تحسين استراتيجيات الري الناقص لمحصول الكوسة باستخدام منهج النمذجة الرياضية لتحليل الإنتاجية وكفاءة استخدام المياه

أحلام رحومه عمر ضو[1] **أشرف يعقوب سويدان[2]**
الهيئة الليبية للبحث العلمي **المعهد العالي لتقنية الزراعية الغيران**

الملخص:

تم استخدام نماذج رياضية لتحليل العلاقة بين مستويات الري وإنتاجية الكوسة

(*Cucurbita Pepo*.l) وكفاءة استخدام المياه **(WUE)** ومعامل الاستجابة **(Ky)** في الحقول المكشوفة بليبيا.

وأظهرت النتائج ان الانتاجية القصوى بلغت 25 طن/هكتار عند الري الكامل بنسبة (100%) من الاحتياجات المائية (I_0100) , مع تمثيل العلاقة بمعادلة رياضية من الدرجة الثانية ($R^2=0.94$) , كما تم تحقيق أعلى كفاءة لاستخدام المياه (WUE = 7.07كجم/م^3)

عند الري بنسبة 50% ($I_0$50) , حيث اوضحت المعادلة الرياضية ($R^2=0.82$) أن تقليل المياه مع الحفاظ على الإنتاجية يؤدي إلى تحسين الكفاءة المائية.

عند تطبيق الري الناقص بنسبة 75%($I_0$75) , سجلت الإنتاجية 20.1طن/هكتار, بمعدل كفاءة استخدام المياه 5.51كجم/م^3 ومعامل استجابة للإجهاد المائي(Ky =0.875) , مما يعكس قدرة المحصول على التكيف مع نقص المياه المعتدل , في المقابل أدى الري الزائد بنسبة 125%($I_0$125) إلى انخفاض الإنتاجية إلى 21.9طن/هكتار, مع كفاءة مائية بلغت 3.73كجم/م^3 ومعامل استجابة سلبي (Ky= 0.496) نتيجة لتشبع التربة بالمياه وانخفاض التهوية اللازمة لنمو الجذور.

أما عند تقليل الري50% ($I_3$50),فقد سجلت الإنتاجية 18.3طن/هكتار , مع تحقيق أعلى كفاءة مائية (7.07كجم/م^3) , ومع ذلك أوضح معامل الاستجابة (Ky= 0.496) حساسية المحصول لنقص المياه في هذه المرحلة , تشير الدراسة إلى ان الكوسة أظهرت قدرة على تحمل نقص المياه في مرحلتي النمو الخضري والتزهير, مع تأثير أكبر لنقص المياه خلال مرحلة الإثمار, حيث انخفضت الإنتاجية بشكل ملحوظ.

تكشف النتائج عن أهمية تطبيق استراتيجيات ري متوازية لتحسين كفاءة استخدام المياه والحفاظ على الإنتاجية في المناطق الجافة , بما يتماشى مع محدودية الموارد المائية.

الكلمات الدالة:-الكوسة , معامل الاستجابة , الانتاجية , معامل الكفاءة , دالة انتاج الماء , بخر النتح القياسي, بخر النتح المرجعي , الكوسة.

Abstract

Mathematical models were used to analyze the relationship between irrigation levels ,zucchini ***(Cucrbita pepo .l)*** yield, and water use efficiency (WUE) in 0pen fields in Libya .Results showed that maximum yield was 25 ton/hectare under full irrigation at 100% of water requirements ($I_0$100), represented by a second-degree polynomial

equation (R^2=0.94).The highest water use efficiency (WUE=7.07 kg/m^3) was achieved at 50% irrigation ($I_0$50) , as indicated by the corresponding equation (R^2=0.82) ,demonstrating that reducing water use while maintaining yield improves efficiency.

Under deficit irrigation at 75%($I_0$75), yield reached 20.1tons/hectare wite a **WUE** of 5.51 kg/m^3 and a water stress response factor (ky=0.875), reflecting the crop's ability to moderate water deficit .

In contrast , over-irrigation at 125% ($I_0$125) reduced yield to 21.9 tons/hectare with a **WUE** of 3.73 kg/m^3 and a negative water stress response factor (ky=-0.496) due to soil waterlogging and reduced root aeration.

At 50% irrigation ($I_0$50),the yield decreased to 18.3 tons/hectare , but the highest water use efficiency (7.07 kg/m^3) was achieved .

However , the water stress response factor (ky=0.496) indicated significant sensitivity to water deficit during this stage.

The study highlighted zucchini's ability to tolerate moderate water deficit during vegetative and flowering stages , with greater sensitivity during the fruiting stage , where yield declined significantly .

The findings emphasize the importance of adopting balanced irrigation strategies to enhance water use efficiency while maintaining sustainable yield in arid regions , aligning with limited water resources.

Keywords: Zucchini , Respons Factor, Yield , Efficiency Factor , Water Production Function , Standard Evapotranspiration ,Reference Evapotranspiration .

المقدمـــــة:

تعتبر الكوشة ***(Cucurbita Pepo. l)*** من أهم محاصيل الخضروات التابعة للعائلة القرعية , وتمتاز بقيمتها الغذائية العالية نظرًا لاحتوائها على المعادن و الفيتامينات مما يجعلها جزءًا أساسيا من الأنظمة الغذائية العالمية. **(FAO,1998)**

تتميز الكوسة بدورة زراعية قصيرة ,مما يتيح زراعتها عدة مرات سنويًا واستخدامها طازجة أو في التصنيع الغذائي , يعتقد ان موطنها الأصلي هو الأمريكتان قبل انتشارها عالميًا **(FAO,1998)**.

في ليبيا تزرع الكوسة على نطاق محدود مقارنة بدول عربية أخرى حيث تغطي حوالي 10 – 15 % من الأراضي الزراعية المخصصة للخضروات ومع ذلك تسهم زراعتها المحلية في تقليل الاعتماد على الاستيراد الذي يتجاوز 25% من الاحتياجات الغذائية**(إسماعيل وآخرون,2010)**.

يقدر استهلاك الفرد من الخضروات، بما في ذلك الكوسة , في ليبيا بـ120 كجم سنوياً, مما يبرز الحاجة لتوسيع زراعتها محلياً لتلبية الطلب المتزايد وتقليل الاستيراد من تونس ومصر**(جوليانا وآخرون,2019).**

تواجه زراعة الكوسا في ليبيا تحديات كبيرة بسبب ندرة المياه , يعاني البلد من شح المياه مع نصيب فردي يصل إلى أقل من 500متر مكعب سنويا, مقارنة بالحد الأدنى العالمي البالغ 1000متر مكعب **(FAO,1998)**.

وتعتمد ليبيا بشكل أساسي على المياه الجوفية , التي تشكل 97% من مصادر المياه , نتيجة لتغيرات المناخية والاستهلاك المفرط للمياه وغير المقنن زاد من العجز المائي في ليبيا **(إسماعيل وآخرون,2010).**

لحل هذه المشكلة , يعد تبني أنظمة ري متقدمة مثل الري بالتنقيط , الذي يقلل الفاقد ويزيد من كفاءة استخدام المياه , أمراً حيوياً , كما يعتبر الري الناقص **(Deficit Irrigation)**. استراتيجية فعالة لإدارة نقص المياه , حيث يركز على تقليل كميات المياه في مراحل نمو النبات غير الحساسة دون التأثير الكبير على الإنتاجية **(Fereres & Soriano,2000).**

تعبر معادلة كفاءة أستخدام المياه (Water Use Efficiency) عن العلاقة بين الإنتاجية المائية والمحصول الفعلي , **(Taylor et al.,1983) .**

في ضوء ذلك، تبرز هذه الدراسة أهمية تطبيق استراتيجيات الري الناقص لتحسين إنتاجية الكوسة في ليبيا وتعظيم كفاءة استخدام المياه، مما يساهم في تعزيز الأمن الغذائي وتقليل الاعتماد على الاستيراد. **(Bastiaansen & Steduto , 2017)**

اظهرت العديد من الدراسات أهمية تبني أنظمة الري الناقص لتحسين كفاءة استخدام المياه دون تأثير كبير على الإنتاجية. **(English , 1990)**

فقد أوضحت دراسة **(Fereres & Soriano , 2000)** أن الري الناقص يقلل من استهلاك المياه دون تأثير كبير على الإنتاجية في المناطق ذات المناخ المعتدل , وأكدت**(FAO,1998)** على ان استخدام تقنيات الري الناقص الموجه على الخضروات , ومنها الكوسة , لتحقيق توازن بين استهلاك المياه والإنتاجية , وقد بينت النتائج أن الري الناقص يمكن أن يحسن كفاءة استخدام المياه بنسبة تصل إلى 40% , مع تأثير طفيف على الإنتاجية.

كما تناولت ابحاث أخرى تأثير توقيت الري و نوزيعه على تحسين الإنتاجية , حيث بينت دراسة **(بلدية وآخرون , 2015)** أن تقليل المياه بنسبة 25% لم يؤثر بشكل كبير غلى انتاجية الكوسة , مع توفير كبير في المياه , وتأثير ذلك العائد النهائي , وأشارت الدراسة إلى أن مرحلة الإزهار هي الاكثر حساسية للإجهاد المائي , وأن التخطيط الجيد للري يمكن أن يقلل من التأثير السلبي .وأكدت أبحاث**(أسماعيل وآخرون , 2015)** عند المقارنة بين الري بالتنقيط المستمر والنبضي ودراسة مدى تأثيرها على توزيع الرطوبة في التربة وكفاءة استخدام المياه في الأراضي الزراعية ,خلصت النتائج إلى أن الري النبضي يوفر المياه بنسبة كبيرة مقارنة بالري المستمر مع تأثير ايجابي على الإنتاجية.

نماذج توزيع الرطوبة تظهر فائدة كبيرة من التحكم بتوقيت الري وتوزيعه.

كما أظهرت دراسة **(حسن و آخرون , 2019)**

على تأثير التغير في فترات الري (يوميا، كل يومين، كل ثلاثة أيام) على نمو وإنتاجية المحاصيل الصيفية مثل الكوسة تحت الري بالتنقيط، أن الري كل يومين أعطى إنتاجية مقبولة، مع كفاءة أعلى في استهلاك المياه مقارنة بالري اليومي، حيث انه يقلل من استهلاك المياه بنسبة تصل الى 40%مع تأثير طفيف غلى الانتاجية.

وفي دراسة **(جمال و آخرون , 2015)** التي تم فيها تطبيق أربع معاملات ري (100% , 80% , 70% , 60% من السعة الحقلية) .

هدفت النتائج إلى أن الكثافة الظاهرية للتربة تأثرت بوضوح في المعاملة الكاملة (100%) مقارنة بالمعاملات الاخرى .

انخفضت الإنتاجية تدريجيا" مع تقليل مياه الري , حيث كانت 37.2 طن\هكتار عند الري الكامل وانخفضت إلى 22.3 طن\هكتار عند 60% .

توفير المياه وصل إلى 40% مع كفاءة أعلى في معاملتي 70% و 80% .

كما تناولت دراسة **(إسماعيل وآخرون , 2015)**

مقارنة طرق الري (السطحي والتنقيط) والإجهاد المائي على إنتاجية البندورة، استخدمت معاملتين أساسيتين (الري الكامل والناقص) .

وقد أظهر الري بالتنقيط الناقص كفاءة عالية في استخدام المياه مع تقليل فقد المياه.

تفوقت معاملة التنقيط بنسبة 51.2% على الري السطحي من حيث الإنتاجية.

كما أظهرت دراسة **(جمال وآخرون , 2015)** عند استخدام مستويات مختلفة من نقص المياه , أن تقليل المياه بنسبة 25% لم يؤثر بشكل كبير على الإنتاجية , بينما قلل الري بنسبة 50% الإنتاجية بنسبة ملحوظة , مع توفير كبير في المياه .

الأهداف:

1-تقييم تأثير انظمة الري الناقص على إنتاجية الكوسة **(*Cucurbita Pepo*. l)** في الحقول المكشوفة في ليبيا.

2- تحسين كفاءة استخدام المياه **(Water use Efficiency)** من خلال تطبيق أنظمة الري الناقص.

3- تحليل حساسية محصول الكوسة لنقص المياه باستخدام معامل الاستجابة **(Ky)**.

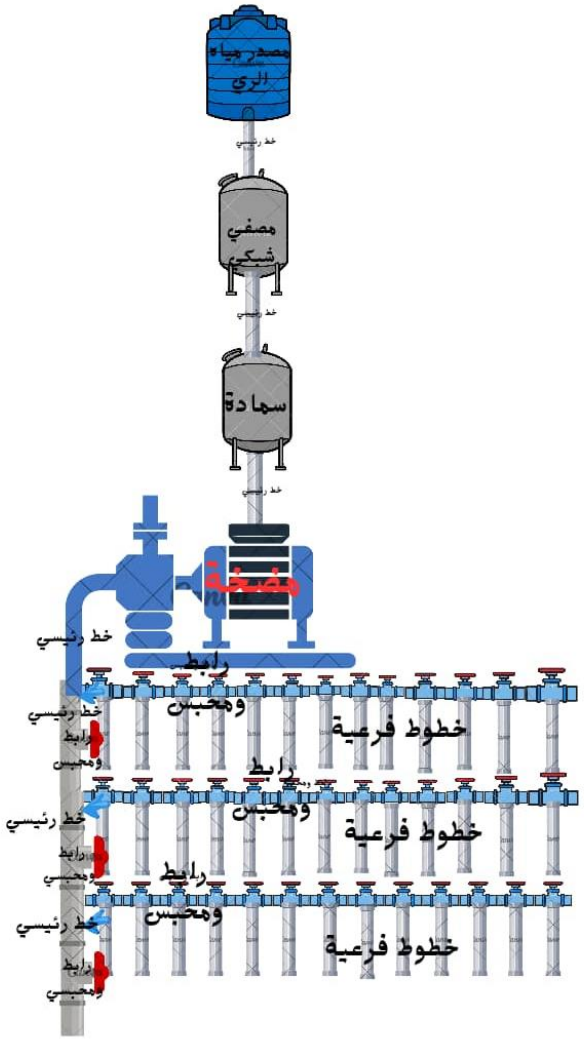
4-حديد المستويات المثلى من الري التي تحقق توازنا بين توفير المياه والحفاظ على إنتاجية مقبولة.

المواد وطرق البحث:-

تم تنفيذ التجربة في إحدى مزارع منطقة الزهراء الخاصة القريبة من

(مركز البحوث الزراعية – الزهراء) , باستخدام خمس مستويات مختلفة من مياه الري

(125% ,100% , 75% , 50% , 25%) , حيث تم توزيع المعاملات متفاوتة من كمية مياه الري , بواقع (3 مكررات x 13 معاملة) كما هو موضح بالجدول (1), وكان عدد الوحدات التجريبية (39) وحدة تجريبية كما هو موضح بالشكل (1) , و كانت الزراعة للأشتال في بداية شهر (2).



شكل (1)رسم تخطيطي يوضح شبكة الري المستخدمة في التجربة

جدول (1) يوضح معاملات كمية مياه الري الناقص

معامل مراحل نمو النبات / معامل الري	1	2	3	4	التوضيح
I_0125	%125	%125	%125	%125	%125طوال الموسم
I_0100	%100	%100	%100	%100	%100طوال الموسم
I_075	%75	%75	%75	%75	%75طوال الموسم
I_175	%100	%75	%75	%75	%100في بداية الموسم فقط
I_275	%75	%100	%75	%75	%100 في مرحلة التطور
I_375	%75	%75	%100	%75	%100في مرحلة الثمار

معامل مراحل نمو النبات / معامل الري	1	2	3	4	التوضيح
$I_{4}75$	%75	%75	%75	%100	%100في نهاية الموسم
$I_{0}50$	%50	%50	%50	%50	%50طوال الموسم
$I_{1}50$	%100	%50	%50	%50	%100في بداية الموسم فقط
$I_{2}50$	%50	%100	%50	%50	%100 في مرحلة التطور
$I_{3}50$	%50	%50	%100	%50	%100في مرحلة الثمار
$I_{4}50$	%50	%50	%50	%100	%100في نهاية الموسم
$I_{0}25$	%25	%25	%25	%25	%25 طول الموسم

I_{125} : اضافة 125% من مياه الري المقدرة (100) .

I_{100} : اضافة 100% من مياه الري المقدرة (الشاهد) .

I_{75} , I_{50} , I_{25} :من مياه الري المقدرة في المرحلة100% (4,3,2,1,0) .

برمجة الري :- تم برمجة الري بأستخدام معادلة (FAO 24)

وتقدير كمية الماء للمحصول بأستخدام معادلة حساب استهلاك المياه للنبات(ET_0) :-(Howell , 2001)

$$ET_c = ET_0.k_c \qquad \rightarrow(1)$$

ET_0: البخر والنتح المرجعي(mm\day) .

k_c : معامل المحصول (جداول خاصة FAO 56).

تم تقدير البخر النتح المرجعي **ET_0** :-

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(Rn-G)+\gamma.(900\backslash t+273).u2(es-ea)}{\Delta+\gamma(1+0.34u2)} \qquad \rightarrow(2)$$

ET_0 **:** البخر النتح المرجعي (mm\day).

Rn: صافي الأشعاع الشمسي عن سطح المحصول ($MJ\backslash m^2\backslash day$).

G : شدة تدفق حرارة التربة **($MJ\backslash m^2\backslash day$).**

T : متوسط درجة حرارة الهواء اليومية(c°)عند أرتفاع (2m).

u_2 : متوسط سرعة الرياح (m\sec) عند أرتفاع (2m).es – ea.

e_s : ضغط بخار الماء المشبع (kp_a).

e_a: ضغط بخار الماء الفعلي(kp_a).

Δ : ميل منحنى ضغط البخار ($kp_a \backslash c^\circ$).

γ : الثابت الرطوبي ($kp_a \backslash c^\circ$) .

تم تقدير أجمالي مياه الري بالمعادلة (IR_g) (FAO36)**:-**

$$IR_g = \frac{Et0.kc.kr+pi-R}{Ea.(1-LR)} \rightarrow (3)$$

IR_g:إجمالي مياه الري (mm\day).

ET_0 : البخر النتح المرجعي .

kc:.معامل المحصول(FAO 56).

k_r : معامل التخفيض وقيمته 0.368(جدول FAO 36) .

p_i : المطر الفعال (mm\day) .

R : الجريان السطحي للري .

Ea: كفاءة شبكة الري (0.88).

LR:معامل الغسيل (كسر) .

تم تقدير زمن الري بأستخدام المعادلة التالية (FAO 36)

$$IR_t = \frac{IR.se.sl}{qe} \rightarrow (4)$$

IR_t: زمن الري بالساعات.

IR_g : اجمالي مياه الري المطلوبة (l\hr).

$se.sl$. : أبعاد شبكة الري (المسافة بين المنقطات وخطوط الري).

qe: معدل تصريف الموزع (l\hr).

تم تقدير الفترة بين الريات بأستخدام المعادلة(IR_b):-(Irmak et al , 2014)

$$IR_b = \frac{(Fc-wp).Pp.Dr.P.F}{ET\ max} \times 10 \rightarrow (5)$$

IR_b :الفترة بين الريات (day) .

Fc : السعة الحقلية (%).

Wp: نقطة الذبول (%).

Pp : كثافة التربة ($g\backslash m^3$).

Dr. : عمق الجذر(cm).

P : نسبة الترطيب(%).

F : نسبة الأستنزاف المسموح به(%).

ET_{max} : البخر النتح المرجعي الأقصى .

تم أيجاد قيمة k_y

$$Ky = \frac{1-\frac{ya}{ymax}}{1-\frac{ETa}{ETmax}} \quad \rightarrow (6)$$

Ya الأنتاج الفعلي للمحصول.

y_{max} الانتاجية القصوى

Ky معامل الاستجابة.

ET_a البخر النتح الفعلي.

ET_{max} البخر النتح الأقصى.

معادلة كفاءة أستخدام الماء(Sharma , 2018)

$$WUE = \frac{yc(kg\backslash m3)}{ETc(mm)} \quad \rightarrow (7)$$

WUE :كفاءة استخدام الماء(kg/he) .

yc: الإنتاجية (kg/m^3) .

ET_c البخر النتح(m^3/he) .

النتائج والمناقشة

هدفت الدراسة إلى تقييم تأثير أنظمة الري الناقص على إنتاجية الكوسة وكفاءة استخدام المياه ومعامل الأستجابة في الحقول المكشوفة بليبيا , و ذلك في ظل ندرة المياه المتزايدة , تم تحقيق هذه الأهداف من خلال تجربة استخدمت خمس مستويات مختلفة من مياه الري (125% , 100% , 75% , 50% , 25%) ,مع تقسيم المياه على مراحل نمو المحصول, كما هو موضح بالجدول (2).

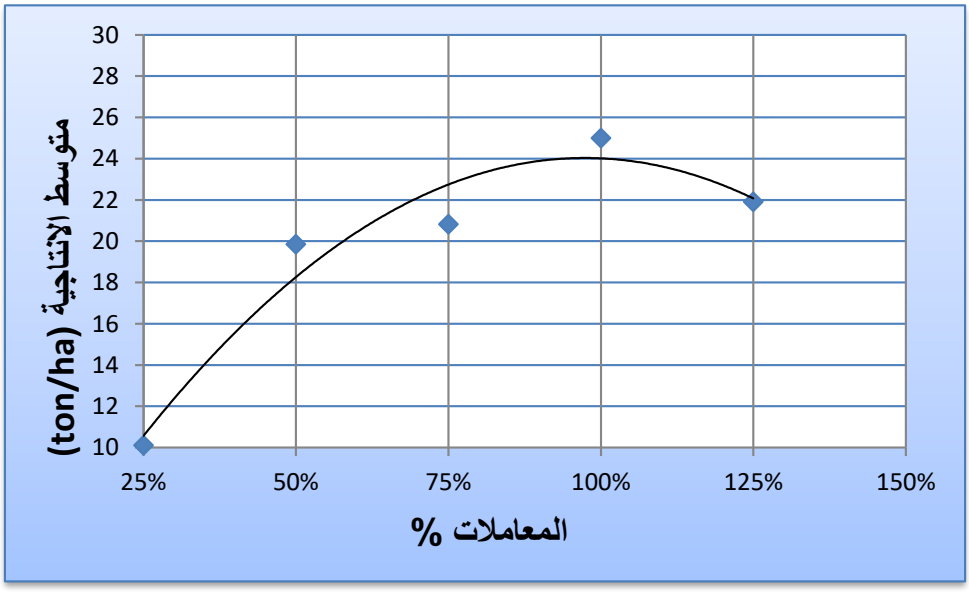
جدول(2) يوضح كمية الماء المضاف والأنتاجية والكفاءة ومعامل الأستجابة حسب التراكيز الماء المختلفة.

المعاملات%	كمية الماء المضاف mm/se	الإنتاجيةton/ha	النسبة الإنتاجية %	كفاءة استخدام الماء (WUS) Kg\m^3	معامل الاستجابة (Ky)
$I_0$125	587.5	21.9	%87.6	3.73	-0.496
$I_0$100	470.0	25.0	%100	5.32	1.000
$I_0$75	364.5	20.1	%80.4	5.51	0.875
$I_1$75	376.7	21.0	%84.0	5.57	0.8080
$I_2$75	405.4	22.2	%88.8	5.47	0.820
$I_3$75	381.2	21.3	%85.2	5.58	0.787

المعاملات%	كمية الماء المضاف mm/se	الإنتاجيةton/ha	النسبة الإنتاجية %	كفاءة استخدام الماء (WUS) Kg\m^3	معامل الاستجابة (Ky)
$I_4$75	352.5	19.5	%78.0	5.53	0.880
$I_0$50	258.5	18.3	%73.2	7.07	0.590
$I_1$50	282.0	19.3	%77.2	6.84	0.570
$I_2$50	341.17	21.4	%85.6	6.27	0.530
$I_3$50	294.5	20.4	%81.6	6.92	0.490
$I_4$50	235.0	16.93	%67.72	7.17	0.655
$I_0$25	117.5	10.1	%40.4	5.59	0.790

1- تقييم تأثير أنظمة الري الناقص على إنتاجية الكوسة:

تم استخدم المعادلة التالية لحساب الإنتاجية القصوى ولتمثيل العلاقة بين مستويات المياه ومتوسط الانتاجية للمحصول كما هو مبين في الشكل (2).



الشكل (2) يوضح العلاقة بين المعاملات ومتوسط الانتاجية

$$Y=a+bw+cw^2$$

$$Y = -0.00336+0.05w-0.0025w^2 \quad \rightarrow(1)$$

ومعامل التحديد هو $R^2=0.94$ مما يدل على ان النموذج يفسر 94% من التباين في البيانات .

عند اشتقاق المعادلة وايجاد القيمة الحرجة عندما تكون كفاءة المحصول الحدية للاستهلاك = صفر :

$$\frac{dy}{dw} = 2c+ b$$

$$\frac{dy}{dw} = -0.0050w + 0.05 \quad \rightarrow(2)$$

$$w_{opt} = \frac{-b}{2c} = \frac{-0.05}{2\times-0.0050} = 5$$

بالتعويض عن قيمة ($w_{opt}=5$) في المعادلة (1) نتحصل على الانتاجية القصوى وهي:

$$Y \approx 23.414$$

وهي قيمة الأحتياجات المائية السنوية القصوى اللازم توفيرها للمحصول لضمان أقصى إنتاجية ممكنة (y).

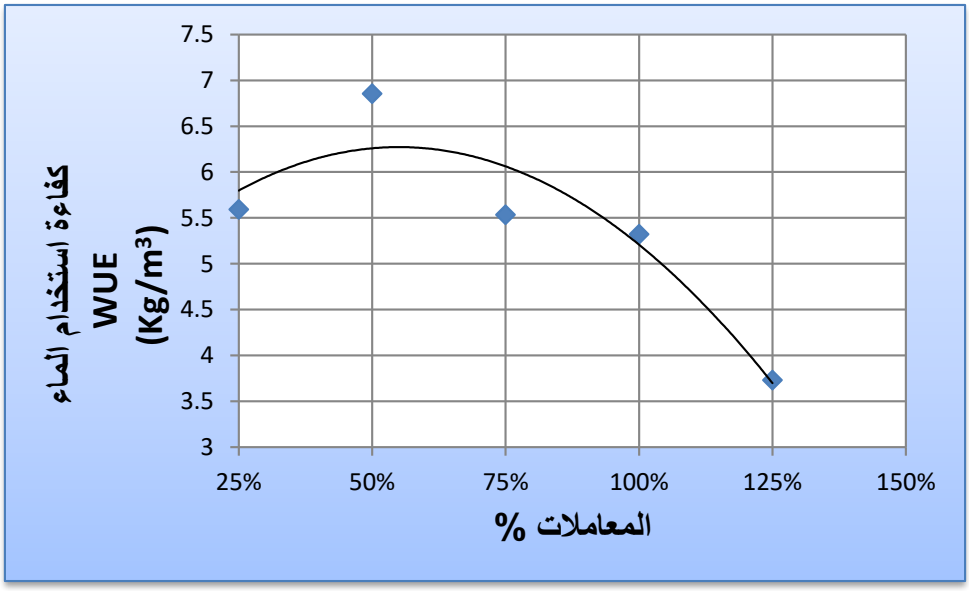
وهذا يعنى ان الانتاجية القصوى تتحقق عند مستوى ري مثالي (w_{opt}) يقدر بـ5.

أظهرت النتائج ان تطبيق الري الناقص بنسبة 75% من الاحتياجات المائية الكاملة ($I_0$75) حافظ على إنتاجية مقبولة بلغت 20.1طن/هكتار أي بنسبة 19.6% أقل مقارنة بـ 25 طن/هكتار عند الري الكامل ($I_0$100), أما عند 125% من الاحتياجات المائية , كانت الانتاجية 21.9طن/هكتار , وهي أقل بنسبة 12.4% من الانتاجية المحققة عند 100% (25 طن/هكتار).

السبب في انخفاض الانتاجية عند 125% يرجع الى زيادة الري فوق الحد الأمثل، مما قد يؤدي الى تشبع التربة بالمياه وتقليل التهوية اللازمة لنمو الجذور، هذه النتيجة تعزز الهدف الأول للدراسة، والذي كان تقييم تأثير الري الناقص على إنتاجية الكوسة.

2- تحسين كفاءة استخدام المياه (WUE):

تم استخدام معادلة من الدرجة الثانية لتمثيل العلاقة بين مستويات المياه وكفاءة استخدام المياه كما هو موضح بالشكل (3).



الشكل (3) يوضح العلاقة بين المعاملات وكفاءة استخدام الماء

$$y = 4.70+5.99\times10^{-2}w - 5.45\times10^{-4}w^2$$

ومعامل التحديد هو $R^2=0.82$

مما يدل على ان النموذج يفسر 82% من التباين .

كما استخدمت المعادلة التالية لحساب كفاءة استخدام المياه (WUE) :

$$WUE = \frac{yc(kg\backslash m3)}{ETc(mm)} = \frac{18.3\times1000}{258.5\times10} = 7.07$$

تم تحقيق أعلى كفاءة لاستخدام المياه عند الري بنسبة 50% ($I_0$50), حيث بلغت 7.07كجم/م^3 بسبب الانخفاض في كمية المياه المستخدمة مع الحفاظ على انتاجية معقولة.

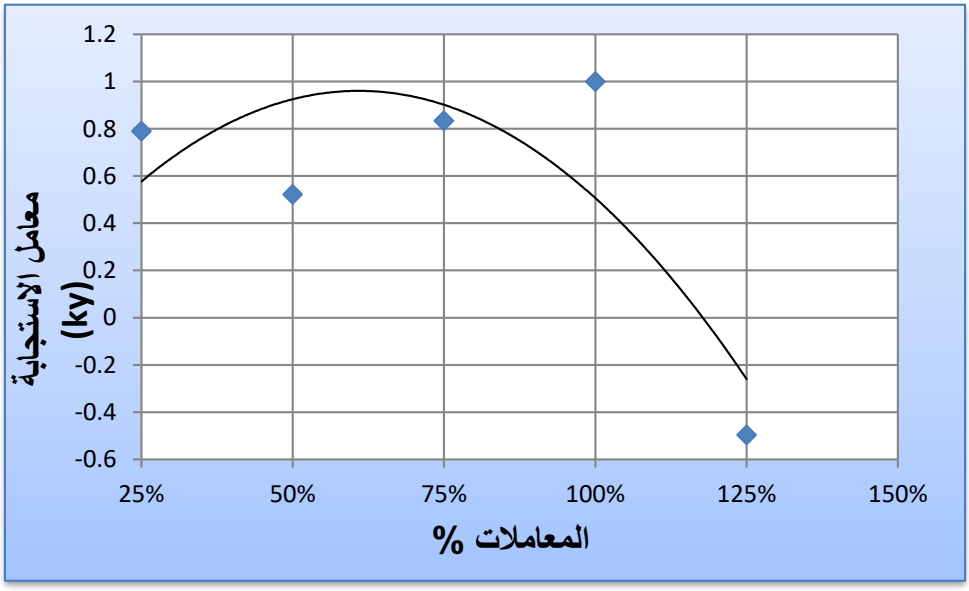
أما عند الري 100% كانت 5.32كجم/م^3.وهي أقل بكثير بنسبة 24.7% من كفاءة المعاملة 50% , مما يدل على ان الري الزائد يقلل الكفاءة المائية ويظهر ان الري الناقص يمكن ان يحسن الكفاءة المائية.

أما عند الري بنسبة 125% كانت الكفاءة الأدنى حيث سجلت 3.73كجم/م^3, مما يشير الى هدر المياه دون تحقيق زيادة في الانتاجية .

وهذه النتيجة تعزز الهدف الثاني للدراسة , والذي كان تحسين كفاءة استخدام المياه من خلال تطبيق أنظمة الري الناقص.

3- تحليل حساسية محصول الكوسة لنقص المياه باستخدام معامل الاستجابة (ky)

تم استخدام معادلة من الدرجة الثانية لتمثيل العلاقة بين مستويات المياه ,ومعامل الاستجابة كما هو موضح بالشكل (4) :-



الشكل (4) يوضح العلاقة بين المعاملات ومعامل الاستجابة

$Y = 0.45+0.015w- 0.00018w^2$

ومعامل التحديد هو

$R^2=0.88$

مما يدل على ان النموذج يفسر 88% من التباين .

كما استخدمت المعادلة التالية لحساب معامل الاستجابة (ky) :

$$Ky = \frac{1-\frac{ya}{ymax}}{1-\frac{ETa}{ETmax}}$$

معامل الاستجابة (ky) يعبر عن حساسية المحصول للنقص في الماء , وهو مؤشر مهم في تحديد التأثير النسبي للري الناقص على الانتاجية الزراعية .

اذا كان ky >1: يكون المحصول حساسا جدا لنقص الماء, ويؤدي النقص الطفيف في الماء الى انخفاض في الانتاجية.

اذا كان ky =1 : يكون النقص في الماء متناسبا مع الانخفاض في الانتاجية .

اذا كان ky< 1 : يظهر المحصول تحملا لنقص الماء , حيث يكون التأثير على الانتاجية أقل نسبيا.

عند 125% من الاحتياجات المائية (ري زائد) :

معامل الاستجابة = 1.

هذا هو المرجع (الري الكامل), حيث يتم تحقيق الانتاجية القصوى دون أي تأثير للاجهاد المائي.

عند 100% من الاحتياجات المائية (الري الكامل) :

معامل الاستجابة = 1.

الانتاجية تظل في أعلى مستوياتها مع تلبية جميع الاحتياجات المائية , ولا يظهر أي تأثير للإجهاد المائي.

عند 75% من الاحتياجات المائية :

معامل الاستجابة =0.875.

انخفاض نسبة الري بنسبة 25% يؤدي الى تأثير طفيف على الانتاجية , مما يدل على قدرة المحصول على تحمل الاجهاد المائي جزئيا مع تقليل استهلاك الماء.

عند 50% من الاحتياجات المائية:

معامل الاستجابة = 0.496.

نقص الماء بنسبة كبيرة يؤدي الى انخفاض كبير في الانتاجية , مما يشير الى ان هذا المستوى غير مستدام اذا كان الهدف الحفاظ على انتاجية معقولة.

عند 125% , كان معامل الاستجابة -0.496 (سالبا) مما يعني أن زيادة الري أدت لانخفاض الانتاجية .

عند 75% , كان معامل الاستجابة 0.875 , مما يشير الى توازن بين توفير المياه والحفاظ على الانتاجية .

عند 50% , كان معامل الاستجابة 0.59 , حيث تحققت كفاءة مائية عالية لكن مع انخفاض نسبي في الانتاجية.

4- تحديد المستويات المثلى من الري

أظهرت النتائج أن الري الناقص بنسبة 75% من الاحتياجات المائية الكاملة يمكن ان يكون المستوى الأمثل لتحقيق توازن بين توفير المياه والحفاظ على انتاجية مقبولة , وهذه النتيجة تعزز الهدف الرابع للدراسة , والذي كان تحديد المستويات المثلى من الري.

مناقشة النتائج:

من الجداول (2) و(3) و (4) أظهرت النتائج أن الري الكامل بنسبة 100% من الاحتياجات المائية (I_0100) حقق أعلى إنتاجية بلغت 25طن/هكتار , مما يتماشى مع الارشادات العامة لإدارة الري التي تؤكد أن توفير المياه بكميات كافية خلال جميع مراحل النمو يؤدي إلى تحقيق الإنتاجية المثلى.

ومع ذلك فإن تقليل الري بنسبة 75% ($I_0$75) أدى إلى إنتاجية مقبولة بلغت 20.1طن/هكتار مع كفاءة استخدام مياه بلغت 5,51 كجم/م^3, هذه النتيجة تتفق إلى ما أشار إليه **(Fereres & Soriano , 2000)** بشأن قدرة الري الناقص على تحسين كفاءة المياه مع تأثير طفيف على الإنتاجية , خاصة في المحاصيل المعتدلة التحمل للإجهاد المائي مثل الكوسة .

بالمقابل أظهرت الدراسة أن تقليل المياه إلى 50% ($I_0$50) أدى إلى انخفاض الإنتاجية إلى 18.3 طن/هكتار , رغم تحقيق أعلى كفاءة لاستخدام المياه بلغت 7.07كجم/م^3, يعكس ذلك أن المحصول يظهر حساسية عالية لنقص المياه خلال مرحلة الإثمار, وهو ما يتفق جزئيا مع ما ذكره **(FAO, 1998)** حول أهمية توفير المياه في المراحل الحرجة للنمو , إلا أنه يختلف عن النتائج التي ذكرتها **(Taylor et al ,1983)**

التي قللت من تأثير نقص المياه خلال المراحل النهائية للنمو.

في المقابل أظهر الري الزائد بنسبة 125%($I_0$125) انخفاضا في الإنتاجية إلى 21.9 طن/هكتار مع كفاء مائية منخفضة بلغت 3.73كجم/م^3. يمكن تفسير ذلك بتشبع التربة بالمياه وانخفاض التهوية، مما أثر سلبا على نمو الجذور، هذه النتيجة تشير إلى أن الإفراط في الري ليس فقط غير فعال ولكنه يتسبب أيضا في تقليل الإنتاجية، مما يجعل استخدام تقنيات ري دقيقة أمرا ضروريا.

تتفق هذه الدراسة بشكل عام مع الأدبيات التي تؤكد أهمية إدارة المياه بشكل متوازن لتحقيق إنتاجية مستدامة، ومع ذلك فإن نتائجها تختلف عن دراسات ركزت على محاصيل أخرى مثل الذرة والطماطم، مثل **(Gamal 2015 et al.,)**، حيث لا تنطبق نتائج تلك المحاصيل على الكوسة بسبب أختلاف حساسيتها لنقص المياه خلال مراحل النمو المختلفة، خاصة مرحلة الإثمار.

تظهر النتائج أن الكوسة تتمتع بقدرة على تحمل نقص المياه في المراحل الخضرية والتزهير، مع حاجة ملحة لإدارة دقيقة للري خلال مرحلة الإثمار لتجنب خسائر كبيرة في الإنتاجية.

كانت أعلى انتاجية عند مستوى 100% وهذا منطقي لأن المحصول تحصل على كافة إحتياجاته المائية في كل مراحله مع ملاحظة ان كفاءة الاستخدام كانت الأعلى عند 50% وهو متسق مع كل الدراسات المتعلقة بدراسة العلاقة بين الري والأنتاجية حيث كلما قل الماء زادت الكفاءة المائية ويلاحظ ان معامل الاستجابة كان أعلى عند

الري ($I_4$75) حيث ان محصول الكوسة حساس جدا في المرحلة الرابعة ثم المرحلة الثانية مرحلة النمو الخضري ويمكن قبول هذه العلاقات لأن منحنى انتاجية الماء كان معامل الأرتباط الأحصائي (R^2=0.94) وكفاءة استخدام الماء (R^2=0.82) ومعامل الاستجابة (R^2=0.88) لذلك يمكن القبول بكل النتائج

التوصيات:

1- **تبني استراتيجيات الري الناقص :**يوصى باستخدام الري الناقص بنسبة 75% من الاحتياجات المائية الكاملة لتحسين كفاءة استخدام المياه مع الحفاظ على إنتاجية مقبولة .
2- **استخدام تقنيات الري بالتنقيط :** لتقليل الفاقد من المياه وضمان توزيع مثالي لرطوبة في التربة , مما يساهم في تحسين الإنتاجية والاستدامة.
3- **إدارة الري حسب مراحل النمو :** التركيز على توفير المياه بشكل كامل خلال مرحلة الإزهار لتجنب التأثير السلبي على الإنتاجية .
4- **زيادة المساحات المزروعة:** يمكن أن تسهم زيادة زراعة الكوسة باستخدام الري الناقص في تقليل الاعتماد على الاستيراد بنسبة 10 – 20 %.
5- **التدريب والتوعية :** توفير برامج تدريبية للمزارعين لتطبيق نظم الري الناقص وتقنيات الري الحديثة.
6- **البحث المستمر :** تعزيز الدراسات المستقبلية لتقييم تأثيرات الري الناقص على محاصيل أخرى وتحسين المعايير التقنية للإنتاج .

المراجع

1- سماعيل، م.، السيد، أ.، أحمد، م.، عبد الله، م.، حسن، م. (2015).” تأثير تقنيات الري بالتنقيط على التربة والإنتاجية “. مجلة الأنبار للعلوم الزراعية .5(10) , 811- 881.

2- حسن، ج.، جولينا، أ., سامر , خ ., خالد , ع.(2019).”أثر استراتيجيات الري الناقص على إنتاجية المحاصيل في المناطق الجافة “جامعة البعث,55(3) , 858-885.

3- حسن، ج., أحمد ,ك., محمود ,س.(2015).”تحليل العلاقة بين إجهاد الماء ونمو الخضروات“ مجلة دمشق للعلوم الزراعية . 58(5), 841-855.

4- سماعيل، م ., السيد, أ., أحمد , م ., عبدالله , م ., حسن , م.(2015). تقييم فترات الري المختلفة على المحاصيل الصيفية. مجلة الزراعة في دلتا النيل, 3(61) , 51 -61.

5- جمال, ح., أحمد ,ك. .(2015).”تأثير الري الناقص على بعض الخصائص الفيزيائية للتربة وإنتاجية الذرة الصفراء العلفية“. مجلة البحوث الزراعية السورية, 81(3),851-865.

6- بلدية, ر., أحمد ,م.(2015).”تأثير إجهاد الماء على محصول البندورة“. مجلة دمشق للعلوم الزراعية . 58(4),511- 585.

7- جمال, ح., محمد ,ج .(2015).تأثير مستويات مختلفة من الري على إنتاجية الكوسة باستخدام التنقيط“. مجلة الزراعة في دلتا النيل ,6(85) , 75-85.

8-Fereres,E & Soriano , M.A.(2000). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Journal of Experimental Botany ,Volume 51, (345) , 901-908.

9- FAO.(1998).Guidelines on Crop water requirements . food and agriculture organization . Rome: Italy

10-Taylor,H.M.,Jordan,W.R & Sinnclair ,T.R.(1983).Limitations to Efficient Water use in Crop Production. Madison, Wisconsin ,USE: ASA-CSSA, Monograph Series 14,Pages 67-89.

11-Fereres,E & Soriano , M . A.(2000). Deficit irrigation for reducing agricultural water Use. Journal of Experimental Botany ,Volume 51,Lssue 350,Pages 1-10.

12-FAO.(1998).Guidelines on Crop Water Requirements. Rome: Italy:FAO.pp.1-50.

13- Allen, R.G., Pereira L.S ., Raes, D & Smith, M. (1998) Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements ,FAO irrigation and drainage paper 56,vol 300 (9).FAO , Rome , p D05109

14- Bastiaansen, W.G.M & Steduto , P. (2017) The water productivity score (WPS) at global and regional level : methodology and first results from remote sensing measurements of wheat, rice and maize. Sci Total Environ 575:595-611.

15- English, M . (1990) Deficit irrigation . I:analytical framework. J Irrig Drain Eng 116(3):399-412.

16- Evans, R.G & Sadler, E.J. (2008) Methods and teshnologies to improve efficiency of water use. Water Resour Res 44(7):W00E04.

17- FAO . (2017) Food security & nutrition around the world .Food and Agricultural Organization Foley JA, Ramankutty N, Brauman KA, Cassidy ES, Gerber JS, Johnston M, Mueller ND, O ʾConnell C, Ray DK, West PC(2011)Solutions for a cultivated planet. Nature 478(7369):337

18- Howell, T.A. (2001) Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture . Agron J 93(2):218-289.

19- Howell, T.A ., Yazar , A ., Schneider, A.D ., Dusek , D.A & Copeland , K.S. (1995) Yield and water use efficiency of corn in response to LEPA irrigation .Trans ASAE :38(6): 1737-1747.

20- Irmak , S ., Specht , J.E ., Odhiambo , L.O ., Rees , J.M & Cassman, K.G. (2014) Soybean yield , evapotranspiration, water productivity , and soil water extraction response to subsurface drip irrigation and fertigation .Trans ASABE 57(3):729-748.

21- Levidow , L ., Zaccaria , D ., Maia , R ., Vivas , E ., Todorovic M & Scardigno . A .(2014) Improving water-efficient irrigation : prospects and difficulties of innovative practices . Agric Water Manag 146:84-94.

22-Sharma, V. (2018) Methods and techniques for soil moisture monitoring. University of Wyoming ,Extension,B-1331.

23-Doorpenbos , J & Pruitl , W.O . (1980) Crop water requirement , Irri . Drain . Pap No .24. FAO . Rome , Italy.

24- Allen , R . G ., Pereira , l .S ., Raes , D & Smith , M .(1998) Guidelines for Computing Crop Water requirements ,Irri . Prain Pap : 56 . FAO , Rome , Italy.

25- Steduto , S ., Hsiao , T & Raes , D.(2012) Crop Yield response to water ,Irri . Drain , pap : 66 . FAO , Rome , Italy.

26- Doorenbos , J ., Hassam , A & Van Der Wal , H . (1986) Yield response to water , Irri . Drain , Pap : 33 . FAO , Rome , Italy.

27- Savva , P & Frenken , K . (1982) localized Irrigation , Irri . Drain Pap : 36 . FAO , Rome , Italy.