دالة الإنتاجية المائية لمحصول الذرة السكرية تحت ظروف منطقة شمال غرب ليبيا

د. يونس ضو زايد الزليط د. يوسف صالح المبروك حامد

قسم التربة والمياه، كلية الزراعة، جامعة طرابلس

أ. محمد مخلوف وزارة الزراعة والثروة الحيوانية والبحرية

المستخلص:

تم استنباط العلاقة الكمية بين إنتاجية محصول الذرة السكرية مع كمية المياه المستهلكة في عملية البخر نتح، حيث نفذت تجربة حقلية بمحطة أبحاث كلية الزراعة كتكرار لموسمين (2017/2016). تم استنباط الدوال الإنتاجية من البيانات المجمعة من تجارب الخط الواحد، وتتضمن هذه البيانات قياس كل من حجم مياه الري التي تم إضافته في كل عملية ري وتتبع التغير في المحتوى الرطوبي لطبقات قطاع التربة في منطقة الجذور قبل وبعد الزراعة مع كمية الإنتاج المقابلة التي تم الحصول عليها خلال تجربة موسمي الزراعة. أوضحت النتائج المتحصل عليها حدوث ارتفاع تناقصي في معدلات الإنتاجية كلما زادت كميات مياه الري بمعدلات ثابتة. أن العلاقة بين الإنتاجية واستهلاك الماء أمكن تمثيلها والتعبير عنها بدرجة عالية من الدقة بدالة جبرية تناقصية متعددة الحدود من الدرجة الثانية، كما أوضحت التحاليل الرياضية التي أجريت على هذه الدوال عدة نتائج في مجال تخطيط وإدارة الموارد المائية، حيث تم تحديد كمية مياه الري (متر^3 \ هكتار) المثلى التي تحقق أكبر إنتاج من محصول الذرة السكرية، فكانت سنة 2016 م 5918 متر^3\هكتار بإنتاجية قدرت 17.76 طن للهكتار، وفي سنة 2017 م 6991 متر^3\هكتار وبإنتاجية قدرة 18.8 طن /للهكتار وكذلك للبذور والعلف الجاف (تبن) كلا على حدا، وتحديد كمية مياه الري والإنتاج المقابلة لتحقيق أكبر قدر من ماء الري بغض النظر عن المردود الاقتصادي للعملية الإنتاجية والتي كانت 4084 متر^3/ للهكتار في سنة 2016 م، وكانت 4617 متر^3/ للهكتار في سنة 2017م، وكذلك البذور والعلف الجاف (تبن) وتحليل الدوال الإنتاجية لها، وتم تحديد أكبر مردود اقتصادي ممكن لمياه الري المستهلكة في العملية الإنتاجية للمحصول.

الكلمات المفتاحية: الذرة السكرية، الاستهلاك المائي، سهل الجفارة، دالة الإنتاجية المائية، كفاءة استهلاك المياه.

المقدمة

تتم دراسة الاستهلاك المائي للمحاصيل الزراعية المختلفة من خلال استنباط علاقة كمية بين إنتاجية المحصول مع كميات المياه المستهلكة في عملية البخرنتح أو كميات مياه الري المضافة إلى المحصول (الغرياني وآخرون، 2019)، ويمكن تقدير مقدار التغير في كمية إنتاجية المحصول بالتغير في كمية مياه الري التي يتم الحصول عليها خلال الموسم، من خلال تنفيذ تجارب مخطط لها للحصول على نتائج تجريبية أو من خلال تطوير نموذج رياضي بالاعتماد على الملاحظات التجريبية للإنتاجية بالحقول (Young وLoomis، 2014). وأي كانت الطريقة المتبعة لتجميع البيانات، فيمكن تمثيل الإنتاجية بدلالة مياه الري بدالة رياضية بسيطة من خلال جدول أو من خلال شكل بياني يساعد المتخصصين المخططين في اتخاذ القرارات المتعلقة بإدارة مياه الري.

لسنوات طويلة كانت إنتاجية المحاصيل الزراعية تحتسب بكمية الإنتاج لوحدة المساحة، بحيث يتم التعبير عنها غالبا بالطن للهكتار، فكل المحاولات التي كانت تتم لزيادة الإنتاج لم تعطي أهمية كبيرة لكميات المياه التي تضاف في عملية الري، وكان التركيز على التربية الوراثية من أجل الحصول على أصناف ذات إنتاجية عالية ومقاومة للأمراض ودارسات خصوبة التربة والأسمدة، إلا أن هذا المفهوم يهمل حقيقة محدودية مياه الري خصوصاً في المناطق الجافة وشبه الجافة، ويعرض الموارد المائية لخطر النضوب (Doorenbos و Kassam، 1979؛ Stewart وآخرون، 1976؛ Varzi؛ 2016). كانت أولى المعادلات لوصف السلوك غير الخطي لدالة أنتاج المحصول مقدمة من كل من Yaron (1967) والذي أعاد تأكيدها klocke وآخرون (1989) بحيث يمكن كتابتها على الصورة:

$$Y = a + b(aw) + c(aw)^2 \quad (1)$$

حيث aw الماء المتاح وa وb وc هي معالم يتم إيجادها من خلال تحليل الانحدار لبيانات تجريبية لمحصول محدد، وما يلاحظ أن هذه الدالة غير متماثلة حول الإنتاجية القصوى، وقد شاع استخدام هذه الصيغة لدالة الإنتاجية المائية للمحاصيل وقام العديد من الباحثين باستنباطها للعديد من المحاصيل حول العالم. محليا استنبط الغرياني وآخرون (1984) معالم هذه الدالة لمحصول الصفصفة بعد أجراء تجارب باستخدام نظام خط الري الواحد بكل من محطة أبحاث كلية الزراعة بجامعة طرابلس والمزرعة التجريبية بمشروع وادي كعام الزراعي، حيث تم تعريض المحصول إلى درجات مختلفة من الإجهاد المائي

بواسطة الري العجزي للحصول على بيانات التغير في الإنتاجية مع التغير في كمية الاستهلاك المائي الموسمي.

يساعد تحليل هذه الصيغة من دالة الإنتاجية المائية للمحاصيل على إعداد برامج ناجحة لرفع كفاءة استهلاك المياه تحت نظام الري خصوصا في المناطق الجافة وشبه الجافة التي تعاني من نقص في المياه، ونتيجة لشكل الدالة غير الخطي والذي يمكن وصفه إلى أقرب ما يكون بالشكل S، مما يتيح فرصة البحث عن نقطة محددة على المنحنى، والتي عندها يمكن أن يتم الحصول على أعلى إنتاج بالنسبة لوحدة مياه الري، مع ملاحظة أنها لا تعكس الإنتاج الكلي، هذه الرؤيا تتيح فرصة استغلال الموارد المائية وإجراء المقارنات ما بين المحاصيل الزراعية بناء على العائد من الإنتاج بالنسبة لوحدة المياه والتي عرفت بمصطلح كفاءة استهلاك المياه، وبناء على هذه الرؤية، قدم English (1996) تحليل رياضي بسيط يعتمد على تفاضلات لدالة الإنتاجية المائية للمحصول. فقد درس English (1990) اقتصاديات الري العجزي وطور المفاهيم التي يجب أن تؤخذ في عين الاعتبار عند تطبيق الري العجزي، بحيث تم وضعها في صورة نماذج رياضية يمكن استخدامها لتقدير نطاق استخدام المياه الذي يكون فيه الري العجزي أكبر ربحية من الري الكامل (English، 1996)، لذلك كان من الضروري البحث واستنباط هذه الدوال تحت الظروف الحقلية المحلية للمحاصيل المختلفة من أجل توفير بيانات تجريبية مفيدة من أجل العمل على الرفع من كفاءة استهلاك مياه الري.

يعد محصول الذرة السكرية (*Sorghum bicolor* L.) من المحاصيل الحولية الاستراتيجية التي يتم زراعتها في أكثر من 73 دولة حول العالم، تتركز في قارات أفريقيا وأمريكا واسيا (Upadhyaya، 2017). يحتل محصول الذرة السكرية المرتبة الخامسة من حيث الإنتاج للمحاصيل الاستراتيجية، حيث قدر متوسط الإنتاج العالمي بـ 67 مليون طن (Price وWech، 2013). ويستخدم في الدول النامية كغذاء للإنسان، وكذلك لإنتاج العلف سواء علف أخضر أو سيلاج لدعم الإنتاج الحيواني، كما استخدم في بعض الدول المتقدمة في إنتاج الوقود الحيوي (Cgiar، 2013).

يعتبر محصول الذرة السكرية من نباتات c4 في عائلة العشبيات التي تتميز بكفاءة بناء ضوئي عالية جدا، وله معدلات نمو سريعة، وإنتاجه متعدد الاستخدامات (Upadhyaya، 2017)، يصل طول المحصول إلى ارتفاعات تتراوح من 120 سم إلى 400 سم حسب الصنف، ويحتوي على نسب سكر عالية تتراوح من 16% إلى 23 %حسب الصنف، ويعد أحد المحاصيل المقاومة للجفاف بمتوسط استهلاك مائي لا

يتجاوز 0.5 متر مياه عمق للموسم، وقابل للأقلمة مع ظروف تغير درجات الحرارة، ولا يحتاج إلى معدلات تسميد عالية، لذلك تعتبر تكلفة زراعته منخفضة مقارنة بالمحاصيل الأخرى (Camargo وHubbard، 1999).

تزرع الذرة السكرية في ليبيا غالبا في المناطق الساحلية وبعض دوائر الري المحوري في الجنوب صيفاً، بداية من شهر أبريل ليمتد الموسم طوال الصيف، ويزرع أساساً لتوفير الأعلاف لدعم قطاع الإنتاج الحيواني وتوفير العلف الأخضر. ونظراً للمردود الاقتصادي المنظور وزيادة الطلب على الأعلاف في فصول الجفاف، زادت المساحات المزروعة من هذا المحصول، مما يزيد الضغط على الموارد المائية الجوفية التي تمثل المصدر الرئيسي لمياه الري (الغرياني وآخرون، 2019).

وبالرغم من أهمية محصول الذرة السكرية، فإن تحديد دالة الإنتاجية المائية لهذا المحصول تحت الظروف المحلية لم يتم تقديره، لذلك هدفت الورقة إلى تقدير دالة الإنتاجية المائية لمحصول الذرة السكرية تحت الظروف المحلية كخطوة نحو تقديرات دقيقة للإنتاجية المائية تحت الظروف المحلية.

المواد وطرائق البحث

تم تنفيذ التجربة لتقدير دالة الإنتاجية المائية لمحصول الذرة السكرية لموسمين متتاليين خلال سنتي 2016، 2017، مع وجود فروقات في الغرض من الزراعة ما بين الموسمين. وتمثل الاختلافات الأساسية ما بين الموسمين في كثافة الزراعة وموعد الحصاد، ففي الموسم الأول كان الإنتاج المستهدف هو المجموع الخضري وإنتاج الأعلاف، بينما هدف الموسم الثاني إنتاج الحبوب، وتم تقدير دالة الإنتاجية المائية للتجربتين، ومن ثم تم تحليل الدالة اقتصادياً للحصول على الإنتاجية المائية وفقا لما قدمه English (2002)، وفيما يلي تفصيل حول مكان وتصميم التجربة وكذلك مواد وطرائق البحث.

وصف منطقة التجربة

أجريت التجربة في محطة الأبحاث والتجارب بكلية الزراعة بجامعة طرابلس، التي تقع بالشمال الغربي من ليبيا وسط ساحل أفريقيا الشمالي على البحر المتوسط، ويقع مكان التجربة عند تقاطع دائرة عرض N ’’68 ’84 º32 وخط طول E’’07 ’22 º13 كما هو موضح بشكل 2.

شكل 1. موقع اجراء التجربة.

الوصف العام لمناخ موقع التجربة

يتميز موقع ليبيا عموماً بالتنوع المناخي حيث يتدرج من مناخ معتدل في الساحل وهو مناخ البحر الأبيض المتوسط إلى المناخ الصحراوي في الجنوب، وتقع منطقة طرابلس ضمن نطاق مناخ البحر الأبيض المتوسط، الذي يتميز بفصل شتاء معتدل، أما فصل الصيف يعتبر حار نسبياً، وتتباين قيم العناصر المناخية المختلفة تبعاً للتغير الحاصل بين فصلي الشتاء والصيف، حيث يقدر متوسط درجات الحرارة السنوية 12° م في العام، وبمدى تغير يصل إلى 13 °م في منتصف الصيف و 10° م في الشتاء، إلا أنه عند الحديث عن أقصى درجات حرارة مسجلة فأن القيم تتجاوز 45° م صيفا في بعض الأيام، وقد تصل إلى قيم تقترب من الصفر المئوي ليلاً شتاءً. ويصل متوسط ساعات السطوع الفعلية أقصى قيمة له في شهر يوليو بمتوسط 11.86 ساعة في اليوم، وأدنى قيمة لمتوسط ساعات السطوع الفعلية في شهر ديسمبر، بحيث لا يزيد عن 5.9 ساعة في اليوم. في حين يتراوح متوسط قيم الرطوبة النسبية ما بين و64% في منتصف الصيف 72% في منتصف الشتاء وبمتوسط سنوي في حدود 68 %. ويصل متوسط سرعة الرياح إلى أعلى قيم له في أشهر أبريل ومايو ويونيو التي تقدر بـ 309 و312 و307 كم \ اليوم على التوالي، في حين تقل سرعة الرياح عن هذه القيم خلال أشهر الخريف التي تقدر بـ 237 و 229 كم \ اليوم خلال شهري أكتوبر ونوفمبر على التوالي (الغرياني وآخرون، 2019).

محصول الذرة السكرية

يعتبر محصول الذرة السكرية (Z. may sregusa) أحد أهم المحاصيل انتشاراً في مناطق الشريط الساحلي وسهل الجفارة الواقعة في شمال غرب ليبيا، والذي يتم زراعته صيفاً لغرض الحصول على الأعلاف الخضراء بالدرجة الأولى، وتتم زراعته تحت نظام الري الدائم، وقد تم الحصول على بذور المحصول من السوق المحلية وهو صنف جيزا 15، وهو صنف مصري طويل الساق ويصل طوله إلى 3.5 متر وطول موسم النمو يتراوح من 110 إلى 120 يوم، والقناديل بيضاوية الشكل ومندمجة والحبوب بيضاء إلى عاجية اللون، وهذا الصنف مقاوم لأمراض التفحم الحبي والرأسي وعفن الساق.

الاحتياجات المائية لمحصول الذرة السكرية

لتحديد كميات مختلفة من مياه الري المضافة للمعاملات المختلفة يتطلب الأمر تحديد كميات مياه الري الواجب إضافتها لكل معاملة، ولتحقيق ذلك وجب إجراء تقدير الاحتياجات المائية لمحصول الذرة السكرية، يمكن تقدير معدلات البخر والنتح المرجعي بالاعتماد على البيانات المناخية المتوفرة حول مكان التجربة، باستخدام معادلة بنمان مونثييت المعدلة (Allen وآخرون، 1998). ومن ثم تقدير الاستهلاك المائي للمحصول بضرب قيم Kc للمراحل المختلفة في قيم معدلات البخر اليومية (Allen وآخرون، 1998)، وبعد ذلك يتم جمعها خلال موسم نمو المحصول، بالرغم من اعتماد العديد من الدراسات المحلية والعالمية على القيم المقدمة من منظمة الفاو في نشرتها 24 و56 لقيم Kc للمحاصيل المختلفة ولظروف مختلفة منها ظروف مشابهة لمنطقة التجربة، إلا أنها تظل قيم تقديرية غير دقيقة تحتمل الخطاء. وبناء على ذلك قدمت الهيئة العامة للمياه دراسة مستفيضة وتقديرات محلية لقيم الاحتياجات المائية لمحصول الذرة السكرية لكامل ليبيا، وفي دراسة تصحيحية للدراسة السابقة قامت بها إدارة شؤون استغلال المياه في الزراعة، وزارة الموارد المائية، قدر صافي الاستهلاك المائي لمحصول الذرة السكرية ليكون 0.432 متر عمق للموسم الزراعي الواحد (الخوجة، 2022)، وبالرغم من أن هذا الرقم يظل تقريبيا، إلا أنه سوف يستخدم في هذه الدراسة كدليل تتوزع حوله أعماق مياه الري للمعاملات المختلفة لضمان تقدير الاحتياجات المائية الدقيقة لمحصول الذرة السكرية في منطقة الدراسة.

3. 5. الخواص الطبيعية والكيميائية للتربة

تعتبر تربة محطة التجارب جيدة الخواص الفيزيائية والكيميائية وتمثل إلى حد كبير معظم الترب السائدة داخل منطقة الدراسة والمصنفة حسب التصنيف الأمريكي تحت رتبة تربة رملية حديثة التكوين (Entisols) (بن محمود، 1995)، فهي ذات قوام طمي رملي ومتوسطة العمق ولا تعاني من مشاكل واضحة تحد من خصوبتها وإنتاجيتها الزراعية، ويوضح جدول 2 وجدول 3 بعض خواص تربة المزرعة الفيزيائية والكيميائية.

جدول 1 . بعض الخواص الطبيعية لتربة موقع الدراسة لآفاق مختلفة بسمك 20 سم وحتى عمق 100 سم

العمق (سم)	نسبة الرمل (%)	نسبة السلت (%)	نسبة الطين (%)	الكثافة الظاهرية جم /سم^3	الكثافة الفعلية جم/سم^3	التوصيل الهيدروليكي التشبعي سم /دقيقة
20-0	95.86	2.13	2	1.413	2.61	0.114
40-20	96.66	1	2.33	1.483	2.64	0.084
60-40	94.66	3.06	2.26	1.463	2.60	0.066
80-60	96.8	1.2	2	1.523	2.59	0.032
100-80	96.8	1.2	2	1.458	2.63	0.060

جدول 2. بعض الخواص الكيميائية لتربة التجربة حتى عمق 20 سم

العمق (سم)	20 - 0
كمية النيتروجين المتيسر مجم N($NH_4^+ + NO_3^-$) / كجم تربة	33.6
كمية البوتاسيوم المتيسر مجم k^+ كجم ترية	336
كمية الفوسفور المتيسر مجم P/كجم/تربة	37
EC مستخلص 1:1 ملليموز/سم	0.22
PH مستخلص 1:1	8

(المصدر: العلواني، 2000)

تصميم التجربة وتنفيذ التجربة

تجهيز نظام الخط الواحد للري

بعد أن تم تجهيز الحقل التي أجريت عليه التجربة بالتسوية والحرث، تم تصميم وتنفيد نظام الري للتجربة بطريقة خط الري الواحد (Hanks وآخرون 1976) التي تضمن الحصول على توزيع متدرج في الاتجاه العمودي على خط الري ومتماثل في الاتجاه الموازي لخط الري، بحيث كانت معاملات مياه الري عمودية على خط الري، وتستقبل

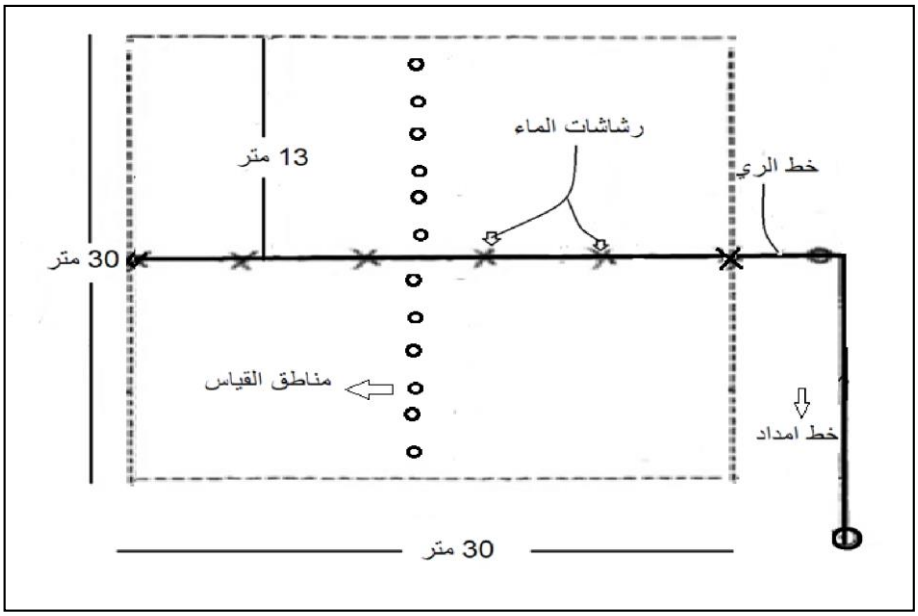
المعاملة الأقرب لخط الري كافة احتياجاتها المائية دون تعرضها لأي إجهاد قد يخفض من إنتاجيتها القصوى وتسمى (المعاملة الرطبة)، أما المعاملة الأبعد عن خط الري تستقبل أقل كمية من مياه الري ويتعرض المحصول فيها إلى أكبر قيمة للإجهاد المائي، بينما تستقبل المعاملات الأخرى كميات مختلفة من الماء تمثل جزء من احتياجاتها الكلية، بحيث تقل كلما ابتعدت المعاملة عن المعاملة الرطبة (خط الري). ويوفر هذا التصميم مكررين لكل معاملة يتم احتساب متوسطهما عند التحليل.

يوضح شكل (3) تصميم نظام خط الري الواحد، حيث تم تنفيد خط الري باستخدام أنابيب من الحديد المجلفن بقطر 3 بوصة، من الشرق والغرب في اتجاه مواز للاتجاه السائد لحركة الرياح السائدة في منطقة التجارب لضمان توزيع ماء ري متماثل على جانبي الخط، كما تم وضع رشاشات على حوامل بارتفاع 1 متر فوق سطح الأرض، بحيث كانت المسافة بين الرشاشات 6 متر، والتي تمثل ما يعادل 25% من قطر التغطية للرشاش وذلك لضمان التوزيع المتماثل (المتساوي تقريباً) في الاتجاه الموازي لخط الري وعلى طول المسافة ما بين أول وآخر رشاش في الخط المكون من 6 رشاشات نحاسية من نوع (Zenith)، بحيث تعطي معدلات رش تتناقص مع المسافة بالابتعاد عن موقع الخط من الجانبين حتى نهاية نصف قطر التغطية المبتلة (Hanks وآخرون، 1976). وتمت معايرة نظام الري حسب الخطوات التالية:

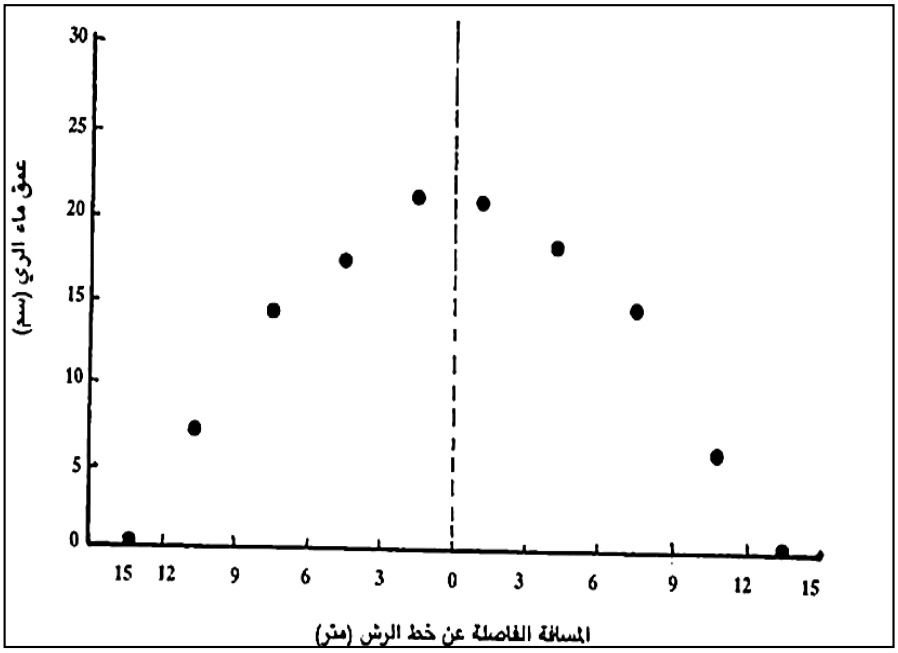
1. تم إجراء التجارب مع تغيير الضغط والرشاشات حتى وصلت كفاءة التوزيع المتوازي لخط الري ولكل الخطوط قيم لا تقل عن 90%. وتحقق ذلك عند ضخ ماء الري عند ضغط التشغيل يعادل (50 باوند \ البوصة المربعة) لينتج نصف قطر تغطية للرشاش يصل إلى 12 متر، وتم تجميع مياه الري باستخدام علب معدنية أسطوانية بمساحة سطحية معلومة (78 سم^2) موزعة على طول خط متعامد على خط الري بمسافة بين كل علبة وأخرى 2 متر، وأعطت نتائج الاختبار التي تمت في جو هادئ توزيع متماثل على جانبي الخط (شكل 4).

2. تم اختيار مواقع قياس حجم ماء الري، بحيث تكون وسط الحقل على امتداد خط واحد متعامد على خط الري ويتكون كل موقع قياس داخل كل معاملة من أنبوبة من الألومينيوم مغروسة في التربة إلى عمق 1.2 متر، أما الجزء المتبقي منها وطوله 0.3 متر فيبقى مرتفعاً فوق سطح التربة وتوضع عليه علبة صفيح مفتوحة من جانبها العلوي ومثبتة على قاعدة حديدية من جانبها المغلق أما جانبها العلوي المفتوح لا يقل مستوى ارتفاعه عن

أقصى ارتفاع تصل إليه سيقان المحصول في الحقل تفادياً لاعتراض أوراق المحصول وسيقانه لفتحة العلبة ورذاذ الرش.



شكل 2. مخطط يبين تصميم تجربة الخط الواحد وتوزيع علب تجميع مياه الري في المعاملات المختلفة.



شكل 3. توزيع الماء على جانبي خط الري بالرش.

إعداد الحقل وزراعة المحصول

تم حرث وتسوية الحقل بعد إعطاءه ريه منتظمة على كامل مساحة الحقل، وتمت عملية الحرث أولا باستخدام محراث قرصي (سبع أقراص)، ثم حرث وتسوية الحقل باستخدام العزاقة، بعد ذلك تمت زراعة المحصول في خطوط المسافة بين الخط والآخر 50 سم في الموسم الأول و70 سم في الموسم الثاني، بينما كانت كثافة البذور في الموسم الأول عالية لأن الغرض من الزراعة كان الحصول على العلف الأخضر، تباعدت المسافة ما بين البذور في الموسم الثاني لتصل إلى 20 سم من أجل إنتاج الحبوب، تم دفن البذرة في جورة بعمق 3 سم، وتم بعد الإنبات تخفيف المحصول لتصحيح عمليات الزراعة التي قد نتجت من زراعة أكثر من بذرة في الجورة الواحدة.

التسميد

تم إضافة كميات من سماد اليوريا وسماد 12: 24: 12 على دفعتين لكل من السمادين، بحيث تم ضمان حصول المحصول على احتياجاته السماديه، كما تم إضافة سماد ورقي على مدار الموسم وكل أسبوعين لتوفير حاجة المحصول من العناصر الدقيقة.

عمليات الري والمراقبة وجمع العينات خلال موسم النمو إلى ما قبل الحصاد

تم تطبيق عمليات الري للمحصول خلال كل مراحل نمو المحصول، وبكميات محددة بناء على التقديرات الأولية تحت البيئة المحلية للاحتياجات المائية لمحصول الذرة السكرية، وتتبع رطوبة التربة لضمان عدم تعرض المحصول إلى إجهاد مائي قد يؤثر على إنتاجية المعاملات المختلفة، بحيث تم مراقبة نمو المحصول من مرحلة البذر وخروج البادرات وباقي مراحل النمو حتى عملية الحصاد.

مرحلة الحصاد

تم تجمع العينات من الحقل أثناء الحصاد بالطريقة الآتية:

1. قسمت منطقة التجارب إلي سطور طولية موازية لخط الري، بحيث تمثل كل 3 خطوط معاملة مائية تحتوي في مركزها موقع قياس لرطوبة التربة وعمق ماء الري الموزع على هذه الخطوط. وبذلك يتم الحصول على 6 معاملات مائية عن يمين خط الري و6 معاملات مائية أخرى عن يسار الخط بمعدل مكررين لكل معاملة .

2. تم حصاد المحصول داخل كل معاملة مائية يدويا ويجمع داخل الخطوط الممثلة لكل معاملة.

3. رقمت العينات التي تم جمعها حسب موقع كل معاملة بالنسبة لخط الري عن يمينه وعن شماله من العينة الرطبة الأقرب لخط الري شمالاً وجنوباً (العينة رقم N 1 والعينة رقم S 1) إلي العينة الجافة الأبعد عن خط الري (العينة رقم N 6 والعينة رقم S 6).

4. عند الحصاد تم فصل البذور، ومن تم وزنها، وحساب الانتاجية في تكرار سنة 2017 فقط، حيت تم تجفيفها وحساب الانتاجية بالطن المتري للهكتار.

5. بعد حصاد المحصول تم تجفيف المحصول، والذي يتمثل في الاوراق والاغصان (مجموع خضري) و تم وزن العينات المتحصل عليها من كل معاملة، ومنه تم حساب الإنتاجية المحصولية لكل معاملة بالطن المتري للهكتار.

عند نهاية الموسم تم حصاد المحصول وتجميع عينات الإنتاج من كامل القطاع تحت التجربة، كما ثم تجفيف المحصول وقياس الوزن الجاف للمحصول من كل قطاع على حدا، كما تم تجميع عينات تربة من خمسة أعماق (بسمك 30 سم) عند مركز كل قطع (plot) ولعمق 150 سم.

تجميع ومعالجة البيانات

بيانات الري

تم حساب كمية مياه الري خلال كامل الموسم (I) والمجمعة في العلب وتحويلها من حجم إلى عمق (ملم)، ثم حساب التغير في رطوبة التربة بين بداية الموسم ونهايته ($\Delta\theta$)، من ثم حساب صافي عمق مياه الري (Inet) من خلال تطبيق المعادلة التالية:

$$I_{net} = I + \Delta\theta \quad (2)$$

بيانات الإنتاج

تم وزن كمية الإنتاج متمثلة في وزن المحصول الكلي الجاف بالكيلو جرام، ومن ثم تم تحويل الإنتاج إلى وحدة طن /هكتار.

تقدير معالم دالة الإنتاجية المائية باستخدام تحليل الانحدار غير الخطي

تم استخدام برنامج أكسل 2010 لتمثيل البيانات بيانياً لقيم كل من الإنتاج وعمق مياه الري من أجل المقارنة الوصفية للمعاملات، ومن ثم تقدير واشتقاق معالم معادلات الدوال الإنتاجية لمحصول الذرة السكرية باستخدام برنامج أكسل 2010 عن طريق تحليل الانحدار كما يلي:

$$Y = a + bW + cW^2 \quad (3)$$

(R يرمز إلى إن المعادلة مذكورة سابقا تحت نفس الرقم)

بالإضافة إلى ذلك تم حساب قيم معامل التحديد (R^2) لكل معادلة من أجل التأكد من صلاحيتها.

تحليل دالة الإنتاجية المائية وتقدير كفاءة الاستهلاك المائي

تم تحليل الدوال الإنتاجية للبيانات المسجلة في التجربتين للموسمين المتتاليين للذرة السكرية، حيث تم تحليل الدالة الإنتاجية المائية للتجربة الأولى التي هدفت أساساً إلى إنتاج العلف الجاف (تبن)، ومن ثم تم تحليل بيانات التجربة الثانية التي هدفت لإنتاج كل من الحبوب والعلف الجاف، حيث تم تقدير الكفاءة الحدية لاستهلاك الماء ($\frac{dy}{dw}$) ويتم ذلك بأخذ المشتق الأول لدالة الإنتاجية المائية كما يلي:

$$\frac{dy}{dw} = b + cw \quad (4)$$

كما تم تقدير الكفاءة الموسمية الاستهلاك الماء للتجربتين كما يلي

$$\frac{y}{w} = b + \frac{a - cw^2}{w} = b + aw^{-1} + cw \quad (5)$$

ومنها تم حساب أعلى استهلاك مائي الذي يحقق أعلى إنتاجية (Y) باعتبار أن أعلى إنتاجية ممكنة عندما تكون قيمة الكفاءة الحدية لاستهلاك الماء تساوي صفراً أي عندما $\frac{dy}{dw} = 0$ ويمكن حساب الاحتياجات المائية اللازمة لتحقيق أعلى إنتاجية كما يلي

$$w = -\frac{b}{2c} \quad (6)$$

استخدام نتائج تحليل الدالة الإنتاجية المائية في تخطيط وإدارة استثمار الري لمحصول الذرة السكرية

تم إتباع ما تم اقتراحه من قبل English (1990، 1996)، حيث تم تحديد حالتين ممكنتين تحدد العملية الإنتاجية بهدف تعظيم العائد من العملية الإنتاجية يمكن سردها كما يلي:

1. توفير أكبر قدر يمكن توفيره من ماء الري بغض النظر عن المردود الاقتصادي للعملية الإنتاجية.
2. تحقيق أكبر صافي دخل اقتصادي من المحصول المروي لوحدة المساحة (هكتار) أخذاً في الاعتبار كافة تكاليف عناصر الإنتاج الأخرى الثابتة والمتغيرة إضافةً إلى تكاليف مياه الري المتاحة

تحليل دالة الهدف عندما تكون الغاية توفير أكبر قدر يمكن توفيره من ماء الري بغض النظر عن المردود الاقتصادي للعملية الإنتاجية.

يتم تحقيق هذا الهدف عند أكبر قيمة للكفاءة الموسمية لاستهلاك الماء، ويكون أكفأ مستوى إنتاجي مقابل للاستهلاك المائي الذي عنده يكون معدل تغير الكفاءة الحدية مساوياً للصفر، أي

$$0 = \frac{d(y/w)}{dw} \quad (7)$$

. النتائج والمناقشة

تم تحليل بيانات تجارب تقدير دالة الإنتاجية المائية لمحصول الذرة السكرية التي تمت خلال موسمي 2016م و2017م. ففي سنة 2016م تم زراعة المحصول والتركيز عليه كمحصول علف فقط دون الأخذ في الاعتبار البذور، حيث وصل المحصول إلى بداية مرحلة التزهير فقط قبل أن يتم حصاده وتجميعه من القطع التجريبية، ومن تم تجفيفه ووزنه وهو جاف، ليتم ربط الإنتاجية بكميات مياه الري التي تم إضافتها خلال الموسم واشتقاق دالة الإنتاجية المائية وتحليلها، بينما في موسم الزراعة صيف 2017، فقد تم الاستمرار في التجربة ليتم تتبع مراحل النمو المختلفة بداية من الإنبات إلى النمو والاستطالة ومرحلة التزهير إلى النضج قبل أن يتم حصاد المحصول للحصول على إنتاجية حبوب الذرة السكرية للقطع التجريبية المختلفة بالإضافة إلى مخلفات المجموع

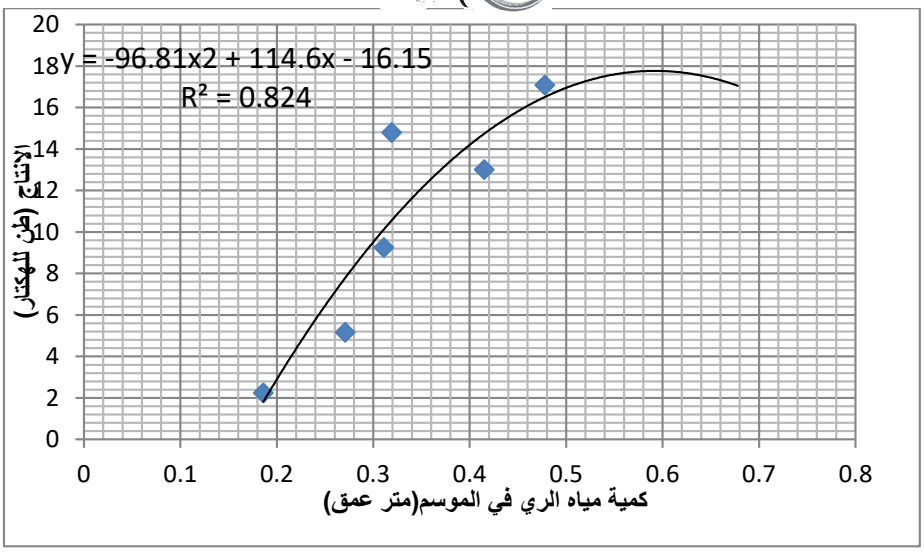
الخضري أو القش، وتم قياس كمية الإنتاجية لكل من الحبوب والقش كل على حدا، وتم أيضا اعتبار أن كل نواتج المجموع الخضري (الحبوب والقش) كمجموع الإنتاجية للمحصول لهذا الموسم، بحيث تم اشتقاق وتحليل دالة الإنتاجية المائية لكل من القش والحبوب ومجموعهما.

اشتقاق الدوال الإنتاجية لتجارب تقدير الاستهلاك المائي لمحصول الذرة السكرية

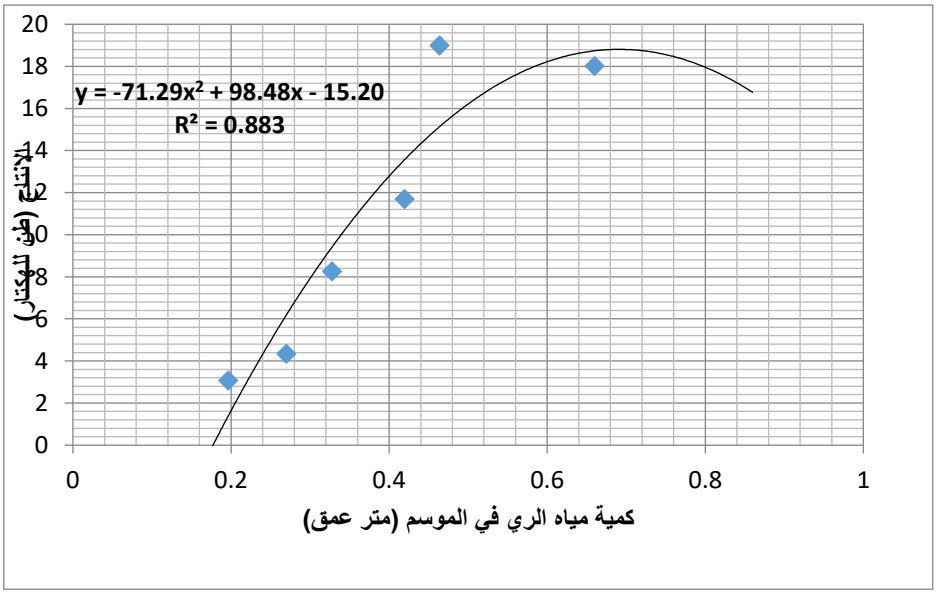
يعرض جدول 4 متوسط كميات الري الموسمية المسجلة للمعاملات المختلفة مع كميات الإنتاج التي تم الحصول عليها خلال تجربتي موسمي الزراعة التي تمت في محطة الأبحاث خلال صيفي 2016 و 2017، ويظهر بوضوح من خلال النتائج ثبوت العلاقة الطردية بين كمية مياه الري والإنتاجية المتحصل عليها لجميع التجارب. الأمر الذي يثبت ارتباط النشاط الفسيولوجي ونمو المجموع الخضري لمحصول الذرة السكرية بتوفر كمية الرطوبة للمحصول، وهذا ما أكده Kramer (1983) منذ عقود، وأثبته English خلال سلسلة من الأبحاث التي بدأت 1992 وحتى 2000 م. وباستخدام النموذج متعدد الحدود من الدرجة الثانية المقترح استخدامه من قبل English (1992)، وبتحليل انحدار البيانات تم تقدير معالم نموذج دالة الإنتاجية المائية وحساب قيم معامل التحديد لكل نموذج مستنبط. حيث تبين قيم معامل التحديد العالية لجميع النماذج المستنبطة بوضوح صلاحية هذا النموذج في وصف سلوك تغير الإنتاجية مع التغير في الكميات الموسمية لمياه الري، حيث تراوحت قيم R^2 ما بين 0.824 إلى 0.902 ، وتعرض الأشكال من 5 إلى 8 سلوك الدالة الإنتاجية المائية مع التغير في كمية مياه الري الموسمية وقيمة معامل التحديد، ومن هذه الأشكال يظهر بوضوح ملائمة النموذج الرياضي لوصف سلوك تغير الإنتاجية مع التغير في الكمية لمياه الري.

جدول 3. نتائج تجارب تقدير دالة الإنتاج لمحصول الذرة السكرية.

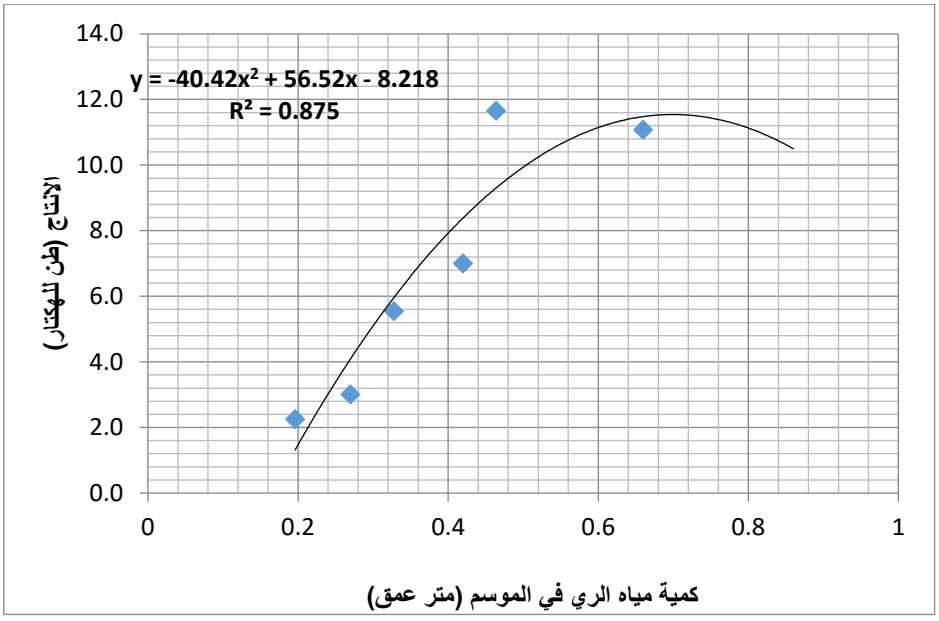
موسم 2016			موسم 2017			
المعاملة	الماء المستهلك (w)متر-عمق	كامل المجموع الخضري جاف (طن)	الماء المستهلك (w)متر-عمق	الإنتاجية قش (طن)	الإنتاجية بدور (طن)	كامل المجموع الخضري جاف (طن)
1	0.478	17.76	0.6599	11.1	6.03	18.025
2	0.415	13.01	0.4637	11.7	6.37	19
3	0.319	14.79	0.4196	7	4.03	11.7
4	0.311	9.25	0.3276	5.5	2.25	8.26
5	0.271	5.12	0.2698	3	0.125	4.34
6	0.186	2.25	0.1963	2.3	0.408	3.07



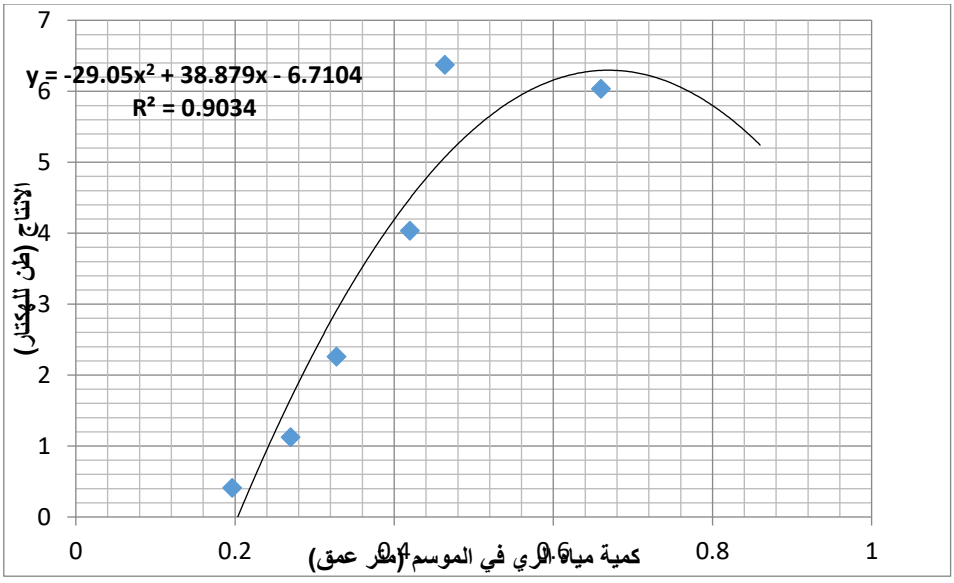
شكل 4. دالة الإنتاجية المائية المائية لمحصول الذرة السكرية 2016حسب النتائج المتحصل عليها من التجارب الحقلية.



شكل 5. دالة الإنتاجية المائية المائية لمحصول الذرة السكرية 2017 حسب النتائج المتحصل عليها من التجارب الحقلية.



شكل 6. دالة الإنتاجية المائية المائية لمحصول الذرة السكرية 2017 بدون بذور حسب النتائج المتحصل عليها من التجارب الحقلية.



شكل 7. دالة الإنتاجية المائية المائية لمحصول بذور الذرة السكرية2017 حسب النتائج المتحصل عليها من التجارب الحقلية.

ففي تجربة موسم صيف 2016، التي هدفت إلى دراسة عمليات زراعة الذرة السكرية لغرض الأعلاف، بلغت قيمة معامل التحديد 0.82. للنموذج. كما تم استنباط دالة

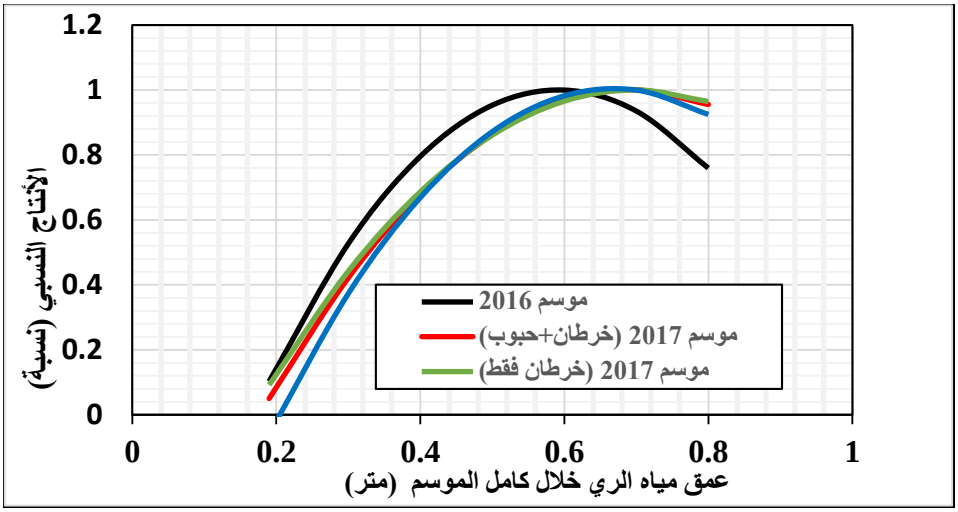
الإنتاجية المائية لتجربة موسم 2017 التي استمرت حتى إتمام الحصاد والحصول على الحبوب، حيث تم ربط بيانات كميات الإنتاج لكل معاملة من كمية مياه الري الموسمية لكل من الحبوب والقش ومجموعهما كل على حدى، ومن خلال قيم معامل التحديد المتحصل عليها فأن الدوال الإنتاجية المستنبطة التي كانت للحبوب فقط أو القش فقط والمجموع الخضري (الحبوب والقش) 0.903 و 0.875 و0.883 على التوالي، وبذلك يمكن الحكم على هذه النماذج بأنها مناسبة لوصف وتمثيل الدوال الإنتاجية.

بتتبع تمثيل الدوال الإنتاجية لتجارب الموسمين من خلال الأشكال 5 إلى 8 يمكن ملاحظة أن الإنتاجية تتزايد بشكل تناقصي بزيادة كميات الري الموسمية لتصل إلى أقصى قيمة لها قبل أن تبدأ في التناقص بشكل تدريجي، وتمثل كمية مياه الري التي تقابل أقصى قيمة للإنتاجية "الإنتاجية القصوى" تحت بيئة الظروف الحقلية للتجارب خلال صيفي 2016 و2017. ويرجع التراجع في الإنتاج بعد هذه النقطة إلى ظهور العديد من المشاكل في المحصول الناتجة من تغدق التربة ومشاكل سوء التهوية. وبوضع قيم افتراضية لكمية مياه الري الموسمية والتعويض بها في الدوال الإنتاجية من جدول رقم (4) أمكن الحصول على قيم تقريبية للإنتاجية القصوى لنتائج تجربة موسم صيف 2016 وموسم صيف 2017 لكل من إنتاجية الحبوب والقش والمجموع الخضري لتكون 11.7 و6.37 و19 طن /هكتار على التوالي لتقابل قيم كميات الري الموسمية 0.463 و0.463 و0.463 متر/هكتار على التوالي.

إن سلوك تغير الإنتاج مع الزيادة في كميات الري الموسمية يمكن تمثيلها ومقارنتها لجميع الدوال المستنبطة لمحصول الذرة السكرية من خلال بناء قيم نسبية للإنتاجية وذلك بقسمة قيم الإنتاج المقدرة بواسطة دالة الإنتاجية المائية على الإنتاجية القصوى التي يمكن الحصول عليها تحت الظروف الحقلية للتجربة بحيث تم تحويل قيم الإنتاج إلى قيم نسبية، ومن ثم تجميع منحنيات الدوال الإنتاجية النسبية في شكل واحد فمن خلال شكل 8 ، وبمقارنة دوال الإنتاج للموسمين، وكذلك مقارنة دالة الإنتاج للحبوب والقش وكامل المجموع الخضري، وبالنظر إلى منحنى دالة الإنتاج النسبية لكل من الحبوب والقش والمجموع الخضري بالكامل، يلاحظ التطابق بين هذه الدوال (التي في الأساس تم اشتقاقها لنفس التجربة لموسم 2017). بينما يلاحظ أن سلوك تغير الدالة النسبية لمحصول الذرة السكرية لموسم 2016 كان مختلفا، ويلاحظ فيه أن ارتفاع طفيف في كمية الإنتاج عند نفس قيم كمية الري الموسمية مقارنة بموسم صيف 2017، ويرجع هذا التباين بالأساس إلى الاختلاف في كثافة الزراعة، بالإضافة إلى اختلاف الظروف الحقلية والبيئية للمحصول الذي قد يكون السبب وراء الانخفاض السريع للإنتاجية بعد

القيمة القصوى، مما يشير إلى أن زيادة كثافة الزراعة قد تسبب في انتشار الأمراض وتعرض المحصول إلى إجهاد نقص العناصر الغذائية نتيجة لعمليات الغسيل العالية للعناصر الغذائية بالإضافة إلى سوء التهوية.

تجدر الملاحظة أن التطبيق الرياضي المنطقي للدالة الإنتاجية المائية يتطلب وضع حدود لصلاحية هذا لنموذج،



شكل 8. مقارنة الدوال النسبية لنسبة الانتاج المقدرة على الانتاجية القصوى التي يمكن الحصول عليها لنتائج تجارب استنباط دالة الإنتاجية المائية لموسمي الزراعة 2016 و2017.

فمن المعروف أن المحصول لا يعطي أنتاج إلا بعد تلقيه كمية كافية من مياه الري اللازمة لنموه وتزهيره، غير ذلك فإن المحصول يكون عرضة للموت وفقد أي قيمة فعلية للإنتاج، تحاكي دالة الإنتاجية هذا الوضع في مدى تكون فيه قيمة الإنتاجية Y مساوية أو أعلى من الصفر، أي أن بداية الحصول على أنتاج تبدأ من قيم صفر أنتاج الذي يتحقق هذا في جميع دوال الإنتاج المستنبطة عند قيم لكمية مياه الري الموسمية تتراوح ما بين 0.175 إلى 0.18 متر تقريبا، ويبدأ الحصول على إنتاجية ملحوظة بعد الحصول على كمية مياه موسمية أكبر من القيم سالفة الذكر، لذلك فإن أي قيمة للإنتاجية أقل من صفر (أي سالبة) غير منطقية، وتشير القيم السالبة للإنتاج إلى أن قيمة الإنتاج الفعلية مساوية للصفر بغض النظر عن القيم السالبة المتحصل عليها. وعند قيم الإنتاج التي تزيد بكثير عن القيم القصوى للإنتاج فإن القيم المقدرة للإنتاجية تتناقص بشكل كبير لتصل عند قيمة عالية من كمية مياه الري الموسمية المضافة إلى الصفر، ومن ثم

تكون قيم الإنتاجية وبشكل غير منطقي تنتج من النموذج بقيم سالبة لا يمكن قبولها لذلك فأن شرط $Y \geq 0$ هو أساسي لتطبيق نموذج الدالة الإنتاجية.

عموما، فإن الجزء المهم من منحنى الدالة الذي يوفر معلومات قيمة في التحليل الاقتصادي للاستهلاك المائي والمستخدم في تحديد الإنتاجية المثلى، هو ذلك الجزء الذي يبدأ من قيمة الإنتاجية المساوية للصفر أو أكبر بقليل، ويمتد إلى أن يصل إلى أقصى قيمة للإنتاجية قبل أن يبدأ الإنتاج في التدهور. وبالنظر إلى شكل 8 ومقارنة دالة الإنتاج لموسم 2016، وكذلك دوال الإنتاج لموسم 2017 لتقدير كمية الحبوب وكمية القش والمجموع الخضري كامل، يمكن ملاحظة أن الاختلافات في حقيقة الأمر ليست كبيرة، مما يعطي الفرصة في استنباط دالة إنتاجية نسبية تصف سلوك التغير في كمية الإنتاجية بتغير كمية مياه الري الموسمية واستخدامها لتقدير الإنتاجية النسبية المثلى، لتعميمها في المناطق المجاورة والمشابهة لمكان التجربة من حيث الظروف الحقلية.

تحليل الدوال الإنتاجية المستنبطة لتقدير الكفاءة الحدية والموسمية وأعلى إنتاجية

أن أهم استخدام للدوال الإنتاجية هو تحديد الاستهلاك الأمثل للمياه. عادة ما يتم حساب الاستهلاك المائي للمحاصيل المختلفة بتقدير احتياجات الهكتار الواحد من المحصول للمياه بوحدات العمق مائي للهكتار. إلا أن هذا الأسلوب الشائع في تقدير الاستهلاك المائي يؤدي إلى تقديرات غير صحيحة للعائد الحقيقي من استهلاك المياه، وقد نجم عنه العديد من القرارات الخاطئة على المستوى الوطني باستبعاد عدد من المحاصيل عالية القيمة من الناحية الاقتصادية وبحجة ارتفاع استهلاكها المائي في مقدمتها الطماطم (الغرياني وآخرون، 2019)، إلا أنه عند تطبيق مبدا كفاءة استهلاك المياه أو الإنتاجية المائية التي تحسب بكمية الإنتاج لكل وحدة حجم من مياه الري المستخدمة لري المحصول تصبح العديد من المحاصيل التي كانت تصنف من المحاصيل المستهلكة للمياه محاصيل اقتصادية.

يمكن الرفع من كفاءة استهلاك المياه من خلال تغيير كميات مياه الري الموسمية والتي تضاف إلى المحصول للوصول إلى أكبر قيمة للإنتاج التي يمكن الحصول عليها من وحدة الحجم من مياه الري المضافة. ولتحقيق ذلك، تم الحصول على نموذج حساب الكفاءة الحدية وذلك بحساب التفاضل الأول للدوال الإنتاجية بالنسبة لكمية مياه الري المضاف للموسم (جدول 5)، بينما تكون الكفاءة الموسمية هي ناتج قسمة دالة الإنتاج على كمية مياه الري الموسمية. وتكون قيمة أعلى إنتاجية ممكنة عند قيمة التغير في الإنتاج إلى أي إضافة لمياه الري المساوية للصفر. ويعرض جدول 5 ملخصا لتحليل الدوال الإنتاجية

وتقديرات كمية مياه الري التي يجب أضافتها لتحقيق أعلى عائد إنتاجي تحت الظروف التجربة الحقلية التي تمت في هذه الدراسة.

استعمال النتائج في تخطيط وإدارة استثمار الموارد المائية

بعد أن تم الحصول على الدوال الإنتاجية لمحصول الذرة السكرية بتحليل بيانات تجارب الخط الواحد وتحليلها للحصول على دوال كفاءة استخدام المياه للري الحدية والموسمية والحصول على أعلى إنتاجية مائية يمكن الحصول عليها لأغراض زراعة المحصول سواء كان لغرض العلف أو لإنتاج الحبوب والتبن، سيتم استخدام الدالة الإنتاجية لغرض التخطيط في رفع كفاءة استهلاك المياه لزراعة محصول الذرة السكرية حسب الهدف المخطط له. ولتحقيق ذلك يجب تحديد الهدف من العملية الزراعية. يمكن تحديد الغرض من عملية الري في أحد الأهداف التالية والتي سيتم اتباعها في تحليل الدوال الإنتاجية فيما يلي:

عندما يكون الهدف توفير أكبر قدر يمكن توفيره من ماء الري بغض النظر عن المردود الاقتصادي للعملية الإنتاجية:

تم تحقيق هذا الهدف عند أكبر قيمة للكفاءة الموسمية لاستهلاك الماء، بحيث يكون أكفأ مستوى إنتاجي عندما يكون التغير في الإنتاج نسبة إلى كمية مياه الري إلى التغير في كمية مياه الري مساوية للصفر. وبناء على ذلك فإن قيمة كميات مياه الري التي تحقق هذا الهدف تم تحديدها كما هو موضح في جدول 6.

جدول 4. اشتقاق كل من الكفاءة الحدية والموسمية وتحديد أعلى إنتاجية للدوال الإنتاجية المستنبطة لمحصول الذرة السكرية.

موسم الزراعة	الكفاءة الحدية لاستهلاك الماء	الكفاءة الموسمية لاستهلاك الماء	كمية المياه المضافة	أعلى إنتاجية (y)
2016 الانتاج الكلي	$\frac{dy}{dw}114.6-193.62w$	$\frac{y}{w}=-16.15w^{-1}+114.6-96.81w$	0.5918 متر-هكتار	17.76 طن \ هكتار
2017 الانتاج بدون بدور	$\frac{dy}{dw}56.52-80.84w$	$\frac{y}{w}=-8.218w^{-1}+56.22-40.42w$	0.6991 متر-هكتار	11.54 طن \ هكتار
2017 الانتاج بدور فقط	$\frac{dy}{dw}38.87-58.1w$	$\frac{y}{w}=-6.710w^{-1}+38.87-58.1w$	0.6690 متر-هكتار	6.29 طن \ هكتار
2017 الانتاج الكلي	$\frac{dy}{dw}98.48-142.58w$	$\frac{y}{w}=-15.20w^{-1}+98.48-71.29w$	0.6906 متر-هكتار	18.8 طن \ هكتار

جدول 5. كمية مياه الري والإنتاج المقابل لتحقيق أكبر قدر من توفير ماء الري بغض النظر عن المردود الاقتصادي للعملية الإنتاجية.

	كمية مياه الري التي تحقق توفير أكبر قدر من المياه	كمية الإنتاج المقابلة
موسم 2016	0.4084	15.5
موسم 2017 كامل المجموع الخضري جافا	0.4617	15.07
موسم 2017 قش	0.4508	9.84
موسم 2017 حبوب	.0.4805	4.26

يمكن الملاحظة من خلال جدول 6 أنه خلال موسم 2016 الذي كان يستهدف بالأساس الحصول على علف جاف أو تبن، أن هدف توفير المياه أمكن تحقيقه عند استعمال 4084 متر^3 \ هكتار والحصول على مستوى إنتاجي في حدود 15.5 طن \ هكتار من المادة الجافة، وبقسمة كمية المياه التي تحقق أعلى إنتاجية التي بلغت 5918 متر مكعب للهكتار (جدول 5) على كمية المياه التي تحقق أقصى توفير يمكن استخدام المياه التي يمكن توفيرها عند تحقيق الهدف الأول، بنسبة زيادة في المساحة المزروعة بمقدار 1.449 من المساحة التي يتم زراعتها للحصول على أعلى إنتاجية لوحدة المساحة، مما يساعد في زيادة الإنتاج بنفس النسبة ليصل إلى 22.45 طن / هكتار لنفس كمية مياه الري المستعملة، وبالنظر إلى نتائج تجارب موسم 2017 الذي هدف إلى إنتاج الحبوب والتبن، فإن كمية المياه التي تحقق عندها أعلى توفير للمياه كانت عند 4617 متر^3 / هكتار للحصول على أنتاج يصل إلى 15.07 طن /هكتار من المادة الجافة، وبالنظر إلى كمية المياه التي قدمت اعلى إنتاج (6906 متر مكعب) للحصول على أعلى إنتاجية والتي بلغت للحصول على أنتاج في حدود 18.8 طن/ للهكتار. وبقسمة كمية المياه التي تحقق أعلى إنتاجية على كمية المياه التي تحقق أكبر توفير في مياه الري يمكن الحصول على زيادة في المساحة المزروعة بمقدار 1.495 باستغلال كمية المياه التي تم توفيرها عند تطبيق استراتيجية توفير المياه، مع اتباع هذه الاستراتيجية، وبالتالي يمكن زيادة الإنتاج من 15.07 إلى 22.54 طن/ الهكتار.

وباتباع أسلوب التحليل السابق ذكره، فإن تحقيق الوصول إلى أقصى توفير لمياه الري وتعظيم العائد الإنتاجي من وحدة مياه الري، تبين في حالة الزراعة من أجل الحصول على حبوب فقط أو تبن فقط، فأن كمية المياه التي يمكن توفيرها كافية لزيادة المساحة المزروعة من المحصول بنسبة تصل 1.450 و 1.550 من المساحة المزروعة من المحصول على التوالي، لتحقق أنتاج يصل إلى 6.17 و 15.25 طن / هكتار على التوالي. يعد توفر مساحات كافية من الترب الزراعية لزيادة المساحة المزروعة من

المحصول العامل المحدد لتطبيق ونجاح مثل هذه الاستراتيجية في توفير مياه الري. إلا أن زيادة المساحات المزروعة قد يكون مرتبط بشكل مباشر بزيادة التكاليف الثابتة والمتغيرة للإنتاج الزراعي والذي قد يقلل من صافي العائد الاقتصادي، إلا أن توفير مياه الري أو استغلالها استغلال جيد يمكن تحقيقه باتباع هذه الاستراتيجية.

الخلاصة والاستنتاجات

إن تحديد الدوال الإنتاجية لمحصول الذرة السكرية أتاح وبشكل كبير فرص عديدة من أجل إدارة مياه الري بالشكل الذي يضمن العديد من الأهداف التي تؤدي إلى توفير كميات كبيرة من مصادر مياه الري, مما يتيح فرص استمرارية الزراعة أو التوسع في المساحات المروية ،وقد أوضحت هذه الدراسة أن التحاليل الاقتصادية التي أجريت على الدوال الإنتاجية لمحصول الذرة السكرية التي تمت اشتقاقها من التجارب الحقلية، أن المستوى الإنتاجي الأمثل الذي يوفر أكبر كمية ممكنة من مياه الري ويحقق أكبر صافي عائد مادي على استثمار المياه يحدث دائما عند إعطاء المحصول كميات مياه أقل من تلك اللازم إعطاءها لتحقيق أكبر إنتاجية ممكنة لوحدة المساحة، وهذا يمكن تحقيقه باللجوء إلى اتباع أسلوب الري العجزي بدل أسلوب الري الكامل، خصوصاً في حالة شح ومحدودية الموارد المائية وتوفر الأراضي الزراعية كما هو الحال في ليبيا، وعند مقارنة زراعة الذرة السكرية من أجل إنتاج العلف مع زراعتها لإنتاج الحبوب والتبن يتضح جليا زيادة صافي العائد الاقتصادي النقدي على استهلاك وحدة الحجم من مياه الري المستثمرة في إنتاج الحبوب والتبن مقارنة بإنتاج التبن فقط.

أن زيادة قيم الإنتاجية المائية والرفع من كفاءة استهلاك المياه سيؤدي بشكل أو بآخر إلى انخفاض الإنتاج لوحدة المساحة في مقابل توفير كميات كبيرة من المياه يمكن أن يتم استثمارها لزراعة مساحات جديدة أو توفيرها لمواسم قادمة، بمعنى آخر تطبيق كميات الري التي تحقق أعلى كفاءة استهلاك مياه سينتج عنه انخفاض إنتاجية وحدة المساحة المروية عن إنتاجيتها القصوى يناظره انخفاض في كمية مياه الري عن تلك الكمية اللازمة لتحقيق أقصى إنتاجية محصولية، ونظراً لطبيعة المردود التناقصي لدوال الإنتاجية المائية المحصولية، فإن نسبة الانخفاض في الإنتاجية القصوى للمحصول ستكون أقل بكثير من نسبة الانخفاض في كمية مياه الري ويصبح في الإمكان استثمار المياه التي يتم توفيرها في ري مساحات إضافية لينتج عن ذلك إنتاجاً محصولياً كلياً أكثر بكثير من تحقيق الإنتاج الأقصى لوحدة المساحة. وتجدر الملاحظة إلى أن تطبيق الري العجزي قد يسبب في مشاكل مرتبطة مباشرة بتراكم الأملاح نظرا لعدم إتمام

عمليات غسيل الأملاح وعدم إعطاء كميات المياه اللازمة لغسيل التربة من الأملاح المصاحبة لمياه الري، إلا أن هذه المشكلة قد تكون خلال موسم النمو فقط في منطقة الدراسة، نظرا لعمل الأمطار الشتوية على غسيل الأملاح من التربة، إلا أنه يجب الحذر خلال سنوات الجفاف أو انخفاض معدلات الأمطار عن تقديرات احتياجات الغسيل، وبالرغم من تحقيق الدراسة للهدف التي تم تحديده مسبقا إلا أن نتائج هذه الدراسة لا يمكن أن تعمم على كامل ليبيا، وبذلك توصي الدراسة بالتوسع في دراسة الدوال الإنتاجية وتحديدها للمحاصيل الزراعية المختلفة، وكذلك تحت ظروف البيئات الحقلية المختلفة في شرق ووسط وجنوب وغرب ليبيا، و بالرغم من نجاح التجربة في اشتقاق دالة الإنتاجية المائية لمحصول الذرة السكرية، إلا أنها تظل محدودة لمنطقة الدراسة بل وتظل محكومة لظروف التجربة، الأمر الذي يتطلب إعادتها للحصول على نتائج أكثر موثوقية. لذلك يوصى المزارعين بزراعة الذرة السكرية في خطوط وعدم الإسراف في البذر لتجنب تدهور المحصول في المراحل الأخيرة من النمو والذي كان واضحا في فرق الإنتاجية بين الموسمين و اللجوء إلى استعمال مفاهيم الإنتاجية المائية المحصولية والعائد الاقتصادي على وحدة الحجم من المياه المستهلكة في الري كمؤشرات استرشاديه لخفض المساحات المخصصة لزراعة المحاصيل ذات القيم المنخفضة للإنتاجية المائية والعائد الاقتصادي.

المراجع

1. بن محمود، خالد رمضان. 1995. الترب الليبية: تكوينها، تصنيفها، خواصها، إمكانيتها الزراعية. الهيئة الليبية للبحث العلمي، طرابلس، ليبيا. ص 615.
2. الخوجة، علي. 2022. تحديد الاحتياجات المائية للمحاصيل الزراعية في ليبيا، إدارة استغلال المياه في الزراعة، وزارة الموارد المائية، (تحت الطبع).
3. العلواني، ابوعجيلة. 2000. استخدام مستوى النترات في أعناق الأوراق كمؤشر لحالة النيتروجين في البطاطس. رسالة ماجستير (غير منشورة)، قسم التربة والمياه، جامعة طرابلس. طرابلس، ليبيا.
4. الغرياني، سعد. 1984. استنباط الدالة الإنتاجية لمحصول الصفصفة في منطقة شمال غرب ليبيا. المجلة الليبية للعلوم والتكنولوجيا. 4: 1 – 8.
5. الغرياني، سعد، والزليط يونس، واخماج أحمد، والعالم مختار. 2019. تقييم الآثار البيئية والاقتصادية للزراعات المروية في المنطقة الشمالية الغربية من ليبيا. تقرير المرحلة الثانية، الهيئة القومية للبحث العلمي. طرابلس ليبيا..

6. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage Paper . Food and Agriculture Organization, Rome.
7. Brouwer, C. and Heibloem, M. 1986. Yield response to water. Food and agriculture Organization of the United Nations. Rome.
8. CGIAR. (2013). Sorghum. Crop -factsheets /sorghum. Viewed 15 Jaunury, 2019. http://www.cgiar.org/ourresearch.
9. Doorenbos, J. and Kassam, A. H. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage, paper 33, Rome. Pp193.
10. English, M. 1990. deficit irrigation analytical framework. Journal of Irrigation and Drainge Engineering, 116: 399 – 412.
11. English, M. 2002. Irrigation Advisory Services and Participatory Extension in Irrigation Management. Irrigation Advisory Services for Optimum Use of Limited water.FAO-ICID. 24 Junly, Montreal, Canada.
12. English, M. and Raja, S. N.1996. Perspectives on deficit irrigation. Agriculture Water Management, 32: 1 -14.
13. Hanks, R. J., Keller, J. Rasmussen, V. P. and Wilson, G. D. 1976. Line source sprinkler for continuous variable irrigation crop production studies. Soil science society of America Journal. 40: 426 – 429.
14. Hillel, D. 1980. Fundamentals of soil physics. Academic Press. New York. p: 413.
15. Hillel, D. 2004. Itroduction to Environmental soil physics. 1st edition. Academic Press. Elsevier Inc. Amsterdam.
16. Klocke, N. L., Eisenhauer, D. E., Specht, J. E., Elmore, R. W., and Hergert, G. W. 1989. Irrigating soybeans by growth stages in Nebraska. Applied Engineering in Agriculture. 5(3): 361- 366. http://dx.doi.org/ 10.13031/ 2013.26528
17. Kramer, P. J. 1983. Water relations of plants. New York Academic Press, New Yourk.
18. Paes de Camargo, M. B. P. and Hubbard, K. G. 1999. Drought sensitivity indices for a sorghum crop. Journal of Production Agrictulture, 12(2):312–316.doi:10.2134/jpa1999.0312

19. Price, R.K. and Welch, R.W. 2013. Cereal Grains. In: Caballero, B., Ed., Encyclopedia of Human Nutrition, Academic Press, Cambridge, 307-316.
20. Stewart, J. I., Hagan, R. M., and Pruitt, W. O. 1976. Production functions and predicted irrigation programmes for principal crops as required for water resources planning and increased water use efficiency. WA: U.S. Department of Interior. Washington DC.
21. Upadhyaya, H. D., Dwivedi, S.L., Wang, Y. and Vetriventhan, M. 2017. Sorghum genetic resources. In: Perumal, R., Rajendrakumar, P., Maulana, F., Tesso, T., Little, C.R., Ciampitti, I., and V. Prasad, editors. Sorghum: state of the art and future perspectives. Agronomy Monographs. 58. ASA and CSSA, Madison, WI. doi:10.2134/agronmonogr58.2014.0056.5.
22. Varzi, M. 2016. Crop water production functions- A Review of available mathematical method. Journal of Agricultural science. 8(4): 76- 83.
23. Woli, P., Jones, J. W., Ingram, K. T., and Hoogenboom, G. 2014. Predicting Crop Yields with the Agricultural Reference Index for Drought. Journal of Agronomy and Crop Science. 200: 163-171. http://dx.doi.org/10.1111/jac.12055
24. Yaron, D. 1967. Empirical Analysis of the Demand for Water by Israeli Agriculture. Journal of Farm Economics. 49(2): 461-473. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-0899-1_3
25. Young, R. A., and Loomis, J. B. 2014. Determining the economic value of water: concepts and methods. Routledge. New York. http://dx.doi.org/ 10.4324/ 9781936331703