a، بينما نجد أن ٢٠٪ من نسبة المساحة المروية تحصل على أقل من ٨٥٪ من عمق الماء المضاف. وفي الواقع ليس هناك نظام ري يضـــيف مـــياه الري بانتظام تام على المساحة المروية، ولكن قد تختلف هذه الانتظامـــية مـــن حقل إلى آخر حسب نوع النظام، والعوامل التشغيلية وتصميم النظام وعناصر المناخ السائدة. لذلك فإن معرفة كفاية الري لذلك الحقل أو النظام تفـــيد في تحديـــد المساحات التي تحصل على أقل من متوسط عمق الماء المضاف، وكذلك في معرفة مقدار التسرب العميق.

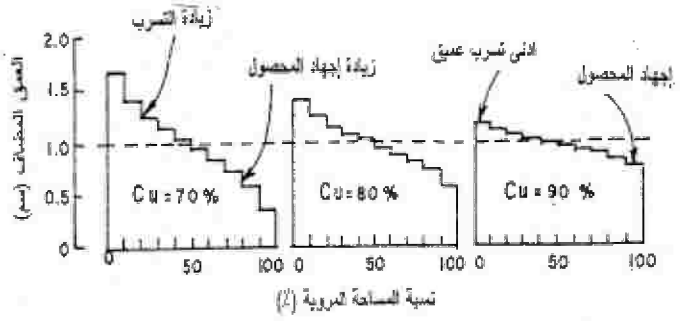
الأشـــكال التالية توضح العلاقة بين كفاءة التوزيع (DE_{Pa}) ومستوى الكفاية (P_a) ، ومعـــامل الـــتجانس (C_u) ، وكذلك عمق الماء المتسرب في منطقة المجموع الجذري أو أسفل منطقة المجموع الجذري (D_P) .

الشكل رقم (٦,٩) يبين مقدار التسرب العميق (D_P) وكذلك المساحة التي حصل بها رياً ناقصاً عند معامل تجانس ٨٠٪ ومستوى كفاية ٥٠٪ ، والعمق الصافي (D_n) كان ١سم. حيث نجد أن العمق الكلي المتسرب إلى منطقة المجموع الجذري حوالي ٩١٪ من الماء الواصل (الداخل) إلى التربة (D_{sw}) .



الشكل رقم (٦,٩) توزيع مياه الري عند معامل تجانس ٨٠٪ ومستوى كفاية ٥٠٪ ومتوسط عمق ماء الري المضاف ١ سم.

بينما الشكل رقم (٦,١٠) يوضح توزيع المياه على المساحة المروية عند مستوى كفاية ٥٠٪، وثلاث مستويات من الانتظامية لمعامل التجانس، وعمق ماء مضاف متساوي هو ١ سم. لذلك يتضح من الشكل زيادة التسرب العميق وإجهاد المحصول (لزيادة نقص الري) مع انخفاض قيمة معامل التجانس.



الشكل رقم (٦,١٠) توزيع مياه الري بمستوى كفاية ٥٠٪ وعند ثلاث مستويات من الانتظامية ومتوسط عمق الري المطلوب ١ سم.

أما الشكل رقم (٦,١١) يوضح بيانياً نموذج توزيع المياه المضافة داخل التربة عند مستوى كفاية ٩٥٪، ومعامل تجانس ٨٤٪ ومتوسط عمق الماء الصافي (D_n) هو ٢ سم. لذلك يبين الشكل أن عمق الماء المتسرب أسفل منطقة المجموع الجذري يقل بزيادة المساحة المروية. كذلك يمكن القول أن كفاءة التوزيع منخفضة حيث كانت ٦٧٪ (من الجدول رقم (٦,١) عند C_u =84% ، P_a = 95% نجد أن $(DE_{Pa} = 67\%)$.

هناك معادلات تجريبية يمكن استخدامها لإيجاد أعماق المياه المتسربة تحت سطح التربة كالتالي:

$$Dn_{Pa} = DE_{Pa} \cdot D_{inf} \qquad (٦,٣٨)$$

$$Es_{Pa} = 100 - Dp(\%) \qquad (٦,٣٩)$$

حيث أن:

D_{nPa} = متوسط عمق الماء المخزون في منطقة المجموع الجذري عند مستوى الكفاية المطلوب.

E_{sPa} = كفاءة تخزين مياه الري في منطقة المجموع الجذري (٪) عند كفاية معينة.

$Dp(\%)$ = نسبة التسرب العميق من العمق المتسرب (٪).

$$D_p\ (mm) = D_p\ (\%) \times D_{inf}\ (mm)$$

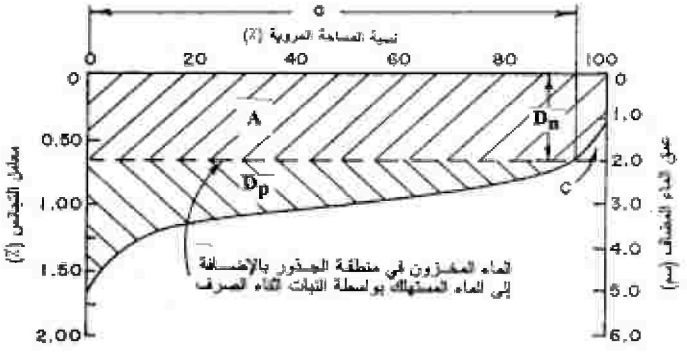
ومن المعلوم أن كفاءة التخزين التقليدية هي :

$$E_s = \frac{D_z}{D_n} \times 100 \qquad (٦,٤٠)$$

حيث أن :

D_z = متوسط عمق الماء المخزون في منطقة الجذور (مم).

ويمكن الاستعانة بالجدول رقم (٦,١) لإيجاد DE_{Pa} ، E_s عند معامل تجانس معين ومستوى كفاية مطلوب.



A : التسرب العميق ، D_p : النقص في مياه الري ، C : العلاقة لمعامل تجانس ٨٤٪، ومستوى الكفاية ٩٥٪، والعمق الصافي لماء الري المطلوب ٢ سم.

الشكل رقم (٦,١١) العلاقة بين نسبة المساحة المروية بكفاية والماء المخزون في منطقة الجذور

(٦,٧) الكفاءة المركبة: Combined Efficiency

وهي تتكون من كفاءة الإضافة وكفاءة التوزيع لنظام الري. وهذه الكفاءة هي النسبة بين حجم الماء المخزون في منطقة المجموع الجذري إلى حجم الماء الخارج من الرشاشات (أو المنقطات لنظام التنقيط). هذه الكفاءة لابد أن تأخذ في الاعتبار مقـــدار التســـرب العميق وفاقد التبخر وبعثرة الرياح ، بينما يكون فاقد الجريان السطحي صفراً حيث أن التصميم الجيد لا يسمح بتكون جريان سطحي. ويمكن كتابة المعادلة كالتالي:

$$E_{Co} = (I - E) \times (I - D_P) \qquad (٦,٤١)$$

الجـــدول رقم (٦,٢) يوضح قيم كفاءة التوزيع والإضافة لمجموعة من نظم الري عند معامل تجانس ومستوى كفاية معين حسب التجارب الحقلية. مع إعطاء قيمة التسرب العميق وفاقد التبخر وبعثرة الرياح لتلك النظم وحسب نوع المناخ أثناء التجربة.

الجدول رقم (٦,٢) كفاءات نموذج التوزيع والإضافة المركبة الممكنة لنظم الري بالرش.

نوع النظام	معامل التجانس C_u (٪)	الكفاية P_a (٪)	الجريان السطحي R_0 (٪)	التسرب العميق D_p (٪)	فاقد التبخر وبعثرة الرياح E (٪)	الكفاءة المركبة E_{co} (٪)
منقول يدوياً ونصف الثابت	٨٢	٧٥	٠	١٨	٨ — ١٥	٧٠ — ٧٥
ثابت (سرعة رياح منخفضة)	٧٠	٧٥	٠	٣٠	١٥ — ٢٢	٥٥ — ٦٠
ثابت (سرعة رياح عالية)	٨٢	٧٥	٠	١٨	١٥ — ٢٢	٦٤ — ٧٠
المحوري و ذو الحركة المستقيمة	٩٠	٧٥	٠	١٠	١٠ — ١٨	٧٤ — ٨١
النظام المدفعي (سرعة رياح منخفضة)	٦٥	٧٥	٠	٣٥	٣ — ٥	٦٢ — ٦٣
النظام المدفعي (سرعة رياح عالية)	٨٢	٧٥	٠	١٨	٣ — ٥	٧٨ — ٨٠
الري السطحي نظم الري بالتنقيط						٢٠ — ٩٠ أكبر من ٩٠

(٦,٨) أمثلة محلولة :

مثال١ :

المطلوب إيجاد العمق اللازم إضافته عند مستوى كفاية ٨٠٪، ومعامل التجانس ٨٦٪، حيث أن متوسط أقل عمق مطلوب إضافته إلى منطقة المجموع الجذري ١ سم.

الحـــل

من الجدول رقم (٦,١) عند C_u = ٨٦٪ ، P_a = ٨٠٪ نجد أن $DE_{80} = 85\%$

وبالـــتالي يكـــون العمق المطلوب أضافته (D_{inf}) بعد طرح الفواقد المائية (التبخر وبعثرة الرياح + التسرب العميق) يساوي :

$$D_{E_{80}} = \frac{D_n}{D_{inf}}$$

$$0.85 = \frac{1\ cm}{D_{inf}}$$

$$\therefore D_{inf} = \frac{1}{0.85} = 1.18\ cm$$

مثال٢ :

إذا كانت البيانات كالتالي : $D_n = 1.0\ cm$, $P_a = 80\ \%$, $C_u = 70\ \%$

المطلوب إيجاد : DE_{80} , D_{inf}

الحـــل

من الجدول رقم (٦,١) بمعلومية قيم C_u , P_a فإن $DE_{80} = 68\ \%$

ولإيجاد D_{inf} فإن :

$$D_{E_{80}} = \frac{D_n}{D_{inf}}$$

$$0.68 = \frac{1\,cm}{D_{inf}}$$

$$\therefore D_{inf} = \frac{1}{0.68} = 1.47\ cm$$

مثال ٣:

نظام نظام ري بالرش إذا علمت أن معامل التجانس له ٨٠٪ ومستوى الكفاية ٧٥٪ ومتوسط عمق المياه في علب التجميع ٢ سم. أحسب:

١. عمق الماء الواصل إلى ٧٥٪ من المساحة المروية بكفاية.

٢. عمق التسرب العميق.

الحـــل

من الجدول (٦,١) وعندما تكون C_u = ٨٠٪ ومستوى الكفاية (P_a) = ٧٥٪ فإن:

$E_{S0.75} = 0.793$ ، $D_{E0.75} = 0.831$

١. عمق الماء الواصل إلى ٧٥٪ من المساحة المروية:

$\because D_n = D_{E_{75}} \cdot D_{inf}$

$\therefore D_n = 0.831 \times 2 = 1.66\ cm$

٢. أما التسرب العميق يكون :

$\because E_{s_{0.75}} = 1 - D_P$

$0.793 = 1 - D_P$

$\therefore D_P = 1 - 0.793 = 0.207$

$= 0.207 \times D_{inf} = 0.207 \times 2\,cm$

$= 0.41\,cm$

مثال ٤:

إذا أعطيت البيانات التالية لنظام ري بالرش :

$C_u = 70\,\%$ ، $D_p = 31\,\%$ ، $E = 6\,\%$ ، $P_a = 75\,\%$

أوجد : E_{Co} ، E_{sPa}

الحـــل

$$\because E_{Co} = (1-E)\times(1-D_P)$$
$$= (1-0.06)\times(1-0.31) = 0.65 = 65\%$$

من الجدول رقم (٦,١) وبمعلومية P_a, C_u تكون : $E_{S0.75} = 0.69$

أومن المعادلة حيث أن :

$$E_{s_{Pa}} = 100 - D_P$$

$$E_{s_{Pa}} = 100 - 31 = 69\%$$

مثال ٥:

عـــند تقيـــيم نظـــام ري بالرش تقليدي ثابت المسافة بين الرشاشات به ١٢ م ، والمسافة بين الخطوط ١٢ م ، وتصرف الرشاش ٠,٤٢ لتر/ث . عند تشغيل النظام لمدة ٤٥ دقيقة كانت حجوم المياه المتجمعة في علب التجميع (سم٣) هي :

٥٢	٥٧	٦٢	٦٠
٦٣	٥١	٥٦	٥٤
٥٥	٤٧	٤٨	٥٠
٥٣	٦١	٤٦	٤٩

فإذا علمت أن قطر علبة التجميع ١٠,٥ سم .

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

الحـــل

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

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

أولاً: نحسب متوسط الحجم المتجمع للبيانات المتاحة

$$\sum X_i = 60+62+57+52+54+56+51+63+50+48+47+55+49+46+61+53 = 864 cm^3$$

$$n = 16$$

$$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{854}{16} = 54\ cm^3$$

ثانياً: نحسب انحراف كل حجم متجمع عن متوسط الحجم المتجمع المحسوب سابقاً (٥٤سم٣) دون أخذ الإشارة في الاعتبار أي الفرق المطلق بين العمق المتجمع وبين المتوسط

$\left|X_i - \overline{X}\right|$:

٦	٨	٣	٢
صفر	٢	٣	٩
٤	٦	٧	١
٥	٨	٧	١

نحسب مجموع الانحراف عن المتوسط

$$\sum\left|X_i - \overline{X}\right| = 6+8+3+2+0+2+3+9+4+6+7+1+5+8+7+1 = 72 cm^3$$

ثالثاً: نحسب معامل التجانس C_u

$$C_u = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{i=n}\left|X_i - \overline{X}\right|}{n \times \overline{X}}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{72}{16 \times 54}\right) \times 100 = 91.6\%$$

نحسب متوسط حجم المياه المتجمع في الربع الأقل (d) : أي البحث عن أقل القيم ونأخذ أقل أربعة حجوم ونحسب متوسطها والسبب في أخذ أقل أربع حجوم هو أن عدد الحجوم الكلية ١٦ فيكون الربع لها هو أربعة حجوم:

$$d = \frac{46+47+48+49}{4} = 47.5\ cm^3$$

رابعاً: نحسب معامل التوزيع D_u

$$D_u = \frac{d}{X} \times 100 = \frac{47.5}{54} \times 100 = 88\%$$

نحسب معدل الإضافة R_a

$$R_a = \frac{Q_{SP}}{S_L \times S_S} = \frac{0.42}{12 \times 12} \times 3600 = 10.5\ mm/hr$$

نحسب عمق الماء المضاف D_g :

$$D_g = R_a \times T_i = 10.5 \times \frac{45}{60} = 7.87\ mm$$

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

$$(D_g)_{Volume} = (D_g)_{depthe} \times A_{Can} = \frac{7.87}{10} \times \frac{\pi}{4}(10.5)^2 = 68.19\ cm^3$$

خامساً: كفاءة إضافة المياه (E_a)

$$E_a = \frac{D_a}{D_g} \times 100 = \frac{\overline{X}}{D_g} \times 100 = \frac{54}{68.19} \times 100 = 79.2\%$$

كفاءة إضافة المياه الممكنة في الربع الأقل $(PELQ)$:

$$PELQ = \frac{d}{D_g} \times 100 = \frac{47.5}{68.19} \times 100 = 67\%$$

فاقد التبخر (E) :

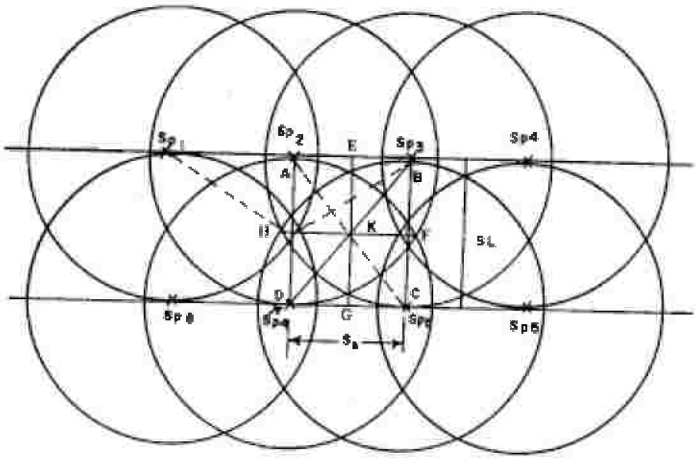
$$E = \frac{D_g - \overline{X}}{D_g} \times 100 = \frac{68.19 - 54}{68.19} \times 100 = 20.8\%$$

مثال ٦:

في نظام ري بالرش تقليدي إذا كانت الرشاشات مرتبة على شكل مستطيل وتعطي نموذج توزيع للمياه على شكل مثلث. تصرف الرشاش ١,٩٦ م٣/ساعة وضغط تشغيله ٣٠٠ ك.بسكال ، والمســـافة بين الرشاشات به ١٢ × ١٥ متر، وقطر البلل للرشاش ٣٠ متر.

إذا تم تشـــغيل الـــنظام لمـــدة ثلاثة ساعات. أوجد أعماق المياه المتوقع تجميعها في النقاط *A,B,C,D,E,F,G,H,K* في الشكل (٦,١٢) ثم أحسب معامل التجانس ومعامل التوزيع.

الحـــل



الشكل رقم (٦,١٢) ترتيب وتداخل دوائر البلل للرشاشات على الخطوط الفرعية.

أولاً: نحسب أقصى عمق للرشاش وهو يكون عند موقع الرشاش

$$h = \frac{3\,Q_{sp}\cdot T_i}{\pi\, r_a^{\,2}} = \frac{3\times 1.96\times 3}{\pi\times 15^2} = 0.025\ m = 25\ mm$$

ثانياً: لحساب معامل التوزيع:

١. نختـــار أربعـــة رشاشات في وسط الحقل مكونين مستطيل (الرشاشات أرقام ٢،٣،٦،٧) ونحدد نقطة قياس عند كل موضع للرشاشات ولتكن *A,B,C,D* ثم نقسم هذه المساحة إلى مستطيلات وتكون أركان هذه المستطيلات هي نقط قياس داخل أو على حدود المساحة *A,B,C,D* ففي المثال تم تقسيم المساحة إلى أربعـــة مستطيلا داخلية بواسطة النقاط *E,F,G,H,K* وبالتالي تكون اجمالي نقط

القياس هي تسع نقاط A,B,C,D,E,F,G,H,K وهي نقاط اختياريه يمكن أن تزيد عددها أو تنقص حسب المسافات البينية بين الرشاشات.

٢. نقوم بحساب عمق الماء المتجمع عند كل نقطة من نقاط القياس A,B,C,D,E,F,G,H,K مستخدمين المعادلة:

$$h_p = \frac{h}{r_a}\left(N_{sp}\cdot r_a - \sum_{i=1}^{Nsp} r_{p_i}\right)$$

حساب عمق الماء عند النقطة A :

النقطة A يأتي لها المياه من ثلاثة رشاشات كما يتضح من الرسم وهي الرشاشات أرقام (١،٢،٣) فتصبح المعادلة:

$$h_A = \frac{h}{r_a}\left(N_{sp}\cdot r_a - r_{A_1} - r_{A_2} - r_{A_3}\right) = \frac{25}{15}\left(3\times 15 - 12 - 0 - 12\right) = 35\ mm$$

حساب عمق الماء عند النقاط B,C,D :

بالتماثل يكون الأعماق عند هذه النقاط متساوية وتساوي العمق عند نقطة A فمثلا نقطة B يأتي لها المياه من ثلاثة رشاشات أرقام (٢،٣،٤) فتصبح المعادلة:

$$h_B = \frac{h}{r_a}\left(N_{sp}\cdot r_a - r_{B_2} - r_{B_3} - r_{B_4}\right) = \frac{25}{15}\left(3\times 15 - 12 - 0 - 12\right) = 35\ mm$$

$$\therefore h_B = h_C = h_D = h_A = 35\ mm$$

حساب عمق الماء عند النقطة E :

النقطة E يأتي لها المياه من رشاشين فقط كما يتضح من الرسم وهي الرشاشات (٢،٣) فتصبح المعادلة:

$$h_E = \frac{h}{r_a}\left(N_{sp}\cdot r_a - r_{E_2} - r_{E_3}\right) = \frac{25}{15}\left(2\times 15 - 6 - 6\right) = 30\ mm$$

حساب عمق الماء عند النقطة G :

هي تشابه النقطة E ولكن يأتي لها المياه من الرشاشين (٦،٧) فتصبح المعادلة:

$$h_G = \frac{h}{r_a}\left(N_{sp}\cdot r_a - r_{G_6} - r_{G_7}\right) = \frac{25}{15}\left(2\times 15 - 6 - 6\right) = 30\ mm$$

حساب عمق الماء عند النقطة F :

النقطـــة F يأتي لها المياه من ستة رشاشات كما يتضح من الرسم وهي الرشاشات (٢،٣،٤،٥،٦،٧) فتصبح المعادلة:

$$h_F = \frac{h}{r_a}\left(N_{sp}\cdot r_a - r_{F_2} - r_{F_3} - r_{F_4} - r_{F_5} - r_{F_6} - r_{F_7}\right)$$

$$h_F = \frac{25}{15}\left(6\times 15 - \sqrt{7.5^2+12^2} - 7.5 - \sqrt{7.5^2+12^2} - \sqrt{7.5^2+12^2} - 7.5 - \sqrt{7.5^2+12^2}\right)$$

$$= \frac{25}{15}\left(90 - 4\times\sqrt{7.5^2+12^2} - 2\times 7.5\right) = \frac{25}{15}\left(90 - 4\times 14.15 - 2\times 7.5\right) = 30.66\ mm$$

حساب عمق الماء عند النقطة H :

الـــنقطة H تمـــاثل النقطة F ولكن يأتي لها المياه من ستة رشاشات كما يتضح من الرسم وهي (١،٢،٣،٦،٧،٨) فتصبح المعادلة:

$$h_F = \frac{h}{r_a}\left(N_{sp}\cdot r_a - r_{F_1} - r_{F_2} - r_{F_3} - r_{F_6} - r_{F_7} - r_{F_8}\right)$$

$$h_F = \frac{25}{15}\left(6\times 15 - \sqrt{7.5^2+12^2} - 7.5 - \sqrt{7.5^2+12^2} - \sqrt{7.5^2+12^2} - 7.5 - \sqrt{7.5^2+12^2}\right)$$

$$= \frac{25}{15}\left(90 - 4\times\sqrt{7.5^2+12^2} - 2\times 7.5\right) = \frac{25}{15}\left(90 - 4\times 14.15 - 2\times 7.5\right) = 30.66\ mm$$

حساب عمق الماء عند النقطة K :

النقطة K يأتي لها المياه من أربعة رشاشات كما يتضـــح من الرسم وهي الرشاشات (٢،٣،٦،٧) فتصبح المعادلة:

$$h_K = \frac{h}{r_a}\left(N_{sp}\cdot r_a - r_{F_2} - r_{F_3} - r_{F_6} - r_{F_7}\right)$$

$$h_K = \frac{25}{15}\left(4\times 15 - \sqrt{7.5^2+6^2} - \sqrt{7.5^2+6^2} - \sqrt{7.5^2+6^2} - \sqrt{7.5^2+6^2}\right)$$

$$= \frac{25}{15}\left(60 - 4\times\sqrt{7.5^2+12^2}\right) = \frac{25}{15}\left(90 - 4\times 9.6\right) = 35.97\ mm = 36\ mm$$

ملخص النتائج:

النقطـــة	A	B	C	D	E	F	G	H	K
العمق المتجمع (مم)	٣٥	٣٥	٣٥	٣٥	٣٠	٣٠,٦٦	٣٠	٣٠,٦٦	٣٦
الانحراف عن المتوسط	٢	٢	٢	٢	٣	٢,٣٤	٣	٢,٣٤	٣

نحسب متوسط العمق المتجمع في الربع الأقل:

$$d = \frac{30 \times 2}{2} = 30\ mm$$

نحسب المتوسط للأعماق المتجمعة:

$$\overline{X} = \frac{35 \times 4 + 30 \times 2 + 30.66 \times 2 + 36}{9} = 33.04 = 33\ mm$$

نحســـب الانحراف المطلق لكل عمق متجمع عن المتوسط (٣٣ مم) ثم نجمع هذه الانحرافات :

$$\sum \left(X_i - \overline{X}\right) = 2 \times 4 + 3 \times 2 + 2.34 \times 2 + 3 = 21.68\ mm$$

نحسب معامل الانتظامية:

$$C_u = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \left| X_i - \overline{X} \right|}{n \times \overline{X}} \right) \times 100 = \left(1 - \frac{21.68}{9 \times 33} \right) \times 100 = 92.7\%$$

نحسب انتظامية التوزيع في الربع المنخفض:

$$D_u = \frac{d}{\overline{X}} \times 100 = \frac{30}{33} \times 100 = 90.9\ \%$$