

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 فإنه 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 تؤدي إلى زيادة فاعلية أو كفاية الري مطلباً ضرورياً 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 .

لذلك يمكن القول أن التقييم هو التحليل الكمي لأي نظام ري مبني على قياسات مأخوذة في الحقل تحت الشروط والحالات المستخدمة عادة. كذلك يشمل الدراسات الميدانية التي تؤدي إلى تعديلات في النظام المستخدم مثل تغير ضغط الرشاشات.

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

(٦،٢) عناصر تقييم نظم الري بالرش التقليدية

تتطلب عناصر التقييم أخذ قياسات في الحقل أثناء تشغيل النظام حتى يمكن معرفة كفاءة انتظام توزيع المياه من الرشاشات وبالتالي يمكن الحكم على الكفاءة الحقيقية (Actual Efficiency) للنظام ومقارنتها بالكفاءة التصميمية (Potential Efficiency). وهذا سوف يساعد في إدارة النظام وزيادة الكفاءة وبالتالي تقليل التكاليف 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 :

ويمكن معرفة ضغط التشغيل في الحقل لأي رشاش باستخدام مقياس الضغط (Pressure gauge) مع توصيل أنبوب بيتوت بالمقياس، الشكل رقم (٦،١)، وعند دفع هذا الأنبوب داخل فوهة الرشاش فإن مقياس الضغط يعطي قراءة لحظية لضغط 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 :

يمكن قياس تصرف الرشاش عن طريق استخدام عداد المياه (Flow meter) أو عن 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 التقييم أكثر شمولية. ويستخدم في ذلك أنبوب مرن يتم توصيله 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.

٣ . معدل إضافة الماء Water Application Rate :

وذلك بقياس تصرف الرشاشات المستخدمة على المساحة المروية. حيث لا بد من قياس الرشاشات التي في النظام للحصول على معدل إضافة الماء. وبمعرفة متوسط التصرف والمسافة بين الرشاشات والخطوط يمكن إيجاد متوسط معدل الإضافة.

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

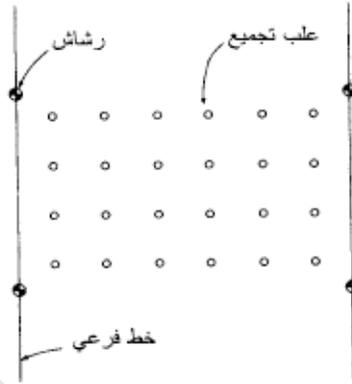
لقياس درجة تجانس توزيع المياه من نظام الري بالرش على المساحة المروية لا بد من إيجاد معامل التجانس، وبحسب المعامل من القياسات الحقلية لأعماق الماء المتجمع في أوعية القياس الموضوعة على مسافات منتظمة ضمن المنطقة المتأثرة بالرش. وهناك عدة معادلات يمكن استخدامها لإيجاد معامل التجانس لنظام الري المستخدم.

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 يساوي 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 $(D_g = R_o \times T_i)$ 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.

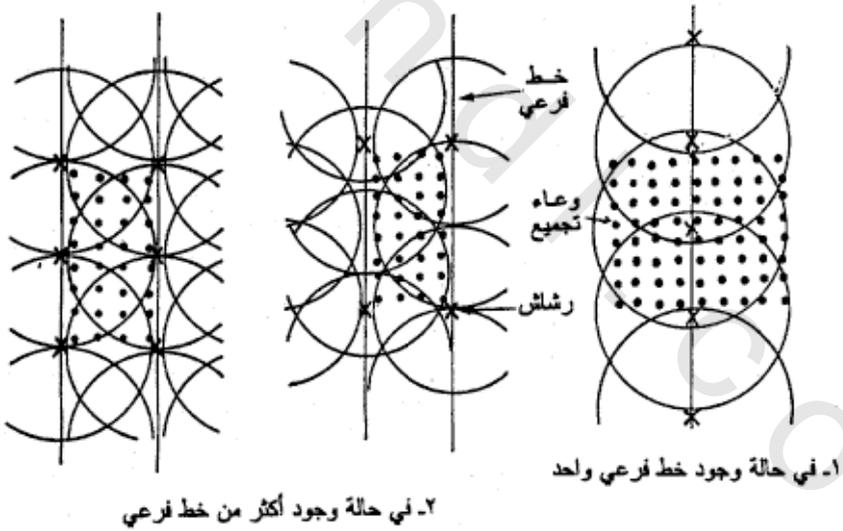
وبالتالي يمكن إيجاد معامل التجانس (C_u) لنظم الري بالرش التقليدية من

المعادلة التالية وهي أكثر المعادلات استخداماً :

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



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



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:

$$(٦,٢) \quad C_u = \left[1 - \frac{\sum Z}{N \times \bar{X}} \right] \times 100$$

حيث أن :

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

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

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

N = عدد الأوعية القياسية المستخدمة في التقييم.

Z = الانحراف المطلق عن المتوسط = $|X - \bar{X}|$

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

يستخدم هذا المعامل للتعرف على درجة انتظامية توزيع المياه على ربع المساحة المرورية التي حصلت على أقل كمية من مياه الري وكذلك يبين مقدار مشاكل التوزيع في نظام الري. ويمكن إيجاد D_u من المعادلة التالية:

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

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 المرورية. 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

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 إيجادها كالتالي:

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

أو تكون كالتالي:

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

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

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

ويمكن ترتيب المعادلة كالتالي:

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

وعموماً فإن دقة نتائج القياسات لأوعية التجميع تتراوح من انحراف $\pm ١\%$ إلى $\pm ٢\%$.

٦ . انتظامية النظام System Uniformity :

بعد الحصول على معامل التجانس ومعامل التوزيع لمساحة معينة من الحقل ولجموعة محددة من الرشاشات المستخدمة في نظام الري يأتي بعد ذلك إيجاد معامل التجانس ومعامل التوزيع لنظام الري بالرش وللمساحة المرورية الكلية. ومن المعلوم أن تصرف الرشاش يتغير مع تغير ضغط التشغيل حسب العلاقة الهيدروليكية ($Q_{sp} = K\sqrt{P_{sp}}$) وهذه العلاقة ثابتة ما لم تستخدم أجهزة

خاصة للتحكم في التصرف مثل منظمات الضغط التي تتركب عند قواعد الرشاشات. ويمكن إيجاد هذه المعاملات لنظام الري بالرش كالتالي:

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

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

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 الري. أما عند قياس ضغط 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 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 P_{sp} وتم وضع منظمات ضغط في بداية الخطوط الفرعية، فيمكن حساب C_{us}, D_{us} بعد التقييم الحقلي لمجموعة من الرشاشات كالتالي:

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

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

ومن هذين العاملين يكون الحكم أكثر دقة على انتظامية توزيع مياه الري من جميع الرشاشات على المساحة المروية. عموماً ينصح بأن تكون قيمة C_{us} على الأقل ٨٥٪ للمحاصيل الحساسة وذات الجذور السطحية مثل البطاطس ومعظم الخضراوات، 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 بواسطة الرشاش فلا بد أن تكون قيمة C_{us} أكبر من ٨٠٪، وعند وجود معامل تجانس منخفض بسبب الرياح ينصح بإضافة المبيدات في حالة الرياح الهادئة.

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

أن الكفاءة الفعلية لإضافة المياه تعطي 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 :

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

حيث أن :-

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

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

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

إن انخفاض قيمة E_a تدل على وجود مشاكل في إدارة نظام الري و/أو استخدامه. 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):

وهي تعطي مدلول على كيفية إضافة المياه بواسطة نظام الري إذا كانت الإدارة لنظام الري مثالية. وهي مقياس على كيفية استخدام النظام في توزيع المياه على الربع الأقل، وتعطي دلالة على كفاءة التصميم لنظام الري. وعند الحصول على قيمة منخفضة لهذه الكفاءة فأن 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 (E_a) ، $(PELQ)$ 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* ويمكن إيجادها كالتالي:

$$(٦, ١٣) \quad PELQ = D_u \times E_a = \frac{d}{\bar{X}} \times \frac{D_n}{D_g} \times 100 = \frac{d}{D_g} \times 100$$

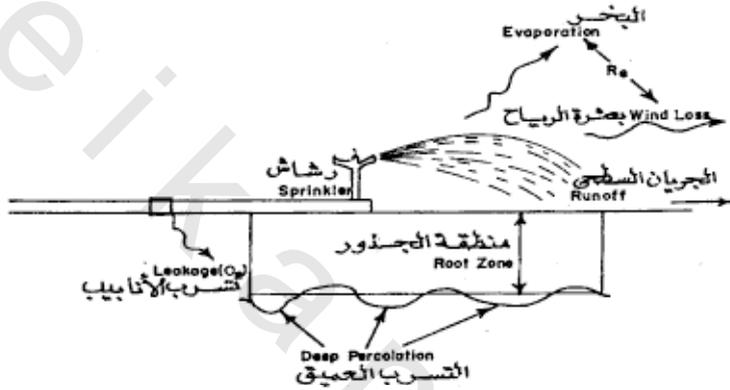
باعتبار أن \bar{X} تمثل D_n . ومقدار الفرق بين $(PELQ, D_u)$ يعطي دلالة على مقدار المياه المفقودة عن طريق التبخر. حيث كلما كان هذا الفرق صغير كانت قيمة التبخر منخفضة.

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

يمكن إيجاد كمية المياه المفقودة عن طريق بعثرة الرياح ودرجة الحرارة الجوية من نظام الري أثناء عملية الري. وهي تمثل نسبة كمية المياه المفقودة من كمية المياه المضافة بواسطة الرشاشات. وهي عبارة عن الفرق بين كمية المياه الخارجة 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:

$$E = \frac{D_g - \bar{X}}{D_g} \times 100 \quad (٦،١٤)$$



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 فلا بد أن تكون قيمة C_u أكبر من ٨٠٪، وعند وجود معامل تجانس منخفض بسبب الرياح ينصح بإضافة المبيدات في حالة الرياح الهادئة. أيضاً يمكن تحسين انتظامية توزيع المياه في حالة النظام المتنقل وذلك بتغيير أوضاع خطوط الرشاشات عن الري السابقة بوضع الخط الفرعي في منتصف المسافة عن الأوضاع السابقة.

(٦,٣) تقييم توزيع المياه رياضياً :

يمكن تقييم توزيع المياه من رشاش واحد أو عدة رشاشات بدون إجراء تجارب وقياسات حقلية وكذلك بدون استخدام علب تجميع. هذه الطريقة للتقييم تستخدم طرق حسابية وهندسية لمعرفة نماذج توزيع المياه من الرشاشات ثم إيجاد حسابياً عناصر التقييم المطلوبة مثل معامل التجانس (C_{ii}) ومعامل التوزيع (D_{ii}) ، كذلك 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 ذلك أنها 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.

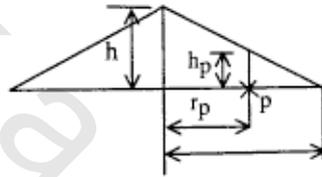
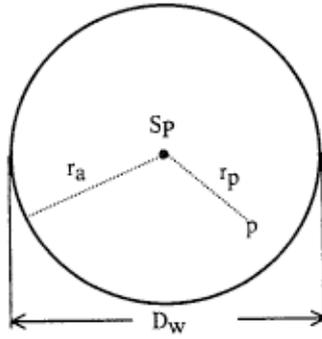
معادلات إيجاد عناصر التقييم :

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

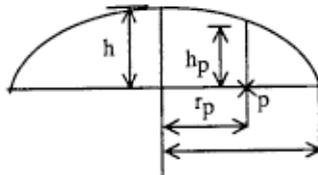
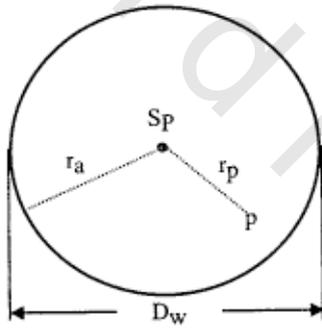
أولاً: معدل الإضافة:

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

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



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



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

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

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

حيث أن :

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

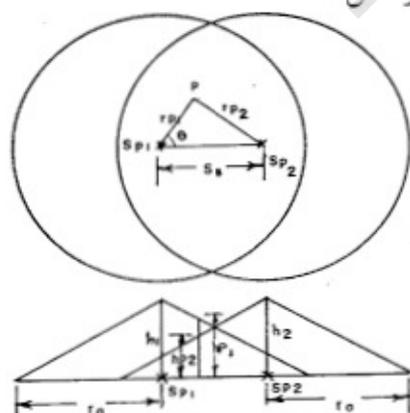
R_a = متوسط معدل الإضافة للرشاش.

r_a = نصف قطر دائرة البلبل.

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

ثانياً: عمق الماء المضاف:

يمكن إيجاد عمق الماء المضاف عند أي نقطة داخل دائرة البلبل لرشاش دوار عندما يكون هناك تداخل لدوائر البلبل كما في الشكل رقم (٦,٧). ويمكن إيجاد المعادلة لذلك بمعرفة نموذج توزيع المياه. ومن المعروف أن شكل توزيع المياه أثناء خروجها من 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.

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

حجم الماء المضاف يكون مساوياً لحجم المخروط لذلك يكون:
حجم الماء الخارج من الرشاش = تصرف الرشاش \times زمن الإضافة

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

أما حجم المخروط = ثلث مساحة القاعدة \times الارتفاع

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

حيث أن :

$$V = \text{حجم المخروط.}$$

$$h = \text{ارتفاع المخروط} = \text{أقصى عمق يمكن الحصول عليه عند الرشاش.}$$

وبتساوي معادلتين السابقتين يكون :

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

ويكون أقصى عمق (h) :

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

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

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

وبالتعويض عن قيمة h من المعادلة السابقة يكون:

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

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 أكثر من رشاش واحد حتى يكون هناك تداخل بين دوائر البلب للرشاشات المستخدمة. لذلك عند استخدام رشاشين يكون وهناك تداخل بين دوائر البلب 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:

$$(٦,٢٣) \quad h_p = h_{p1} + h_{p2}$$

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:

$$(٦,٢٤) \quad h_{p1} = \frac{3 Q_{sp} \cdot T_i}{\pi r_a^3} (r_a - r_{p1})$$

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

$$(٦,٢٥) \quad h_{p2} = \frac{3 Q_{sp} \cdot T_i}{\pi r_a^3} (r_a - r_{p2})$$

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

$$(٦,٢٦) \quad h_p = \frac{3 Q_{sp} \cdot T_i}{\pi r_a^3} (2r_a - r_{p1} - r_{p2})$$

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

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

$$(٦,٢٧) \quad h_p = \frac{3 Q_{sp} \cdot T_i}{\pi r_a^3} (3r_a - r_{p1} - r_{p2} - r_{p3})$$

وهناك معادلة عامة يمكن استخدامها لإيجاد h_p عند استخدام أي عدد من الرشاشات (N_{sp}) كالتالي:

$$(٦,٢٨) \quad h_p = \frac{3 Q_{sp} \cdot T_i}{\pi r_a^3} (N_{sp} \cdot r_a - r_{p1} - r_{p2} - r_{p3} - r_{pN_{sp}})$$

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

حيث أن:

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

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

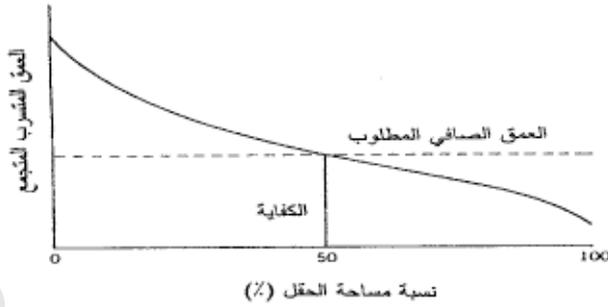
مع الأخذ في الاعتبار كفاية الري (Irrigation adequacy) التي تعطي أفضل رطوبة للتربة بالنسبة للنسب مع انتظامية توزيع تلك الرطوبة على المساحة المروية هو مطلوب حتى يمكن عمل التحسينات التي تؤدي إلى زيادة كفاءة استخدام مياه الري، ولكي يكون لكفاءة الري أهمية عملية يجب أن تقرر بكفاية الري ، ونجد أن العامل الذي يحدد كفاءة الري عند أي كفاية هو انتظامية الري. حيث تؤدي معايير الكفاءة والكفاية ومعامل التجانس دوراً هاماً في تقييم وتطوير نظم الري الحقلية 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.

كفاية الري Adequacy of Irrigation :

وهي تعني الوصول إلى أفضل رطوبة للتربة بالنسبة للنبات Optimum Moisture 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 علب تجميع (نفس طريقة قياس C_u). بعد انتهاء التجربة يتم قياس أعماق المياه في كل علة وكذلك مساحة فوهة كل علة، 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 الريه.

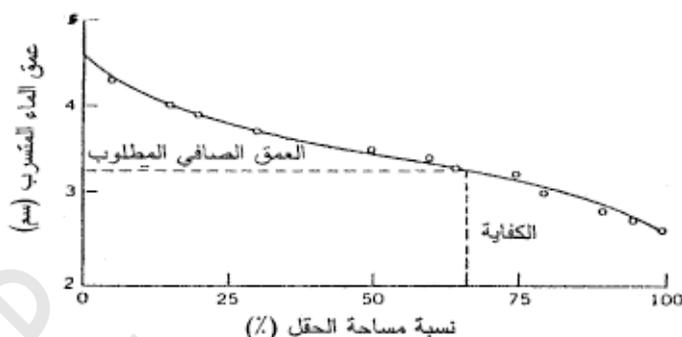


الشكل (٦,٨) نموذج التوزيع التجميعي (التراكمي) المتكرر لإيجاد مستوى الكفاية عند تلك الريه.

ويمكن رسم المنحنى السابق بتوقيع بيانات أعماق المياه المتجمعة مع مساحات أماكن علب التجميع يمثلها في هذه الحالة مساحة فوهة العلبه. بحيث يتم ترتيب الأعماق المتجمعة في العلب تنازلياً مع التجميع التراكمي لنسبة مساحة فوهة كل علبه وتوقيع الأعماق على المحور الصادي بينما مساحة العلب التراكمية على المحور السيني كما في الشكل. ويتم إيجاد مستوى الكفاية عند نقطة تقاطع عمق ماء الري الصافي المطلوب (D_{ri}) مع المنحنى (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)	النسبة المئوية من الحقل (%)	النسبة التراكمية من الحقل (%)
(١)	(٢)	(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 ٣,٢٥ سم أو أكثر منه.
خطوات رسم المنحني:

- 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 المنحني الناتج من الخطوة رقم ٤ وبمعرفة 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 ريهها 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:

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

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 ريهها بكفاية معينة.

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

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

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

٢. كفاءة إضافة المصمم Designer Application Efficiency :

وهي مدلول على تآدية 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 ريهها بكفاية معينة ويمكن إيجادها كالتالي :

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

حيث أن:

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

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

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

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

حيث أن :

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

$$(٦,٣٦) \quad E = I - R_e$$

E = نسبة الفاقد بالتبخر وبعثرة الرياح وتسمى فواقد الرش.

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

$$(٦,٣٧) \quad L_k = I - O_e$$

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.

لذلك نجد أن كفاءات التصميم تستخدم عند تصميم نظم الري بالرش عند تحديد أقل عمق مطلوب إضافته عند مستوى كفاية معينة والى نسبة مساحة محددة من الحقل 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_{P_u} للمياه المضافة في الجدول رقم (٦,١) تمثل قيم مختلفة لـ C_u مع افتراض أن أقل عمق مطلوب إضافته قد تحقق عند نسبة مساحة محدة ومستوى كفاية معينة. فمثلاً عندما تكون $C_u = 86\%$ ومستوى كفاية $P_u = 80\%$ 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 أكثر، 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 ريهها من الحقل. الجدول رقم (٦,١) يستعان به بعد معرفة اثنين من العوامل السابقة لتحديد المعامل المجهول.

العلاقة التي تربط بين C_u ، DE_{P_u} 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 لا بد من تحديد هذه العلاقة بعد معرفة نوع المحصول وقيمه وتكاليف المياه المستخدمة. مع ملاحظة أن P_u تزداد مع زيادة عمق الماء المضاف، كذلك يزداد التسرب العميق مع زيادة P_u 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 ($P_u\%$) 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.

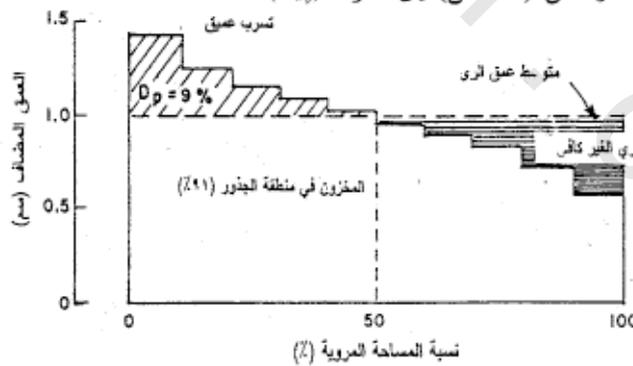
نسبة المساحة المروية بكفاية (%)											متوسط الانحراف المعياري	معامل التجانس Cu
٥٠	٥٥	٦٠	٦٥	٧٠	٧٥	٨٠	٨٥	٩٠	٩٥	٩٩,٩	الكفاءة Sd	(L)
١,٠٠٠	١,٠٠٠	١,٠٠٠	١,٠٠٠	١,٠٠٠	١,٠٠٠	٠,٩٩٩	٠,٩٩٩	٠,٩٩٨	٠,٩٩٨	٠,٩٩٦	DE	٠,٠٠١٢٥ ٩٩,٩
٠,٩٩٩	٠,٩٩٩	٠,٩٩٩	٠,٩٩٩	٠,٩٩٩	٠,٩٩٩	٠,٩٩٩	٠,٩٩٩	٠,٩٩٨	٠,٩٩٨	٠,٩٩٦	ES	
١,٠٠٠	٠,٩٩٧	٠,٩٩٤	٠,٩٩٠	٠,٩٨٧	٠,٩٨٣	٠,٩٧٩	٠,٩٧٤	٠,٩٦٨	٠,٩٥٩	٠,٩٢٣	DE	٠,٠٢٥١ ٩٨
٠,٩٩٠	٠,٩٨٨	٠,٩٨٦	٠,٩٨٤	٠,٩٨٢	٠,٩٧٩	٠,٩٧٦	٠,٩٧٢	٠,٩٦٧	٠,٩٥٨	٠,٩٢٣	ES	
١,٠٠٠	٠,٩٩٤	٠,٩٨٧	٠,٩٨١	٠,٩٧٤	٠,٩٦٦	٠,٩٥٨	٠,٩٤٨	٠,٩٣٦	٠,٩١٧	٠,٨٤٥	DE	٠,٠٥٠١ ٩٦
٠,٩٨٠	٠,٩٧٩	٠,٩٧٣	٠,٩٦٩	٠,٩٦٤	٠,٩٥٩	٠,٩٥٢	٠,٩٤٤	٠,٩٣٣	٠,٩١٦	٠,٨٤٥	ES	
١,٠٠٠	٠,٩٩١	٠,٩٨١	٠,٩٧١	٠,٩٦١	٠,٩٤٩	٠,٩٣٧	٠,٩٢٢	٠,٩٠٣	٠,٨٧٦	٠,٧٦٨	DE	٠,٠٧٥٢ ٩٤
٠,٩٧٠	٠,٩٦٥	٠,٩٥٩	٠,٩٥٣	٠,٩٤٦	٠,٩٣٨	٠,٩٢٨	٠,٩١٦	٠,٩٠٠	٠,٨٧٥	٠,٧٦٨	ES	
١,٠٠٠	٠,٩٨٧	٠,٩٧٥	٠,٩٦١	٠,٩٤٧	٠,٩٣٢	٠,٩١٥	٠,٨٩٦	٠,٨٧١	٠,٨٣٥	٠,٧٢٥	DE	٠,١٠٠٣ ٩٢
٠,٩٦٠	٠,٩٥٣	٠,٩٤٦	٠,٩٣٨	٠,٩٢٨	٠,٩١٧	٠,٩٠٤	٠,٨٨٨	٠,٨٦٧	٠,٨٣٣	٠,٧٢٥	ES	
١,٠٠٠	٠,٩٨٤	٠,٩٦٨	٠,٩٥٢	٠,٩٣٤	٠,٩١٥	٠,٨٩٤	٠,٨٧٠	٠,٨٣٩	٠,٧٩٤	٠,٦١٣	DE	٠,١٢٥٣ ٩٠
٠,٩٥٠	٠,٩٤١	٠,٩٣٢	٠,٩٢٢	٠,٩١٠	٠,٨٩٧	٠,٨٨٠	٠,٨٦٠	٠,٨٣٣	٠,٧٩١	٠,٦١٣	ES	
١,٠٠٠	٠,٩٨١	٠,٩٦٢	٠,٩٤٢	٠,٩٢٠	٠,٨٩٩	٠,٨٧٣	٠,٨٤٤	٠,٨٠٧	٠,٧٦٠	٠,٥٣٥	DE	٠,١٥٠٤ ٨٨
٠,٩٤٠	٠,٩٣٠	٠,٩١٩	٠,٩٠٦	٠,٨٩٢	٠,٨٧٦	٠,٨٥٦	٠,٨٣٢	٠,٨٠٠	٠,٧٤٩	٠,٥٣٥	ES	
١,٠٠٠	٠,٩٧٨	٠,٩٥٦	٠,٩٣٢	٠,٩٠٨	٠,٨٨٢	٠,٨٥٢	٠,٨١٨	٠,٧٧٥	٠,٧١١	٠,٤٥٨	DE	٠,١٧٥٥ ٨٦
٠,٩٣٠	٠,٩١٨	٠,٩٠٥	٠,٨٩١	٠,٨٤٧	٠,٨٥٥	٠,٨٣٢	٠,٨٠٤	٠,٧٦٧	٠,٧٠٧	٠,٤٥٨	ES	
١,٠٠٠	٠,٩٧٥	٠,٩٤٩	٠,٩٢٣	٠,٩١٥	٠,٨٦٥	٠,٨٣١	٠,٧٩٢	٠,٧٤٣	٠,٦٧٠	٠,٣٨٠	DE	٠,٢٠٠٥ ٨٤
٠,٩٢٠	٠,٩٠٦	٠,٨٩٢	٠,٨٧٥	٠,٨٥٦	٠,٨٣٥	٠,٨٠٩	٠,٧٧٦	٠,٧٣٣	٠,٦٦٦	٠,٣٨٠	ES	
١,٠٠٠	٠,٩٧١	٠,٩٤٣	٠,٩١٣	٠,٨٨٢	٠,٨٤٨	٠,٨١٠	٠,٧٦٦	٠,٧١١	٠,٦٢٩	٠,٣٠٣	DE	٠,٢٢٥٦ ٨٢
٠,٩١٠	٠,٨٩٥	٠,٨٧٨	٠,٨٦٠	٠,٨٣٩	٠,٨١٤	٠,٧٨٥	٠,٧٤٩	٠,٧٠٠	٠,٦٢٤	٠,٣٠٣	ES	
١,٠٠٠	٠,٩٦٨	٠,٩٣٧	٠,٩٠٣	٠,٨٦٩	٠,٨٣١	٠,٧٨٩	٠,٧٤٠	٠,٦٧٩	٠,٥٨٨	٠,٣٠٣	DE	٠,٢٥٠٧ ٨٠
٠,٩٠٠	٠,٨٨٣	٠,٨٦٥	٠,٨٤٤	٠,٨٢١	٠,٧٩٣	٠,٧٦١	٠,٧٢١	٠,٦٦٧	٠,٥٨٢	٠,٢٢٥	ES	
١,٠٠٠	٠,٩٦٥	٠,٩٣٠	٠,٨٩٤	٠,٨٥٥	٠,٨١٤	٠,٧٦٨	٠,٧١٤	٠,٦٤٧	٠,٥٤٦	٠,١٤٨	DE	٠,٢٧٥٧ ٧٨
٠,٨٩٠	٠,٨٧١	٠,٨٥١	٠,٨٢٩	٠,٨٠٣	٠,٧٧٣	٠,٧٣٧	٠,٦٩٣	٠,٦٣٣	٠,٥٤١	٠,١٤٨	ES	
١,٠٠٠	٠,٩٦٩	٠,٩٢٤	٠,٨٨٤	٠,٨٤٢	٠,٧٩٧	٠,٧٤٧	٠,٦٨٨	٠,٦١٤	٠,٥٠٥	٠,١٧١	DE	٠,٣٠٠٨ ٧٦
٠,٨٨٠	٠,٨٦٠	٠,٨٣٨	٠,٨١٣	٠,٧٨٥	٠,٧٥٢	٠,٧١٣	٠,٦٦٥	٠,٦٠٠	٠,٤٩٩	٠,١٧٠	ES	
١,٠٠٠	٠,٩٥٩	٠,٩١٧	٠,٨٧٥	٠,٨٢٩	٠,٧٨٠	٠,٧٢٦	٠,٦٦٢	٠,٥٨٢	٠,٤٦٤	٠,١٤٨	DE	٠,٣٢٥٨ ٧٤
٠,٨٦٩	٠,٨٤٨	٠,٨٢٤	٠,٧٩٧	٠,٧٦٧	٠,٧٣١	٠,٦٨٩	٠,٦٣٧	٠,٥٦٧	٠,٤٥٧	٠,١٤٨	ES	
١,٠٠٠	٠,٩٥٦	٠,٩١١	٠,٨٦٥	٠,٨١٦	٠,٧٦٣	٠,٧٠٤	٠,٦٣٦	٠,٥٥٠	٠,٤٢٣	٠,١٤٨	DE	٠,٣٥٠٩ ٧٢
٠,٨٥٩	٠,٨٣٦	٠,٨١١	٠,٧٨٢	٠,٧٤٩	٠,٧١١	٠,٦٦٥	٠,٦٠٩	٠,٥٣٣	٠,٤١٥	٠,١٤٨	ES	
١,٠٠٠	٠,٩٥٣	٠,٩٠٥	٠,٨٥٥	٠,٨٠٢	٠,٧٤٧	٠,٦٨٣	٠,٦١٠	٠,٥١٨	٠,٣٨١	٠,١٤٨	DE	٠,٣٧٦٠ ٧٠
٠,٨٤٩	٠,٨٢٥	٠,٧٩٧	٠,٧٦٦	٠,٧٣١	٠,٦٩٠	٠,٦٤١	٠,٥٨١	٠,٥٠٠	٠,٣٧٣	٠,١٤٨	ES	
١,٠٠٠	٠,٩٤٩	٠,٨٩٩	٠,٨٤٥	٠,٧٩٠	٠,٧٣٠	٠,٦٦٢	٠,٥٨٥	٠,٤٨٦	٠,٣٤٠	٠,١٤٨	DE	٠,٤٠١١ ٦٨
٠,٨٣٩	٠,٨١٣	٠,٧٨٤	٠,٧٥١	٠,٧١٣	٠,٦٦٩	٠,٦١٧	٠,٥٥٣	٠,٤٦٧	٠,٣٣٢	٠,١٤٨	ES	
١,٠٠٠	٠,٩٤٦	٠,٨٩٢	٠,٨٣٦	٠,٧٧٧	٠,٧١٣	٠,٦٤١	٠,٥٥٩	٠,٤٥٤	٠,٢٩٩	٠,١٤٨	DE	٠,٤٢٦١ ٦٦
٠,٨٢٩	٠,٨٠١	٠,٧٧٠	٠,٧٣٥	٠,٦٩٥	٠,٦٤٩	٠,٥٩٣	٠,٥٢٥	٠,٤٣٣	٠,٢٩٠	٠,١٤٨	ES	
١,٠٠٠	٠,٩٤٣	٠,٨٨٦	٠,٨٢٦	٠,٧٦٣	٠,٦٩٦	٠,٦٢٠	٠,٥٣٣	٠,٤٢١	٠,٢٥٠	٠,١٤٨	DE	٠,٤٥١٢ ٦٤
٠,٨١٩	٠,٧٨٩	٠,٧٥٧	٠,٧١٩	٠,٦٧٧	٠,٦٣٨	٠,٥٩٩	٠,٤٩٧	٠,٤٠٠	٠,٢٤٤	٠,١٤٨	ES	
١,٠٠٠	٠,٩٤٠	٠,٨٧٩	٠,٨١٧	٠,٧٥٠	٠,٦٧٩	٠,٥٩٩	٠,٥٠٧	٠,٣٨٩	٠,٢٤٤	٠,١٤٨	DE	٠,٤٧٦٣ ٦٢
٠,٨٠٩	٠,٧٧٨	٠,٧٤٣	٠,٧٠٤	٠,٦٥٩	٠,٦٠٧	٠,٥٥٥	٠,٤٦٩	٠,٣٦٧	٠,٢٤٤	٠,١٤٨	ES	
١,٠٠٠	٠,٩٣٧	٠,٨٧٣	٠,٨٠٧	٠,٧٣٧	٠,٦٦٢	٠,٥٧٨	٠,٤٤١	٠,٣٥٧	٠,٢٤٤	٠,١٤٨	DE	٠,٥٠١٣ ٦٠
٠,٧٩٩	٠,٧٦٦	٠,٧٣٠	٠,٦٨٨	٠,٦٤١	٠,٥٨٧	٠,٥٢١	٠,٤٤١	٠,٣٣٣	٠,٢٤٤	٠,١٤٨	ES	

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

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

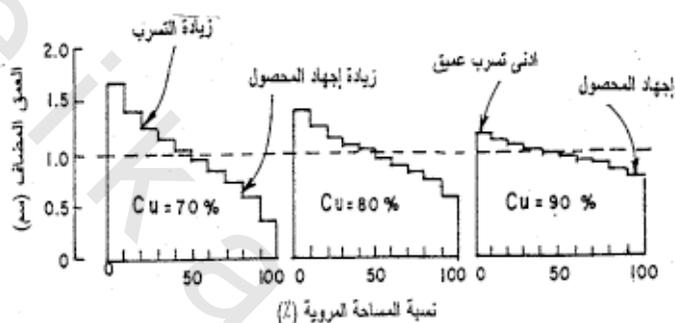
وهذا يعني أن كل وحدة عمق (مثلاً سم) من الماء المضاف الذي حصل عليه المحصول أو التربة نجد أن ٨٠٪ من المساحة المروية سوف تحصل على ٨٥٪ من متوسط عمق الماء المضاف أو أكثر من D_n ، بينما نجد أن ٢٠٪ من نسبة المساحة المروية تحصل على أقل من ٨٥٪ من عمق الماء المضاف. وفي الواقع ليس هناك نظام ري يضيف مياه الري بانتظام تام على المساحة المروية، ولكن قد تختلف هذه الانتظامية من حقل إلى آخر حسب نوع النظام، والعوامل التشغيلية وتصميم النظام وعناصر المناخ السائدة. لذلك فإن معرفة كفاية الري لذلك الحقل أو النظام تفيد في تحديد المساحات التي تحصل على أقل من متوسط عمق الماء المضاف، وكذلك في معرفة مقدار التسرب العميق.

الأشكال التالية توضح العلاقة بين كفاءة التوزيع (DE_p) ومستوى الكفاية (P_n)، ومعامل التجانس (C_n)، 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 ١ سم. حيث نجد أن العمق الكلي المتسرب إلى منطقة المجموع الجذري حوالي ٩١٪ من الماء الواصل (الداخل) إلى التربة (D_{in}).



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 المساء 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:

$$(٦،٣٨) \quad Dn_{Pa} = DE_{Pa} \cdot D_{inf}$$

$$(٦،٣٩) \quad Es_{Pa} = 100 - Dp(\%)$$

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.

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

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

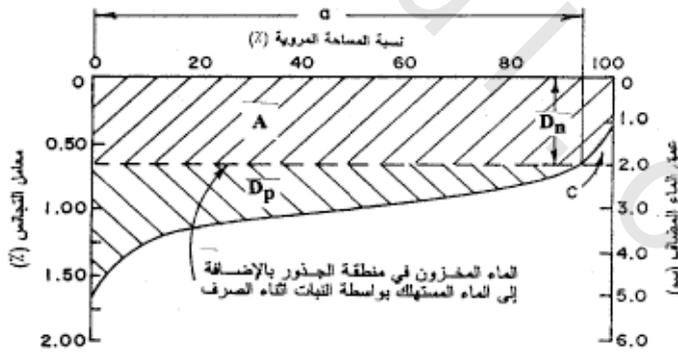
ومن المعلوم أن كفاءة التخزين التقليدية هي :

$$E_s = \frac{D_z}{D_n} \times 100 \quad (6, 40)$$

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 لا بد أن تأخذ في الاعتبار مقدار التسرب العميق وفاقدة التبخر وبعثرة الرياح ، بينما يكون فاقد الجريان السطحي صفرًا حيث أن التصميم الجيد لا يسمح بتكون جريان سطحي. ويمكن كتابة المعادلة كالتالي:

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

الجدول 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 وفاقدة التبخر وبعثرة الرياح لتلك النظم وحسب نوع المناخ أثناء التجربة.

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

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

(٦,٨) أمثلة محلولة :

مثال ١ :

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.

الحل

من الجدول رقم (٦,١) عند $C_u = ٨٦\%$ ، $P_a = ٨٠\%$ نجد أن $DE_{80} = 85\%$ وبالتالي يكون العمق المطلوب إضافته (D_{inf}) بعد طرح الفواقد المائية (التبخر وبعثرة الرياح + التسرب العميق) يساوي :

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

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

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

مثال ٢ :

إذا كانت البيانات كالتالي : $D_n = 1.0 \text{ cm}$ ، $P_a = 80\%$ ، $C_u = 70\%$

المطلوب إيجاد : DE_{80} ، D_{inf}

الحل

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

ولإيجاد D_{inf} فإن :

$$D_{E_{50}} = \frac{D_n}{D_{inf}}$$

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

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

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 المرورية بكفاية.
 ٢. عمق التسرب العميق.

الحل

من الجدول (٦، ١) وعندما تكون $C_u = ٨٠\%$ ومستوى الكفاية $(P_a) = ٧٥\%$ فإن:

$$E_{S0.75} = 0.793 \quad , \quad D_{E0.75} = 0.831$$

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

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

$$\therefore D_n = 0.831 \times 2 = 1.66 \text{ cm}$$

٢. أما التسرب العميق يكون :

$$\therefore E_{s0.75} = 1 - D_p$$

$$0.793 = 1 - D_p$$

$$\therefore D_p = 1 - 0.793 = 0.207$$

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

$$= 0.41 \text{ cm}$$

مثال ٤:

إذا أعطيت البيانات التالية لنظام ري بالرش :

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

أوجد : E_{Co} , E_{spa}

الحل

$$\begin{aligned} \therefore E_{Co} &= (1-E) \times (1-D_p) \\ &= (1-0.06) \times (1-0.31) = 0.65 = 65\% \end{aligned}$$

من الجدول رقم (٦,١) وبمعلومية P_a, C_u تكون : $E_{s0.75} = 0.69$
أو من المعادلة حيث أن :

$$E_{spa} = 100 - D_p$$

$$E_{spa} = 100 - 31 = 69\%$$

مثال ٥ :

عند تقييم نظام 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 (سم^٣) هي :

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

فإذا علمت أن قطر علب التجميع ١٠,٥ سم .

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

الحل

$$S_s = 12 \text{ m} \quad , \quad Q_{sp} = 0.42 \text{ L/s} \quad , \quad S_L = 12 \text{ m} \quad , \quad T = 45 \text{ min}$$

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

أولاً: نحسب متوسط الحجم المتجمع للبيانات المتاحة

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

$$n = 16$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{864}{16} = 54 \text{ cm}^3$$

ثانياً: نحسب انحراف كل حجم متجمع عن متوسط الحجم المتجمع المحسوب سابقاً (٥٤ سم^٣) دون أخذ الإشارة في الاعتبار أي الفرق المطلق بين العمق المتجمع وبين المتوسط

$$|X_i - \bar{X}|:$$

٢	٣	٨	٦
٩	٣	٢	صفر
١	٧	٦	٤
١	٧	٨	٥

نحسب مجموع الانحراف عن المتوسط

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

ثالثاً: نحسب معامل التجانس C_u

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

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:

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

رابعاً: نحسب معامل التوزيع D_u

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

نحسب معدل الإضافة R_a

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

نحسب عمق الماء المضاف D_g :

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

يجب تحويل هذا العمق المضاف بما يعادله من حجم بضرب هذا العمق \times مساحة وعاء التجميع.

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

خامساً: كفاءة إضافة المياه (E_a)

$$E_a = \frac{D_n}{D_g} \times 100 = \frac{\bar{X}}{D_g} \times 100 = \frac{54}{68.19} \times 100 = 79.2\%$$

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):

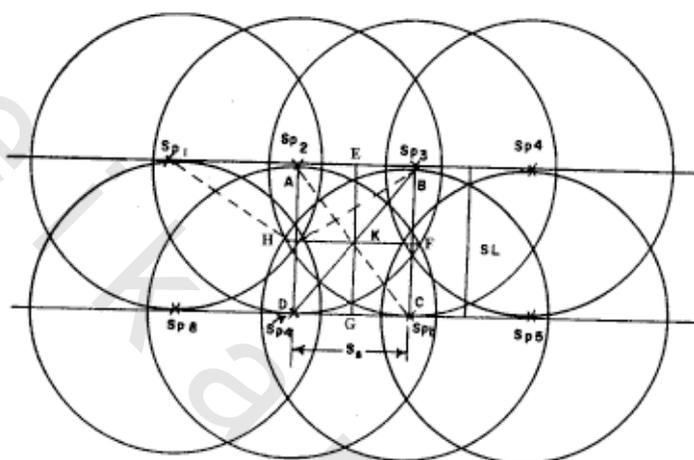
$$E = \frac{D_g - \bar{X}}{D_g} \times 100 = \frac{68.19 - 54}{68.19} \times 100 = 20.8\%$$

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 م^٣/ساعة وضغط تشغيله ٣٠٠ ك.بسكال ، والمسافة بين الرشاشات به ١٢ × ١٥ متر، وقطر البلب للرشاش ٣٠ متر.

إذا تم تشغيل النظام لمدة 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.

الحل



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

أولاً: نحسب أقصى عمق للرشاش وهو يكون عند موقع الرشاش

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

ثانياً: لحساب معامل التوزيع:

١. نختار أربعة رشاشات في وسط الحقل مكونين مستطيل (الرشاشات أرقام ٧، ٦، ٣، ٢) 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 أربعة مستطيلات داخلية بواسطة النقاط E, F, G, H, K وبالتالي تكون إجمالي نقط

القياس هي تسع نقاط $A, B, C, D, E, F, G, H, K$ وهي نقاط اختيارية 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:

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

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:

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

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 (٤،٣،٢) فتصبح المعادلة:

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

$$\therefore h_B = h_C = h_D = h_A = 35 \text{ mm}$$

حساب عمق الماء عند النقطة E :

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

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

حساب عمق الماء عند النقطة G :

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

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

حساب عمق الماء عند النقطة F :

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

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

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

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

حساب عمق الماء عند النقطة H :

النقطة H تماثل النقطة F ولكن يأتي لها المياه من ستة رشاشات كما يتضح من الرسم وهي (٨،٧،٦،٥،٤،٣،٢،١) فتصبح المعادلة:

$$h_H = \frac{h}{r_a} (N_{sp} \cdot r_a - r_{F_1} - r_{F_2} - r_{F_3} - r_{F_4} - r_{F_5} - r_{F_6} - r_{F_7} - r_{F_8})$$

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

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

حساب عمق الماء عند النقطة K :

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

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

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

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

ملخص النتائج:

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

نحسب متوسط العمق المتجمع في الربع الأقل:

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

نحسب المتوسط للأعماق المتجمعة:

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

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

$$\sum (X_i - \bar{X}) = 2 \times 4 + 3 \times 2 + 2.34 \times 2 + 3 = 21.68 \text{ mm}$$

نحسب معامل الانتظامية:

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

نحسب انتظامية التوزيع في الربع المنخفض:

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