تقييم الأداء الحقلي لمنظومة ري بالرش المحوري في مشروع سليت الزراعي

عباس الشيخ رحمه محمد

كلية الدراسات الزراعية – جامعة السودان للعلوم و التكنولوجيا

Abbas.elshekh@gmail.com

استلام الورقة: 11-1-2017

قبول الورقة: 03-03-2017

المستخلص – أجريت تجربة حقلية في محلية شرق النيل بمشروع السليت بهدف تقييم أداء ثلاث انظمة ري محوري . تمت معايرة سرعة تلك الاجهزة مع كمية المياة المتجمعة وكذلك نسبة معامل انتظام توزيع الماء و انتظام توزيع الماء وكفاءة الاضافة. اظهرت النتائج وجود تفاوت في نسبة معامل انتظام توزيع الماء ,على الرغم من تشابة الاجهزة المستخدمة في الدراسة حيث كانت هنالك زيادة في قيم نسبة معامل انتظام توزيع الماء 19 % و35 % للجهاز 2 و 3 بالتتابع مقارنة مع الجهاز رقم 1 كما اوضحت النتائج تفاوت في نسبة معامل التجانس بان هنالك زيادة في القيم 5% و 15% للجهاز 2 و 3 مقارنة بالجهاز رقم 1 كما اشارة النتائج بان هنالك تفاوت في قيم كفاءة الاضافة حيث اوضحت بان هنالك زيادة في القيم 26% و 51% للجهاز 2 و 3 مقارنة بالجهاز رقم 1كما تم الحصول على تفاوت في أعماق المياه المتجمعة في اوعية القياس من جهاز لاخرا ,نتيجة لارتباطها بقيم نسبة معامل انتظام توزيع الماء .كما أن عدم اجراء الصيانة الدورية لبعض الأجهزة أدى إلى انسداد بعض الرشاشات ,مما أثر سلبا ًفي قيم نسبة معامل انتظام توزيع الماء وقيم أعماق المياه المتجمعة في اوعية القياس وأنعدم ربط بعض من الرشاشات في أماكنها المخصصة أثر سلباً في قيم أعماق المياه الخارجة ومن ثم عدم انتظامية توزيع المياه وأداء تلك الأنظمة.

الكلمات الافتتاحية: *تقييم اداء، معامل التجانس، كفاءة الاضافة، نظام الري محوري*

ABSTRACT - A field experiment was conducted at Selate scheme at Khartoum north, to evaluate the performance of three center pivot sprinkler irrigation systems. Speeds of these systems were calibrated with depths of water. Irrigation uniformity and discharges for some nozzles through directly collecting outlet waters were evaluated as well. Results show differences between values of distribution coefficient, uniformity coefficient and application efficiency in spite of the similarity center pivot system used in this study. The distribution coefficient management19%, 35% for the system 2, and 3 respectively compared to system 1. While the uniformity coefficient gave a variation on 5%, 15% for the system 2, and 3 respectively compared to system 1. The application efficiency was increased by 26% ,51% for the system 2, and 3 respectively compared to system 1. Difference in depth of water applied was observed as linked with water distribution uniformity coefficient. In addition, differences in discharges for pivot irrigation systems were observed in spite of constantly operating pressure (30 psi) and percentage of systems speed (60%). Besides, the delay in making continuous maintenance resulted in clogging some nozzles which affected uniformity coefficient, depths of water collected and nozzles discharges and affected negatively on distribution uniformity of such systems

Keyword: Performance evaluation, uniformity coefficient, application efficiency, center pivot irrigation system

المقدمة

الماء مورد محدود لذا يجب ان يستغل بكفاءة عالية حتى يكفي حاجة أعداد السكان التي تتزايد باستمرار في العالم والاستراتيجية الشاملة لصيانة وتنمية المصادر والموارد المائية يجب ان تأخذ في الاعتبار مجموعة عوامل، هذه العوامل تشتمل على: وجود الماء، نوعيتهُ، الموقع،التوزيع والاختلاف في الحدوث والوجود، المناخ، طبيعة التربة، المطالب المتنافسة والحالة الاقتصادية والاجتماعية. ولأخذ أي من العوامل المذكورة في الاعتبار يجب ان يُبذل الجهد للاستفادة القصوى من المياه من أجل استمرارية إنتاجية

عالية[1] إن الطلب علي المياه يزداد بسرعة عالية نتيجة زيادة عدد السكان وزيادة التوسع الافقي الزراعي العمراني والصناعي ادى بدوره الى حالة عدم التوازن بين الكمية المطلوبة من المياه ومصادره االمحدودة,نتيجة لزيادة الاهتمام بقضية ندرة المياه والاستخدام الغير مرشد لهذا المورد المائي من جميع القطاعات خصوصاالقطاع الزارعي وضرورة ترشيد استخدامها ,وذلك في ظل قدرة الموارد المائيةالحالية والمستقبلية علي مواجهة التوسع الزارعي المضطرد ومواجهة حاجة اعداد السكان والصناعة فالأمن الغذائي في اي دولة لايتحقق الا بعد تامين الموارد المائية التي تشكل اهم الدعائم الرئيسة لتحقيقه وتعد المياه مورد استراتيجي هام بالنسبة لمستقبل اي مجتمع, لايمكن التفريط فيه ولذلك نجدأن كميةالمياه المطلوبة والمقدرة للمستقبل ولجميع الاستخدامات تفوق المتوفر حاليا من الموارد المائية ممايؤدي إلى عدم التوازن بين المعروض الان و المطلوب مستقبلا وقدادى التوسع في القطاع الزارعى إلى تبني انظمة ري حديثة ,مثل نظام الري المحوري ونظام الري بالتنقيط, ونظام الري بالرش وقد ظهرت في الاونة الاخيرة انتشار كبير وتبنى في استخدام أنظمة الري المحوري في السودان بشكل عام وولاية الخرطوم بصفه خاصة و يرجع هذا التوسع و الانتشار الي عدة اسباب منها ان جهاز الري المحوري يعد من الانظمة التي تتمتع بسهولة التحكم في عملية اضافة المياة لري المساحات المستهدفة, علاوة علي امكانية التحكم في عملية تشعيلة اليا من غير الحاجة الي عمالة كبيرة .كما يمكن استخدام نظام الري المحوري في المناطق ذات التضاريس المختلفة.مفهوم التقييم الحقلي وهو عملية القيام باجراء تحليل كمي لنظام الري مبني علي قياسات ماخوذة من الحقل تحت مواصفات معينة متعارف عليها تعرف بتقييم النظام , ومن ثم تحديد خصائص الاداء للمنظومة مثل تجانس توزيع المياة و الاعماق المضافة لري المساحات المروية [1] . الغرض من استخدام الري المحوري هوتحويل مياة الري الي قطرات صغيرة في شكل رزاز علي المساحة المروية. عمق الماء المضاف من البرج الواحد اكبر بالقرب منه ثم تقل في اتجاه محيط دائرة البلل, و يعود ذلك الي ان وحدة المساحة المروية تزداد كلما بعدنا عن مركز الجهاز[2]

تكمن اهمية تقييم نظام الري المحوري و ذلك لمعرفة اداء المنظومةأن تقييمنظام الري بالرش ضروري ليس لنظام الري بالرش المحوري فحسب ,بل لجميع نظم الري فيماأوضح [3] [حيث وجد أنمعامل التجانس لنظام الري المحوري يتراوح بين % 70إلى% 90 أوأكثر و ذلك حسب المناخ السائدخلال مدة التقييم .فيما أوضح [4] أنه يمكن الحكم في توزيع المياه من قيم معامل التجانس uniformity coefficient(CU) أي عندما تكون اقل من % 80 يعتبر توزيع المياه غير مقبول ,كما اضاف الباحثان نفسيهما [4] أن قيم معامل التجانس لنظم الري المحوري ذات الضغط المنخفض ,يجب أن تكون ما بين % 85 و % 90 لقياس درجة تجانس توزيع المياه من نظام الري المحوري علي المساحة المروية , لابد من ايجاد معامل التجانس ,والذي يحسب من القياسات الحقلية لأعماق الماء المتجمعة في أوعية القياس الموضوعةعلي مسافات متساوية ضمن المساحة المراد ريها و المتاثرة بالرش ومن المعادلات المستخدمة لقياس معامل التجانس [5] تعني بتوزيع وانتظام الري فوق سطح التربة .

المشكلة البحثية

اصبحت مشكلة المياة مشكلة عالمية مما ادي الي ان هنالك تنافس حاد بين القطاعات المستخدمة للمياه داخل المجتمع الواحد و المجتمعات المتباينة . هنالك حديث عن ان الحروب العالمية القادمة سوف يكون محورها الماء و من المتوقع ان تكون هنالك ندرة في المياة ويصبح التنافس عليها بين الدول كبيرا وهذ يتتطلب وضع استراتيجة محددة للمياة و ذللك بغرض الادارة المتكاملة للمياة بغرض الاستفادة من هذا المورد الحيوي ورفع كفاءة استخدامة لزيادة المنتوج الزراعي لمقابلة الزيادة المطردة للسكان لضمان الامن الغذائي. وبما ان كفاءة استخدام المياه في الري السطحي

متدنية و فيها اهدار للمياة لذلك لابد من استخدام نظم ري حديثة ذات كفاءة استخدام عالية.

ومما هو جدير بالذكر أن طرق التقييم الحقلي لاداء نظام الري تستخدم لمعالجة إحدى المشكلات الضرورية في الوقت الحالي وهي مشكلة فقدان المياه نتيجة الاستخدام والتوزيع عن طريقنظام الري في داخل الحقل والتي تعتبر من المشاكل الهامة الموجودة داخل المزارع التي تستخدم نظم الري المختلفة. لذا فإن تقييم أداء نظام الري يعتبر أمرا ضرورياً ليسلنظام الري المحوري فحسب ولكن لجميع نظم الري الحقلي. ويمكن استخدام بيانات التقييملتوضيح أهم المشاكل البارزة في الوقت الحاضر وهي المياه المفقودة أثناء التوزيع والتشغيل لنظام الري على مستوى المزرعة. كذلك فإن التقييم سوف يشير الى مكان وكميةالمياه المفقودة أثناء التشغيل وكذلك في كيفية تطوير نظام الري أو تشغيله أوكليهما. وسوف تكون أهداف هذا البحث الذي يعتبر من الأبحاث الأولية في هذا المجال في السودان هي: إجراء تقييم حقلي لمجموعة من نظم الري المحورية مازالتتحت التشغيل في مشروع السلست بولاية الخرطوم. وذلك لمعرفة الأداء الفعلي لهذه النظم وكيفية توزيع المياه المضافة على المساحة المروية.

طرق و مواد البحث

اجريت تجربة حقلية بمشروع السليت بمحلية شرق النيل لتقيم منظومة الري المحوري تحت ظروف المنطقة يقع المشروع في منطقة شبة جافة علي خطي عرض ش °15 ″17 ′43 °32 , ″24 ′34 ق اخذت عينات تربة لاعماق 0-15 ,15-30 ,30-45سم واستخدمت عينة فرعية ممثلة للتربة في التحليل الميكانيكي والكيميائي وقد تم تحديدقدرة التبادل الكاتيوني و نسبة الصوديوم القايلة للتحويل و التوصيل الكهربي و فقا للطرق القياسية واستخدمت طريقة (Malvern Instruments, Malvern, England) Master sizer 2000 A لتحديد توزيع حجم الحبيبات وتعطي خصائص التربة الأساسية في الجدول 1.استخدم في هذة التجربة ثلاثة اجهزة ري محوري (Valley8000) ذو اربعة اذرع لكل جهاز وبطول ذراع قدرة 48 متر و انابيب المحاور مصنوعة من الالمنيوم يسمك 3مم وبقطر 219 مم وقدرة الموتور اللازمة لتشغيل المضخة حوالي 100 HP. تم اختيار خط موضع اوعية القياس بحيث تكون فروق المناسيب علي طول الخط اقل ما يمكن و تمت التجربة في المسار غير المزروع . كما تم ضبط وضع خط الرشاشات بحيث كان بينة وبين اوعية القياس زاوية تتراوح بين 10 –30 درجة. تمت معايرة سرعة الجهاز مع اعماق المياة المتجمعة من تلك السرعات من خلال اتباع الخطوات الموصي بها من قبل جمعية المهندسين الزراعيين الامريكية [6] اوعية أسطوانية الشكل(32علبة) مساحة سطح كل واحد منها 78.54سم2 ولمسافة قدرها6امتار بين وعاء القياس والاخرأبتداءً من المحور لنهاية طول خط الرشاشات, تم تحديد سرعة الجهاز 60% و ضغط تشغيلي قدرة 30 باوند/ البوصة ^{2}.كررت القياسات ثلاث مرات. تم قياس اعماق المياة المتجمعة باوعية القياس وذلك بقسمة حجم المياة المتجمع في الوعاء علي مساحة مقطع الوعاء كما في المعادلة ادناه .

$$d = V/A \quad (1)$$

d = عمق المياة المتجمع سم

V = حجم الماء المتجمع سم3

A = مساحة سطح وعاء القياس سم2

عناصر التقييم:

$$Cu = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^{i=N} W_i \left|\frac{X_i}{D_w} - 1\right|}{\sum_{i=1}^{i=N} W_i}\right] \times 100 \quad (2)$$

حيث أن:

N = عدد أوعية القياس و X_i = عمق المياه المتجمعة في الوعاءالقياسي الواحد و W_i = معامل الوزن أو رقم الوعاء في حال ثبات المسافة بين الأوعية .

D_w = متوسط العمق الموزون $= \frac{\text{مجموع الأعماق الموزونة}}{\text{مجموع أرقام الأوعية}}$

$$D_W = \frac{\sum_{i=1}^{i=N}(W_i \times X_i)}{\sum_{i=1}^{i=N} W_i} \quad (3)$$

2- معامل انتظام التوزيع (D_u) : Distribution uniformity

$$D_u = \frac{d_w}{D_w} \times 100 \quad (4)$$

حيث أن:

Du = معامل انتظام التوزيع (%) و Dw = متوسط العمق الموزون. و dw = متوسط العمق الموزون لعمق الماء المتجمع في الربع الأقل.

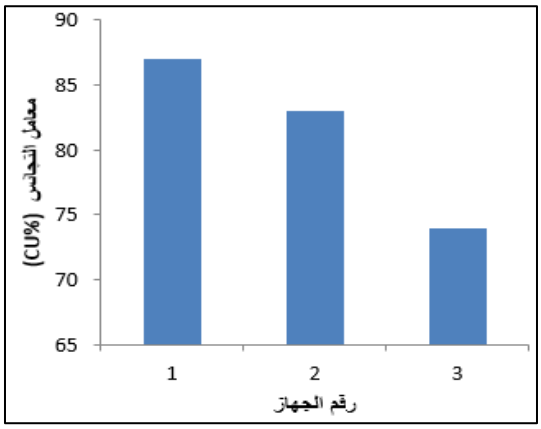
$$= \frac{\text{مجموع الأعماق الموزونة في الربع الأقل}}{\text{مجموع ربع أرقام الأوعية}}$$

٣ – كفاءة الإضافة لنظام الري المحوري (Ea) : Application efficiency (Ea%) of center pivot

$$E_a = \frac{D_w}{D_g} \times 100 \quad (5)$$

النتائج والمناقشة

يبين الشكل(1) نسبة معامل انتظام توزيع الماء للاجهزة الثلاثة المستخدمة في هذه الدراسة اذ وجد ان قيم نسبة معامل انتظام توزيع الماء كانت 59% و 73% و 91% (للجهاز الاول و الثاني و التالت علي التوالي حيث وجد ان



شكل .1 قيم معامل التجانس لأجهزة الري المحوري المستخدمة في الدراسة

يعذى ذلك لانسداد بعض الرشاشات وكما يكون ايضا من نتيجة للاختلاف في ترتيب الرشاشات و وضعها في غير موضعها علي طول خط الرشاشات من المحور الي نهاية الخط.وهذا أثر سلبا في بعض قيم معامل التوزيع ,مما

٤ – كفاءة إضافة المياه الممكنة في الربع الأقل : (PELQ)potential Efficiency of low quarter

$$PELQ = D_u \times E_a = \frac{d_w}{D_g} \times 100 \quad (6)$$

جدول1 يبين بعض الصفات الفيزيائية والكيميائية لتربة منطقة الدراسة

الصفة		الوحدة	العمق (سم)		
			0 - 20	20 - 45	45 - 80
الكثافة الظاهرية		جرام.سم$^{-3}$	1.29	1.43	1.52
التوزيع الحجمي لحبيبات التربة	رمل	%	51	53	45
	طمي		16	12	10
	طين		33	35	45
EC		ديسيمنز.م$^{-1}$	0.57	0.93	1.4
pH			7.9	7.7	7.6
الكلس			0.5	1.4	2.3
الجبس			9	8	10

هنالك فروقات واضحة في القيم من جهاز لاخر علي الرغم من الاجهزة المستخدمة من نوع واحد و تم تشغيلها تحت ضغط تشغيلي ونسية سرعة ثابتة حيث كانت القيم (59% و 73%) اقل من الموصي بها و تعتبر قيمة غير مقبولة [3]وكانت اقصي قيمة تم التوصل اليها هي (91%). انعكس سلباعلي عدم تداخل دوائرالرش فيمابينها ,وهذايتفق مع ما اوضحه[7] .

الجدول رقم 2 يوضح توزيع أعماق المياه المضافةعلي طول المحور ويشير الي قيم متوسطات أعماق المياه المتجمعة في العلب على طول خط المحور من الرشاشات لكل برج من الجدول يتضح ان هنالك تفاوت كبير في أعماق المياه المتجمعة من جهاز إلى آخر ,فضلاعن تفاوت في أعماق المياه المضافة على طول خط المحورللجهاز الواحد ,إذ يلاحظ ان هنالك اعماق اكبر في بداية الخط مقارنة بنهاياتها وفي احيان اخري تكون الاعماق اكبر في الوسط و النهاية من البدايات في الخط الواحد ويرجع ذلك الي عوامل كثيرة منها يكون هذا الاختلاف نتيجة لاختلاف الضغط علي طول خط المحور و حالة الرشاشات.

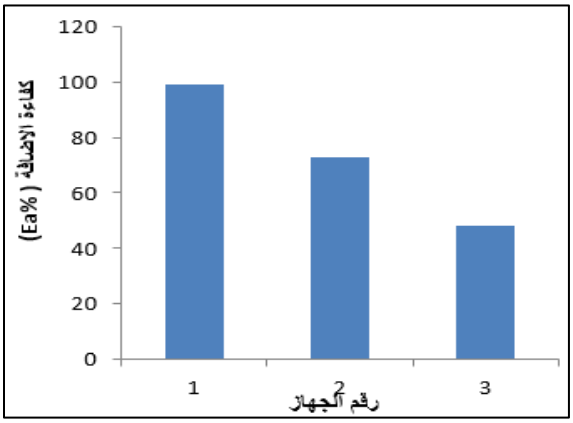
هذا يتفق مع [8] و [9] كما يلاحظ من الجدول ايضا ان متوسطات اعماق المياه المتجمعة كانت (2.2 مم و 3.4ملم 5 مم) للجهاز الاول و الثاني والثالث علي التوالي ومن الجدول2 نلاحظ أن أدنى أعماق للمياة تم الحصول عليها من الجهاز الثالث حيث كانت اعلي قيم للاعماق في الربع الاخيرمن خط الرشاشات وصلت الي (5.7 مم) فيما انخفضت الي ادني قيمة لها وكانت في حدود (3.5 مم) للجهاز المذكور اعلاه ,وعلى الرغم من انخفاض أعماق المياه المتجمعة الا ان التفاوت قليل جداً بين القيم.

معامل التجانس (Cu) بين الشكل (1) نسبة معامل التجانس للاجهزة الثلاثة المستخدمة في هذه الدراسة اذ وجد ان قيم نسبة معامل التجانس كانت 74% و 83% و 88% (للجهاز الاول و الثاني و التالت علي التوالي حيث وجد ان هنالك فروقات واضحة في القيم.اما بالنسبة لكفاءة الاضافة يبين الشكل (2) كفاءة اضافة المياة للاجهزة الثلاثة حيث وجد ان قيم كفاءة الاضافة كانت 48% و 73% و 99% (للجهاز الاول و الثاني و الثالث علي التوالي حيث وجد ان هنالك فروقات ايضا واضحة.

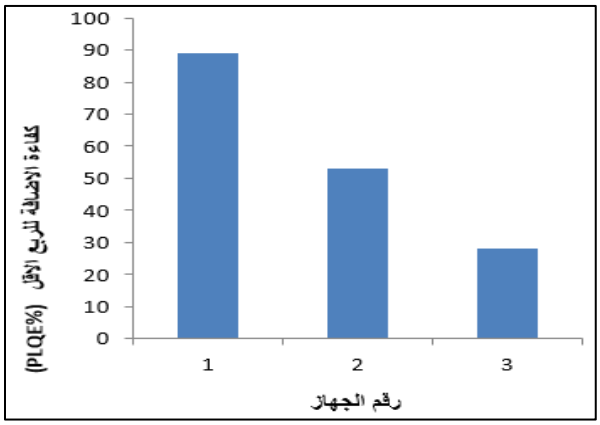
اما بالنسبة لكفاءة إضافة المياه الممكنة في الربع الأقل (PELQ) يبين(الشكل 3) وجد ان قيمها كانت 28% و وهذه القيم و الاعماق المتجمعة من الرشاشات و الموضحة في الشكل (4) يمكننا معرفة وحساب كميات المياة المضافة من الرشاشات كل علي حدا كما يمكن تحديد الرشاشات التي اضافت مياة اكثر من التي اضافت كمية مياة اقل وذلك مغرقة الرشاشات التي تحتاج الي فحص و صيانة علي طول خط الرشاشات لكل من اجهزة الري المحوري المستخدمة في الدراسة. و تعتبر نتائج هذه الدراسة بمثابة مرجع للمهتمين بعملية الري و الصيانة.

53% و 89% للاجهزة الثلاث علي التوالي كما وجدت فروقات كبيرة في القيم.

وبمقارنة تلك النتائج مع بعضها لك من الاجهزة الثلاثة يتضح ان الجهاز الثالث هو الافضل في توزيع اعماق المياة الاضافة مقارنة بالاجهزة الاخري و يرجع ذلك الي نسب الاختلاف في اعماق المياة المتجمعة من الاجهزة والذي يرتبط بقيم معامل انتظام التوزيع (Du%) والتي كانت في حدود 59% و 73% و 91% (للجهاز الاول و الثاني و التالت علي التوالي)



شكل .2 قيم كفاءة الاضافة لأجهزة الري المحوري المستخدمة في الدراسة



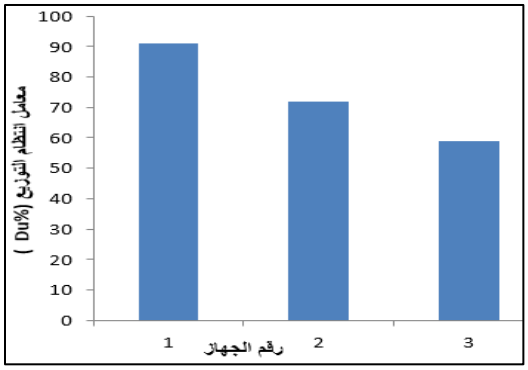
شكل.3 كفاءة اضافة المياة للربع الاقل لأجهزة الري المحوري المستخدمة في الدراسة

وجدت ان أعلي قيمة لأعماق المياه المتجمعة بالنسبة للجهاز الثالث كانت(3مم) في نهاية خط الرشاشات ,بالمقابل كانت أدنى قيمة(0.89مم) لنفس طول خط الرشاشات اما الجهاز الثاني فكانت اعلي قيمة للاعماق المتجمعة (5.09 مم) بينما كانت اقل قيمة (2.16 مم) وسبب الاختلاف بين قيم الاعماق المتجمعة الا وجود ارتباط وثيق بين قيم الاعماق المتجمعة

و نسبة معامل انتظام توزيع الماء و التي كانت علي النحو التالي (59% و 73% و 91%) كل من الجهاز الاول و الثاني و الثالث علي التولي. من تلك القيم الموجودة في الجدول رقم 2 يمكن معرفة المساحات التي اضيفت اليها كميات مياة اكبر و المساحات التي حصلت علي كمية مياة اقل .كما يمكن معرفة الرشاشات التي اضيفت مياه اكبر من التي اضيفت مياه اقل ومن ثم يمكن عمل الاصلاحات و الصيانة اللازمة لذلك وهذا يتفق مع ما أشار اليه [10]

الخلاصة و التوصيات:

1. عناصر تقيم نظام الري بالرش المحوري لكل من(معامل التجانس(CU). معامل انتظام التوزيع(DU),كفاءة الاضافة(Ea) و كفاءة اضافة المياة في الربع الاقل(PELQ))
2. عموما اوضحت النتائج اان قيمة(CU, DU, Ea, PELQ) ك كانت اعلي بالنسبة للمحور رقم (1) مقارنة بالمحورين (2و3)
3. عموما النتائج المتحصل عليها من المحور رقم (1) لكل عناصر التقييم المقاسة سجلت قيم في حدود المصي بها, بينما سجل المحورين (2 و3) قيم اقل من الموصي بها.
4. يعتبر المحور رقم (1) هو الافضل بانسبة لظروف الحقل قيد الدراسة.



شكل 4.قيم معامل انتظام التوزيع لأجهزة الري المحوري المستخدمة في الدراسة

جدول. 2 يشير الي اعماق المياة المتجمعة علي طول خط الرشاشات للاجهزة المستخدمة

رقم الوعاء	عمق الماء المضاف (مم)	عمق الماء المضاف (مم)	عمق الماء المضاف (مم)
1	3.56	2.29	1.02
2	3.44	2.16	0.89
3	4.96	3.69	1.15
4	3.69	2.42	2.42
5	4.07	2.80	1.53
6	3.94	2.67	1.40
7	4.33	3.05	1.78
8	5.73	4.45	1.91
9	5.60	3.05	1.78
10	5.22	3.94	1.40
11	4.33	3.05	3.05
12	4.83	3.56	2.29
13	5.98	4.71	2.16
14	3.56	2.29	2.29
15	5.22	3.94	1.40
16	4.45	3.18	1.91
17	5.09	3.82	1.27
18	5.98	4.71	2.16
19	5.60	4.33	1.78
20	5.73	4.45	1.91
21	4.83	3.56	2.29
22	3.94	2.67	1.40
23	4.71	3.44	2.16
24	5.22	3.94	1.40
25	5.09	3.82	2.54
26	5.34	4.07	2.80
27	4.45	3.18	1.91
28	4.45	3.18	1.91
29	4.58	3.31	2.04
30	3.94	2.74	1.40
31	6.36	5.09	2.54
32	5.60	4.33	3.05

REFFERENCES

[1] Ahmad, W. I. (1980). An evaluation of sprinkler irrigation system in Iraq. SC. Thesis Engineering College-University of Bagdad-Iraq

[2] Al-Ghubari, H. M. (1996). The effect of pivot irrigation system, the rotational speed of the losses sprinkler. Al-Malik Soud J. 8(1): 111-123.

[3] ASAE Standards S436. (1994). Test Procedure for Determining the Uniformity of Water Distribution for Center Pivot, and Moving Lateral Irrigation Machines Equipped with Spray or Sprinkler Nozzles. ASAE, Joseph, MI 49085, pp. 754-755.

[4] Camp, C.R. and Sadler, E. J. (1994). Center Pivot Irrigation Systems for Site-Specific Water and Nutrient Management. St. Joseph. Mich, ASAE.

[5] Christiansen, J.E. (1942). Irrigation by Sprinkler. Agricultural experiment station, University of California, Berkeley.

[6] Keller, J. and Bliesner, R. D. (1990). Sprinkler and Trickle Irrigation. Van Nostrand Reinhold, NY, U.S.A. pp. 652.

[7] Merriam, J. L. and Keller,J. (1978). Farm Irrigation Systems Evaluation: A Guide for Management of Irrigation Water and Chemicals. U.S. Patent.

[8] Soloman, K. H. (1984). Yield related interpretation of irrigation uniformity and efficiency measure. Irrigation Sci. 5(3): 161-172.

[9] Tarjuelo, J. M., Ortega, J. T., Montero J. and de Juan, T. A. (2000). Modeling evaporation and drift losses in irrigation with medium size impact sprinkles under semi-arid conditions. Agricultural Water anagement. 43(3): 263-284.

[10] Zhu, H., Sorensen ,R. B., Bults, C. L. and Lamb, M. C. (2002). A pressure regulating system for variable irrigation flow contrast. Applied Engin. Agric18(5): 533-640.