The North African Journal of Scientific Publishing (NAJSP)
مجلة شمال إفريقيا للنشر العلمي (NAJSP)
E-ISSN: 2959-4820
Volume 3, Issue 3, 2025
Page No: 110-127
Website: https://najsp.com/index.php/home/index
SJIFactor 2024: 5.49 معامل التأثير العربي (AIF) 2024: 0.71 ISI 2024: 0.696

استجابة الفلفل (*Capsicum annuum* L.) للري الناقص

أحمد إبراهيم خماج[1*]، أحمد سالم الجديد[2]، طارق أبوالقاسم ارحومة[3]
[1،2،3]قسم التربة والمياه، كلية الزراعة، جامعة طرابلس، طرابلس، ليبيا

Response of Pepper (Capsicum annuum L.) to Deficit Irrigation

Ahmed Ibrahim Ekhmaj[1*], Ahmed Salem Al-Jadeed [2], Tareq Abulqasim Arhouma[3]
[1,2,3] Soil and Water Department, Faculty of Agriculture, University of Tripoli, Tripoli, Libya

[*]Corresponding author A.ekhmaj@uot.edu.ly [*]المؤلف المراسل
تاريخ الاستلام: 2025-06-15 تاريخ القبول: 2025-07-20 تاريخ النشر: 2025-07-30

الملخص

يعد الري الناقص إحدى الاستراتيجيات الفعالة في إدارة المياه الزراعية بهدف رفع كفاءة استخدامها وزيادة العائد لكل وحدة مياه. استهدف هذا البحث دراسة تأثير كميات مختلفة من مياه الري، محسوبة كوحدات فعالة، على إنتاجية محصول الفلفل صنف (Starter) وتحديد المستوى الأمثل للري الذي يحقق أعلى إنتاجية. أجريت التجربة عام 2018 بمنطقة تينيناي جنوب مدينة بني وليد باستخدام نظام الري بالرش خطي المصدر. شملت الدراسة سبع معاملات ري تراوحت كميات المياه فيها بين 754 مم إلى 184 مم. تم تقدير الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة، وقياس المحتوى الرطوبي للتربة في بداية التجربة ونهايتها، كما حُسب الاستهلاك المائي للمحصول (البخر-نتح) باستخدام معادلة الموازنة المائية، بالإضافة إلى الاعتماد على حوض البخر الأمريكي من نوع A. تم تقييم عدد من المؤشرات مثل ارتفاع النبات، المحتوى المائي للورقة، عدد الثمار، الإنتاجية الكلية، معامل استجابة المحصول (K_y)، كفاءة استخدام المياه (WUE)، والإنتاجية المائية. أظهرت النتائج تأثيرًا معنويًا لتقليل مياه الري على جميع المؤشرات، حيث حققت المعاملة الأولى أعلى إنتاجية (71.30 طن/هكتار) وأفضل كفاءة استخدام للماء (9.45 كجم/م³)، بينما كانت أدنى القيم في المعاملة السابعة. وُجدت علاقة خطية معنوية بين الإنتاجية وكمية المياه المضافة، مما يشير إلى أهمية تحديد كميات الري المثلى لتحقيق إنتاجية مرتفعة دون هدر في الموارد المائية.

الكلمات المفتاحية: الري الناقص، معامل استجابة المحصول، كفاءة استخدام المياه، الانتاجية المائية.

Abstract

Deficit irrigation is considered one of the effective strategies in water management to enhance water use efficiency and increase yield per unit of water. This study aimed to evaluate the effect of different irrigation water quantities, applied as effective units, on the yield of pepper crop (cv. Starter) and to determine the optimal irrigation level that maximizes production. The experiment was conducted in 2018 in the Tininai area, south of Bani Walid, using a linear sprinkler irrigation system. Seven irrigation treatments were applied, with water amounts ranging from 754 mm to 184 mm. Physical and chemical soil properties were assessed, along with soil moisture content at the beginning and end of the experiment. Crop water consumption (evapotranspiration) was estimated using the soil water balance equation, in addition to reference evapotranspiration measured with a Class A evaporation pan Several parameters were evaluated, including plant height, leaf water content, number of fruits per plant, total yield, crop response factor (K_y), water use efficiency (WUE), and crop water productivity. Results showed a significant impact of reduced irrigation on all measured indicators. The first treatment achieved the highest yield (71.30 tons/ha) and the best water use efficiency (9.45 kg/m³), while the lowest values were recorded in the seventh treatment. A significant linear relationship was found

between yield and the amount of water applied, highlighting the importance of optimizing irrigation levels to achieve high productivity while conserving water resources.

Keywords: Deficit irrigation, crop yield response factor, water use efficiency, water productivity.

مقدمة:

يعتمد نجاح واستدامة الزراعة المروية بشكل كبير على إدارتها بطريقة جيدة ومتكاملة لعمليات الري التي بدورها تستند على التقديرات الصحيحة للاستهلاك المائي للمحاصيل الزراعية. حيث إن مشكلة ندرة المياه ليست مقتصرة فقط على المناطق القاحلة والمناطق المعرضة للجفاف، إنما أيضا في المناطق المطيرة. تعتبر في بعض المناطق إمدادات المياه المتاحة غير كافية لإنتاج العائد الأقصى على الأراضي القابلة للري. في مناطق أخرى، يتم تنظيم إدارة المياه المتاحة لري المحاصيل بالفعل ويتطلب ذلك تخفيض مقدار مياه الري. وكما هو الحال في ليبيا، أدت الزيادة المضطردة في النمو السكاني وارتفاع معدلات النمو الاقتصادي والتي صاحبها ارتفاع مستويات المعيشية إلى ارتفاع معدلات نصيب الفرد من المياه. إن تلك الزيادة في الطلب على المياه سواء أكانت لأغراض الشرب أو الصناعة نتج عنه انخفاضاً في الإمدادات المائية المتاحة للأغراض الزراعية. ومن ثم أصبح هناك ضرورة ملحة لإدارة مصادر المياه بالطريقة المناسبة ويتأتى ذلك بالتخصيص الأمثل والجيد للمياه على أوجه الاستهلاك المختلفة. كما إنه من المهم ترشيد استهلاك مياه الري لمثل هذه المحاصيل، وذلك من خلال معرفة المستوي الامثل للمياه لها، فهيد وآخرون، (2019). ويظل التساؤل الهام متعلق بمدى توفر الإمدادات المائية للأجيال القادمة. حيث يشكل الإنتاج الغذائي الزراعي المستهلك الأكبر للمياه والمهدد مباشرة بالندرة المائية Yang وآخرون، (2006).

إن أكثر العوامل المحددة للتوسع في الإنتاج الغذائي لسد الفجوة الغذائية الناشئة عن زيادة عدد السكان تتمثل في المياه (Rosegrant واخرون،2002؛ Playan وMateos،2006؛ Yangوآخرون، 2006). وعلى الرغم من ندرة المياه فإن هناك العديد من أوجه الاستعمال التي تضمن استعمالها بشكل أكثر كفاءة بهدف زيادة إنتاجية وحدة الماء. يمثل الري الناقص Deficit Irrigation أحد الاستراتيجيات المقترحة في إدارة مياه الري بحيث يمارس على المحصول إجهاد مائي عبر تخفيض كمية مياه الري المستهلكة للمحصول. يمكن أن يؤدي الري الناقص إلى زيادة في صافي الدخل حيث تكون تكاليف المياه مرتفعة أو أن هناك محدودية في الموارد المائية، وكذلك إلى الحفاظ على الطاقة المستهلكة والمياه English وRaja (1996). ينتشر الري الناقص في أغلب المناطق المعتمدة على الري خصوصا في الولايات المتحدة وشبه القارة الهندية، وأجزاء من أفريقيا، ومناطق أخرى من العالم حيث يمثل نقص المياه المحدد الرئيسي للإنتاج الزراعي English وآخرون، (1990).

إن ممارسات الري المعتمدة على الري الناقص من شأنها أن تؤدي إلى زيادة الإنتاج الغذائي لكل وحدة من المياه Oweis وHachum (2004)، الأمر الذي يشكل أحد أكبر التحديات التي تواجه الباحثين وخاصة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة، مثل ليبيا التي لديها موارد مائية محدودة. كما يعتبر اختيار واعتماد مفاهيم كفاءة استعمال الماء والإنتاجية المائية للمحاصيل الزراعية والعائد الاقتصادي على وحدة الحجم من المياه المستهلكة في الري الزراعي كمؤشرات استدلالية ومعايير انتقائية للتقليل أو التوقف عن انتاج المحاصيل ذات القيم المنخفضة لهذه المؤشرات والمعايير مثل محاصيل الحبوب والأعلاف وإعادة تخصيص المياه في إنتاج هذه المحاصيل لري محاصيل أخرى ذات مردود اقتصادي أعلى واستعمالها لأي غرض نفعي آخر من الإجراءات الواجب اتباعها وتنفيذها للرفع من مستوى أداء الري الزراعي والحد من تدهور الموارد المائية المحدودة، الغرياني (2010). محليا، يمثل نقص البيانات والمعلومات التي تبحث في قضايا الاستهلاك المائي للمحاصيل أهم العوائق التي تواجه متخذي القرار والمشرعين والمزارعين في العمل على الاستثمار الأمثل للمياه في الأغراض الزراعية. وبالتالي فلقد بات من الضروري إجراء العديد من الدراسات الحقلية المحلية التي تمكن من فهم أوسع وأشمل للعلاقات المائية للمحاصيل والبحث في اقتصاداتها. تهدف هذه الدراسة إلى معرفة أثر استخدام كميات من مياه الري في

صورة وحدات فعالة على محصول الفلفل، وتحديد مستويات مياه الري المُثلي التي تعظم الانتاج، وذلك من خلال تطبيق بعض المفاهيم المرتبطة بالعلاقات المائية للمحصول.

المواد وطرائق البحث

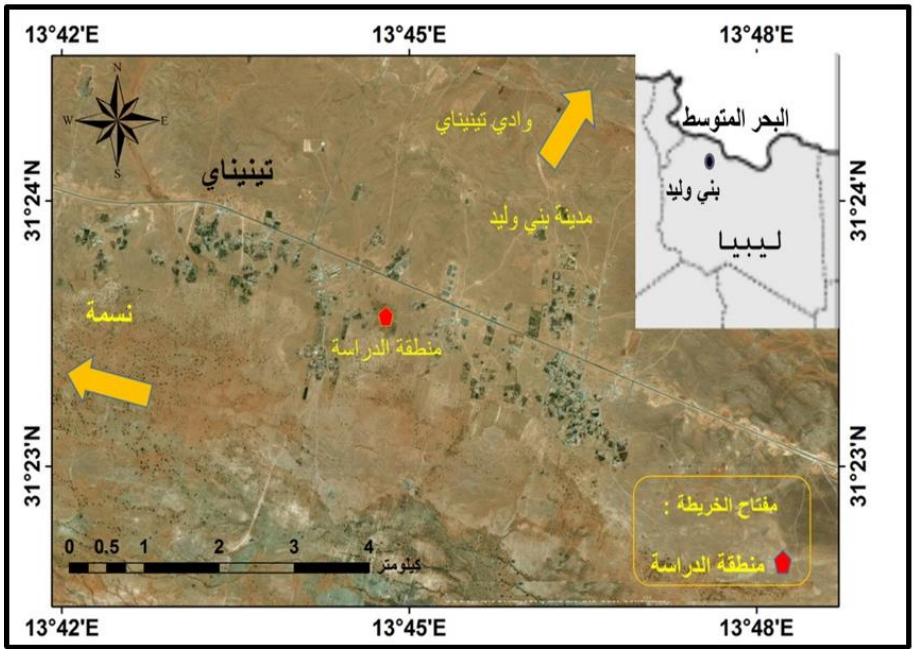
أولاً: الوصف العام لمنطقة الدراسة

أجريت الدراسة في فصل الصيف 2018م بأحد مزارع الخاصة الواقعة بمنطقة تنيناي جنوب مدينة بني وليد علي بعد 60 كم، وتقع على دائرة عرض 31.38748 شمالاً وخط طول 13.74681"شرقا، على النحو الموضح بالشكل (1). يعتبر مناخ المنطقة بصفة عامة من النوع القاري الحار (شبه صحراوي) الذي يتميز بمعدلات تساقط أمطار قليلة وخلال فترات قصيرة ومتقطعة. كما يتميز بارتفاع في درجات الحرارة وانخفاض في الرطوبة النسبية وشدة في سرعة الرياح المتعددة الاتجاهات. يبلغ متوسط المعدل السنوي لسقوط الأمطار 62.2 مم، ويبلغ أعلى معدل لسقوط الأمطار في شهر يناير (11.2 مم)، وأقل معدل (1 مم) في شهر مايو ويونيو ويوليو أغسطس. ويتراوح متوسط درجات الحرارة بالمنطقة بين 11.2 م° خلال شهر يناير و29.5 م° خلال شهر يونيو. والمتوسط السنوي للرطوبة النسبية 52%، حيث تنخفض خلال أشهر الصيف حتى تصل إلى أدنى قيمة لها (36%) في شهر مايو، وترتفع نسبياً خلال أشهر الشتاء حيث بلغت 58% في شهر يناير. فيما يتعلق بالرياح فتسود بالمنطقة الرياح الغربية إلى شمالية غربية بنسبة (30%) ورياح شمالية إلى شمالية شرقية بنسبة (29%) حيث تكون أكثر نشاطً خلال فصلي الخريف والشتاء؛ هذا وتهب رياح جنوبية وجنوبية شرقية بنسبة (29%) تكون محملة بالغبار والرمال خلال أشهر فصلي الربيع والصيف، كما تتخلل بالمنطقة فترات هدوء تصل إلى (12%)، عبد الكريم (2017).

ثانياً: الخصائص الطبيعية والكيميائية لتربة منطقة الدراسة

يوضح الجدول (1) و (2) الخصائص الطبيعية والكيميائية لتربة منطقة الدراسة. تم تقدير خصائص التربة الطبيعة والتي شملت الكثافة الظاهرية والتي تم تقديرها باستخدام اسطوانة الكثافة وفقا لما أشار إليه يحيى وسليمان (1981). تراوحت قيمتها بين 1.2 و1.4 (جم/سم^3) لعمق من 0 و120 (سم). قدرت الكثافة الفعلية باستخدام قنينة الكثافة وفقا لما أشار إليه يحيى وسليمان (1981) حيث كانت قيمتها 2.44 (جم/سم^3) لعمق من 0 إلى 120 (سم). تم تقدير قوام التربة باستخدام طريقة الماصة على النحو الموضح من قبل يحيى وسليمان (1981)؛ وقد وجد أن قوام التربة (طمي رملي) وتراوحت نسبة الرمل من 65.12 و58%، بينما تراوحت نسبة السلت بين 16 و23.12%، وكانت نسبة الطين 18.88% لعمق من 0 إلى 120 (سم). كما تم تقدير السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم، وفقا ليحيى وسليمان (1981). وقد تراوحت السعة الحقلية بين 18.7و 21.6% حجمياً، بينما تراوحت نقطة الذبول بين 7و8.02 % حجمياً لعمق من 0 إلى 120(سم). كما قدر معدل الرشح بطريقة الاسطوانتين (Double Ring) وفقا ليحيى وسليمان (1981) وكان متوسط معدل الرشح للتربة 30.85 (مم/ساعة).

تم تقدير بعض الخصائص الكيميائية للتربة باستخدام مستخلص التربة (1:1)، والتي شملت كلاً من درجة التفاعل pH تم تقدير درجة التفاعل بواسطة جهاز(Meter) pH (Black (1965)؛ وEaton (1995)، وكذلك درجة التوصيل الكهربي EC والتي قدرت لمستخلص العجينة المشبعة باستخدام جهاز التوصيل الكهربائي (Chapman and Prat, 1961) بالإضافة إلى تحليل وتقدير بعض العناصر الكيميائية المتواجدة في تربة منطقة الدراسة والتي شملت كلاً من الكالسيوم، والماغنيسيوم، والزنك، وكذلك الحديد، والجدول (2) يوضح الخواص الكيميائية لتربة منطقة الدراسة.



شكل (1): موقع منطقة الدراسة (Google Earth).

جدول. (1): الخواص الطبيعية لتربة منطقة الدراسة.

العمق (سم)	الكثافة الحقيقية (جم/سم^3)	الكثافة الظاهرية (جم/سم^3)	القوام (طمي رملي)			معدل الرشح (مم/ساعة)	السعة الحقلية حجمياً %	نقطة الذبول الدائم حجمياً %
			طين %	سلت %	رمل %			
30-0	2.44	1.4	18.88	23.12	58	30.85	21.6	8.02
60-30	2.44	1.3	18.88	20	61.12	-	19.2	7.21
90-60	2.44	1.2	18.88	18	63.12	-	18.9	7
120-90	2.44	1.2	18.88	16	65.12	-	18.7	7.20

جدول (2): الخواص الكيميائية لتربة منطقة الدراسة.

العمق (سم)	pH	ECميكرو (سيمنز/سم)	Ca (ppm)	Fe (ppm)	Zn (ppm)	Mg (ppm)
30-0	7.4	555	15.51	2.12	0.47	0.64
60-30	7.6	1145	22.31	1.82	0.28	1.05
90-60	7.7	938.5	19.38	1.50	0.41	1.03
120-90	7.7	802.5	16.42	1.69	0.70	0.91

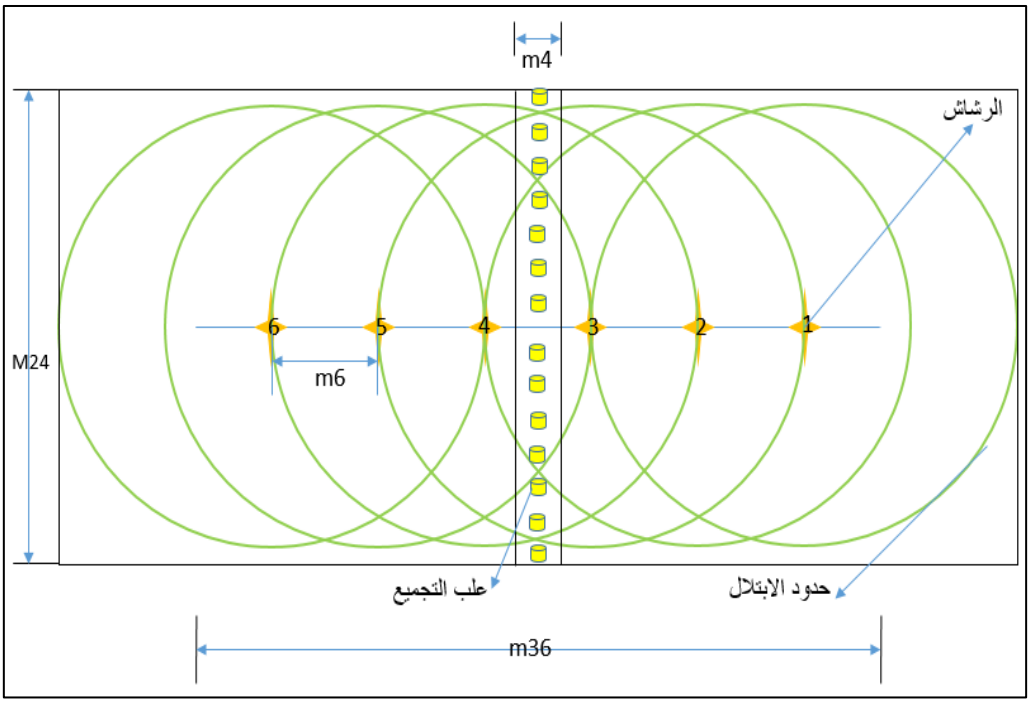
ثالثاً: المعاملات الزراعية وآلية الزراعة

تم اختيار محصول الفلفل الحار نوع (Capsicum annuum L.) صنف Starter حيث يتصف هذا الصنف بإنتاجيته العالية ومقاومته للأمراض، بالإضافة إلى قبوله لدى أغلب المزارعين بالمنطقة. تم حراثة الحقل حراثة عميقة باستخدام المحراث الحفار وإعادة حراثتها باستخدام المحراث القلاب المطرحي ثم تهيئة الأرض وتسويتها لتصبح جاهزة لزراعة الشتول. ومن تم زراعة الشتلات بتاريخ 11 مايو 2018 بحيث بعدت الشتلات عن بعضها 50 (سم)، وكانت المسافة بين الأسطر 80 (سم)، بعد ذلك تم ترقيع الأماكن التي لم تنمو بها الشتلات بشتلات بديلة. كما أجريت عملية العزيق باستمرار لإزالة الأعشاب

ومنع نموها بإجراء عزقه سطحية خفيفة كي لا تتضرر الجذور المتواجدة في الطبقة السطحية من التربة وتم تكرار العملية عدة مرات خلال موسم النمو للمعاملات أيضاً، تم إضافة سماد مركب (16 -8 -24) بعد عقد الثمار بالإضافة الي رش النبات بعنصر الكالسيوم لظهور أعراض نقصه على النبات.

1-تخطيط وتصميم نظام الري

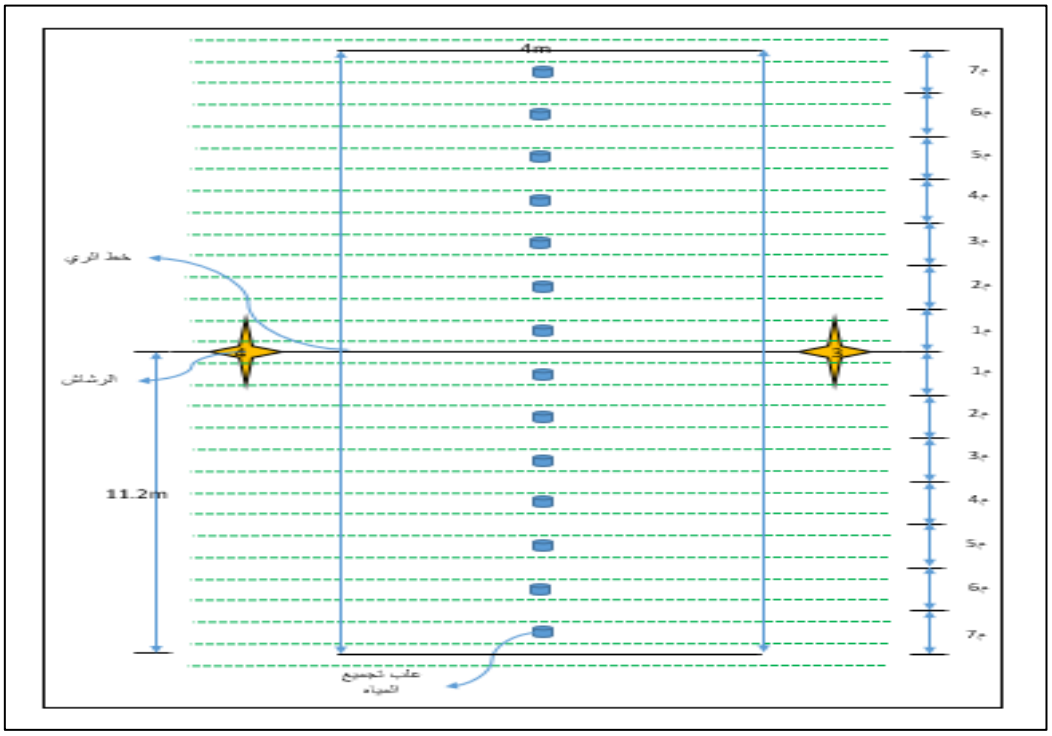
أشار Bresler وآخرون، (1982) إلى أنه بالإمكان استخدام نظام الري بالرش من مصدر خطي بشكل فعّال لدراسة تأثير كميات مختلفة من المياه المضافة على المحصول، وتقليل المساحة الأرضية المطلوبة لمثل هذا النوع من التجارب. صممت التجربة على أساس مصدر الخط الواحد على النحو الموضح في شكل (2). حيث وضع خط الري المصنوع من البولي إيثلين بقطر (2 بوصة) ويتحمل ضغط (10 بار) في وسط الحقل في اتجاه موازٍ للاتجاه السائد لحركة الريح في موقع التجربة لضمان تساوي توزيع ماء الري على جانبي الخط، وركبت الرشاشات من نوع (Zenith©) فوق حوامل بارتفاع (1 متر) عن سطح التربة وعلى مسافة (6 أمتار) من بعضها البعض على طول خط الري بحيث تعطي معدلات رش تتناقص خطياً بالابتعاد عن موقع الخط من الجانبين حتى نهاية نصف قطر الابتلال للرشاشات. ويوضح شكل (3) نظام توزيع ماء الري على جانبي الخط بطول الحقل، حيث أعطت الرشاشات التي تم اختيارها عند ضغط التشغيل الأمثل (50 باوند / البوصة المربعة) نصف قطر تغطية يصل إلى 12 متر؛ روعي في تحديد المسافة الفاصلة بين الرشاشات واختيار أحجامها أن تعطي هذه الرشاشات توزيعاً متساوياً لعمق ماء الري في الاتجاه الموازي لخط الري. وتم تقسيم المسافة الواقعة على كل جانب من جانبي الخط إلى 7 معاملات مائية بعرض (4 أمتار) للمعاملة الواحدة بموازاة خط الري داخل الحقل، بحيث تستقبل المعاملة الأقرب لخط الري كافة احتياجاتها المائية دون تعرضها لأي إجهاد مائي قد يخفض من إنتاجيتها القصوى المحددة وراثياً.



شكل (2): مخطط تصوري للتجربة.

أما أبعد معاملة عن الخط فهي لا تستقبل كميات من مياه الري تكاد تكون منعدمة وتعتبر معاملة بعلية أو جافة إلى حد ما، وهي بذلك معرضة لإجهاد مائي شديد أثناء فترة نموها. وتستقبل المعاملات الواقعة بين المعاملة الرطبة والمعاملة الجافة كميات مختلفة من الماء تمثل نسباً متناقصة من احتياجاتها المائية الكلية، وتختلف هذه الكميات حسب موقع المعاملة من خط الري بحيث تقل تدريجياً بالابتعاد عن المعاملة الرطبة والاقتراب من المعاملة الجافة. حددت أبعاد هذه المعاملات المختلفة داخل الحقل بخيوط بلاستيكية

متينة مثبتة بأوتاد حديدية بطول الحقل حتى يتسنى تقدير المحتوى الرطوبي للتربة عند بداية التجربة ونهايتها على طول عمق قطاع التربة بالطريقة الوزنية عند أعماق مختلفة تبدأ من عمق 30 (سم) تحت سطح التربة وتمتد إلى عمق 120 (سم) وتؤخذ قراءة واحدة كل 30 (سم). وتمثل كل قراءة متوسط المحتوى الرطوبي لعمود من التربة عمقه 30 سم ومركزه محل القراءة. ثم تقاس كمية مياه الري التي تستقبلها كل معاملة بعد كل رية بقياس حجم الماء الساقط في علبة الصفيح أسطوانية الشكل بقطر 10 (سم) وارتفاع 14 (سم). وبعد قياس حجم الماء المتجمع باستعمال أسطوانة زجاجية مدرجة يحول هذا الحجم إلى عمق ماء الري الذي تم نشره وتوزيعه على الحقل عند كل معاملة. كما تم تقدير كميات الأمطار باستخدام علب الصفيح في حدود منطقة التجربة مع مراعاة عدم وصول مياه الري إليها.



شكل (3): توزيع علب التجميع على جانبي الخط.

حساب الاحتياجات المائية

حسبت كمية الماء التي استهلكها المحصول في عمليتي البخر والنتح أثناء الفترة الزمنية لموسم النمو بين بداية زراعة الشتلات وموعد الحصاد بطريقة الموازنة المائية التي تمثلها المعادلة الهيدرولوجية الآتية:

$$ET = I + R - D \pm \Delta\theta \quad (1)$$

حيث تمثل ETمعدل البخر والنتح (مم)، وI عمق ماء الري(مم)، وR عمق مياه الأمطار (مم)، وD عمق مياه الصرف (مم)، وΔθالتغير في المحتوى الرطوبي للتربة (مم).

تم تقدير كميات المياه المراد إضافتها للمعاملة التي لا يجب أن تتعرض لإجهاد مائي عبر حساب البخر نتح للمحصول وذلك بالاعتماد على طريقة حوض البخر (Evaporation Pan) والذي تم اقتراحه من قبل Doorenbos وPruitt (1977). بالإمكان كتابة المعادلة التي يتم من خلالها تقدير كمية البخر-نتح باستخدام حوض البخر على النحو التالي:

$$ET_o = K_p \times E_{pan} \quad (2)$$

حيث:ET_o: البخر-نتح المرجعي (مم/يوم)، E_{pan} البخر من الحوض (مم/يوم)، K_p: معامل الحوض. (بدون وحدات).

ووفقاً لهذه الطريقة فإن البخر-نتح للمحصول يحسب على النحو التالي:

$$ET_C = K_C \times ET_O \quad (3)$$

حيث:تمثل ET_c : البخر-نتح للمحصول (مم)، ET_o البخر-نتح المرجعي (مم)،K_c معامل المحصول، والذي يعتمد بدوره على مراحل نمو المحصول المختلفة. روعي أثناء تصميم التجربة تفادي حدوث أي تسرب عميق لمياه الري إلى خارج منطقة الجذور حتى يمكن إهمالها نظراً لصعوبة قياسها حقلياً، ولقد تم ذلك بتحديد عمق قراءات التغير في المحتوى الرطوبي للتربة بحيث تشمل هذه القراءات عمقاً أكبر من عمق الجذور الفعال حتى يمكن حصر أي تسرب عميق محتمل لمياه الري داخل عمق التربة المقاس. كما إن كمية المياه الموزعة على المعاملة الرطبة الأقرب لخط الري أثناء كل رية يجب ألا تتعدى كمية المياه اللازمة لجعل المحتوى الرطوبي للتربة عند هذه المعاملة في حدود السعة الحقلية داخل منطقة الجذور.

2-محتوى الماء النسبي في الورقة (LRWC)

تم تقدير محتوى الماء النسبي في الورقة (LRWC) عند كل معاملة وذلك بعد مرور 80 يوم من الزراعة، كما هو موضح من قبل (Smart and Bingham, 1974)؛ وفق الآتي: حدد الوزن الطازج (FW) من عينة مختلطة من خمسة أوراق نشطة من كل نبات. كما حدد وزن الأوراق عند الامتلاء (TW) وذلك بعد أن وضعت الأوراق بحيث كانت مغمورة في الماء المقطر، في أطباق بتري، لمدة 48 ساعة. ومن ثم حدد الوزن الجاف للأوراق (DW) بعد تجفيفها في الفرن عند درجة حرارة 65 درجة مئوية لمدة 24 ساعة، ثم حسب محتوى الماء النسبي في الورقة وفقاً للمعادلة التالية:

$$LRWC = \frac{FW - DW}{TW - DW} \quad (4)$$

حيث تمثل LRWC محتوى الماء النسبي للورقة، FW الوزن الطازج للورقة (جم).TW : وزن الورقة مملوءة بالماء (جم).DW الوزن الجاف للورقة (جم).

3-جمع العينات المحصولية

عند أول حصدة بعد 80 يوم من بداية الزارعة تم حصاد كل معاملة على حدة، وتم تسجيل الوزن الطري للثمار وعدد الثمار وتم تكرار الحصاد حيت كانت أول حصده يوم 30 يوليو والحصدة الثانية بتاريخ 27 أغسطس أي بعد 109 يوم من بداية الزراعة بينما تم تجميع الحصدة الثالثة يوم 27 سبتمبر بعد 140 يوم من الزراعة وتم تجميع الحصدة الرابعة 18 أكتوبر بعد 161 يوم من الزارعة بينما تم تجميع الحصدة الخامسة يوم 15 نوفمبر بعد 189 يوم والحصدة السادسة يوم 2 ديسمبر بعد 206. كما تم قياس ارتفاع النبات وذلك يوم 18 أكتوبر لخمسة نباتات من كل معاملة، باستخدام شريط قياس لقياس ارتفاع النبات من سطح التربة إلى أعلى قمة نباتية في المجموع الخضري.

4-استجابة المحصول للري

طور Doorenbos وKassam (1979) مفهوم معامل الاستجابة للإنتاجية (K_y) لوصف العلاقة بين النقص في البخر-نتح وانخفاض الإنتاجية. في هذه المقاربة فإن Doorenbos وKassam عبرا عن الانخفاض في الإنتاجية والنقص في معدلات البخر-نتح بصيغ نسبية وذلك بالاعتماد على أقصى إنتاجية للمحصول Y_m والتي تتطابق مع قيم البخر-نتح عند أقصى إنتاجية (ET_m) وبالتالي فقد تم اشتقاق صيغة لوصف الانخفاض النسبي في الانتاجية كما في المعادلة:

$$1 - \left(\frac{Ya}{Ym}\right) = Ky\left(1 - \frac{ETa}{ETm}\right) \quad (5)$$

حيث:

K_y = معامل استجابة المحصول،Y_a الإنتاجية الفعلية في حالة الري الناقص (كيلوجرام/هكتار) ، Ym الإنتاجية القصوى عند معاملة الري الكامل في حالة عدم وجود اجهاد مائي (كيلوجرام/هكتار) ،ET_a. الاستهلاك المائي (الفعلي) نتيجة الاجهاد المائي (مم/هكتار) ، ET_m الاستهلاك المائي الأقصى للري الكامل في حالة عدم وجود الاجهاد المائي (مم/هكتار).

ثالثاً: الدوال المائية الممكنة

إن الحقيقة المترسخة والمعروفة في المراجع العلمية تنص على أن العلاقة بين إنتاجية المحصول وكمية المياه المستهلكة والمتمثلة في البخر نتح هي علاقة خطية، وذلك على النحو الذي وصفه Doorenbos وKassam 1979. حيث مثلت الدالة المائية للمحصول على أساس نسبي عبر استخدام معامل الاستجابة للمحصول (Ky) والذي يعرف على أنه ميل العلاقة الخطية بين الانخفاض النسبي للبخر نتح والانخفاض النسبي لإنتاجية المحصول على أساس موسمي. هناك العديد من البحاث أدركوا أن هناك اختلافاً في تأثير النقص في البخر نتح على الإنتاجية بين مختلف المحاصيل النامية خلال جميع مراحل نموها. وبالتالي فقد تم تطوير بعض النماذج لتقدير التأثيرات المختلفة للنقص في البخر نتح عبر مراحل النمو على الإنتاجية (Rao وآخرون،1988؛ Igbadun وآخرون،2007).

إن دوال الإنتاج المائية الممكن استخدامها في عمليات التحليل قد تكون على صيغة دالة خطية، وذلك على النحو الذي تمثله المعادلة (6). إن استخدام مثل هذه الدالة في عمليات التحليل تصبح محدودة مقارنة بالدالة غير الخطية والذي تمثله الدالة متعددة الحدود من الدرجة الثانية والذي تمثله المعادلة (7). حيث إن الدالة الخطية لا يمكن استعمالها بكفاءة عالية لأجراء التحاليل الاقتصادية أو لإيجاد كمية المياه المراد اضافتها. وذلك لأنه لا توجد نقطة قصوى على الخط الذي يمثله هذا النوع من الدوال. وعلى نحو مغاير، فإن الدالة متعددة الحدود من الدرجة الثانية يمكن توظيفها لإجراء التحاليل الاقتصادية وذلك لدقتها وبساطتها وسهولة التعامل معها رياضياً Helweg (1991).

$$Y = aW + b \quad (6)$$

$$Y = a + bW + cW^2 \quad (7)$$

حيث:

Y: الإنتاجية (طن/هكتار).

W: كمية مياه الري ($م^3$/هكتار).

a، b، c: معاملات الانحدار.

1- مؤشرات الاستهلاك المائي للمحصول

تم الاعتماد في هذه الدراسة بعض مؤشرات المستخدمة لتقييم الاستهلاك المائي للمحاصيل والمتمثلة في العائد الإنتاجي لوحدة الحجم من مياه الري Cwp وكفاءة استعمال المياه WUE.

توضح المعادلات الاتية الصيغ الرياضية لهذه المؤشرات كما اوردها خماج، المحضي (2016).

$$Cwp = \frac{Y}{I} \quad (8)$$

$$WUE = \frac{Y}{ET_C} \quad (9)$$

حيث:

Y: الانتاجية الكلية للمحصول (كجم/هكتار).

I: مياه الري الكلية المضافة ($م^3$/هكتار).

ETc : البخر نتح المحصول ($م^3$/هكتار).

رابعاً: التحليل الإحصائي

لإجراء التحاليل الإحصائية تم استخدام برنامج (MINITAB 14) وذلك لغرض تحليل التباين بين العينات، بالإضافة إلى تحليل الانحدار، ولإيجاد الفروقات بين المتوسطات تم استخدام اختبار (LSD) وأجريت الاختبارات عند مستوى معنوية 0.05.

النتائج والمناقشة

1- الموازنة المائية لماء التربة

يوضح الشكل (4) التغيرات في رطوبة التربة في منطقة الجذور لنبات الفلفل خلال كامل مراحل نمو المحصول، وجد أن متوسط المحتوي الرطوبي المبدئي للتربة كان (18، 19، 19، 16، 18، 20، 18 مم) أما متوسط المحتوي الرطوبي النهائي عند الحصاد فكان (33، 32، 30، 25، 24، 23، 20

مم)، لكل من المعاملة الأولى والثانية والثالثة والرابعة والخامسة والسادسة والسابعة، على التوالي. حيث تم حساب التغير في محتوي رطوبة التربة على أساس أنه الفارق بين المحتوي الرطوبي الأولي والنهائي؛ بحيث كانت قيم التغير في المحتوي الرطوبي تتراوح بين 2 إلى 15 (مم) وذلك للمعاملات الاولي والسابعة. إن التغيرات في المحتوي الرطوبي للتربة تم استخدامه لتحديد الموازنة المائية في التربة لمحصول الفلفل يوضح الجدول (3) الموازنة المائية لمختلف المعاملات، وعلى هذا الأساس فإن الإمداد المائي كمدخلات اعتمد على مياه الري المضافة ومياه الأمطار، كما تم تقدير التغير في المحتوي الرطوبي في التربة مع إهمال الجريان السطحي والذي لم يتم ملاحظته خلال عمليات الري كانت قيم البخر-نتح العظمى والصغرى 795 (مم)، 238 (مم) وذلك للمعاملة الأولي والسابعة، على التوالي. إن قيمة معدل البخر-نتح المتحصل عليها من حسابات معادلة الموازنة المائية 795 (مم) تقترب من قيمة معدل البخر نتح المتحصل عليها من حوض البخر 731 (مم) وبنسبة اختلاف 8 %.

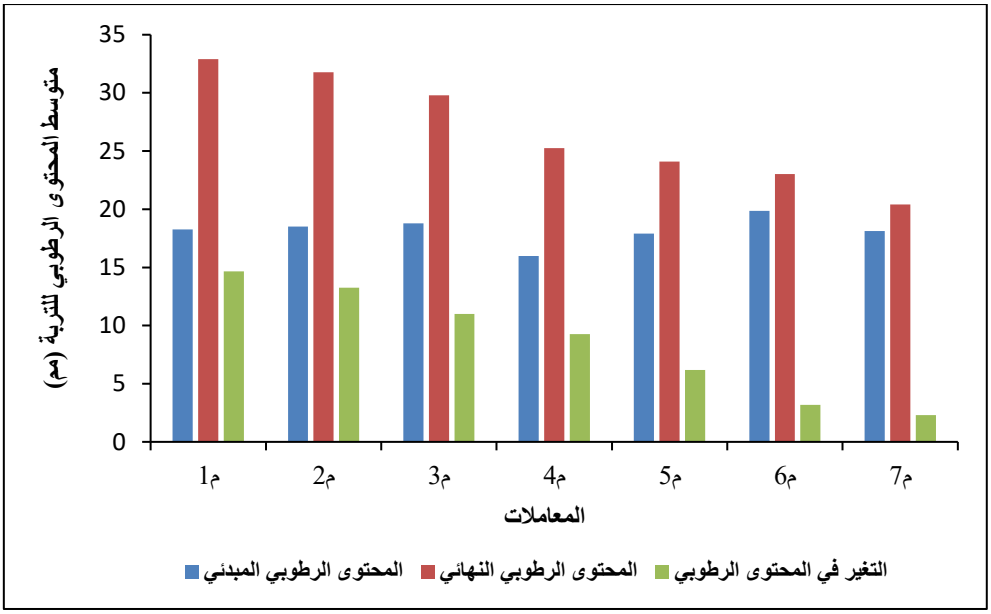
كذلك، فإن معاملات الري الناقص من شأنه أن يؤدي إلى انخفاض البخر والنتح وذلك وفقا لمعاملات الري المختلفة حيث لوحظ أن قيمة معدل البخر-نتح للمعاملة الأولى كانت 795 (مم)، كما كانت النسبة المئوية للانخفاض في معدلات البخر-نتح بالنسبة للمعاملة الأولي (أقصى بخر-نتح للمحصول) هي (75، 63، 45، 32، 19، 6%) وذلك للمعاملة الثانية، الثالثة، الربعة، الخامسة، السادسة، السابعة، على التوالي. وسبب الانخفاض في معدلات البخر-نتح ناتج عن انخفاض الامدادات المائية للمحصول والذي يساهم بدرجة أساسية في تخفيض البخر-نتح وهو ما يتفق مع دراسة Taleb وآخرون، (2022).

2- تأثير مستويات الري في المعاملات المختلفة على ارتفاع النبات

يعرض الجدول (4) نتائج التحليل الاحصائي لبيانات ارتفاع النبات لمعاملات المختلفة، حيث أشارت النتائج إلى وجود تأثير معنوي لمستويات مياه الري على ارتفاع النبات، حيث أدى انخفاض مستويات الري إلى انخفاض ارتفاع النبات بشكل تناقصي، حيث كان متوسط ارتفاع النبات في المعاملة الأولي 78.20 (سم)، وشهدت متوسطات ارتفاع النبات هبوطاً ملحوظاً من المعاملة الرابعة حتى المعاملة السابعة، حيث تناقصت متوسطات ارتفاع النبات إلى 59.5، 54.5، 36.40، 20.7 (سم) وذلك للمعاملات الرابعة والخامسة والسادسة والسابعة، على التوالي. إن تناقص ارتفاع النبات بفعل تأثير انخفاض مستويات الري قد يعزي ذلك إلى التغيرات المورفولوجية والتشريحية، والتي تلاحظ على المحاصيل المتعرضة للإجهاد المائي، Kramer (1983). وأبرز ما تشمله هذه التغيرات هي صغر الورقة وقلة عدد الخلايا فيها. ومثل هذه التأثيرات السلبية للإجهاد المائي يتمثل في تأثير انخفاض مستويات الري على ارتفاع النبات، ولوحظت مثل هذه التأثيرات على نباتات أخرى مثل نبات الطماطم كريم وآخرون، (2016). أيضاً، كما لاحظ ذلك Kabir وآخرون، (2021). حيث ازداد متوسط ارتفاع النبات الفلفل (bell pepper) مع زيادة مستويات الري.

3- تأثير مستويات الري في المعاملات المختلفة على المحتوى النسبي لماء الورقة

أظهرت نتائج التحليل الاحصائي للمحتوى النسبي لماء الورقة أن هناك تأثيراً معنوياً للمعاملات المائية على نسبة احتواء الورقة من الماء، حيث كان هناك تأثيراً معنوياً عند مستوي (0.05). هذا وقد أظهرت نتائج تحليل الفروق بين متوسطات قيم المحتوي المائي للورقة أن هناك فروقاً معنوية بين المعاملة الأولي والرابعة والخامسة والسادسة، حيث أدى انخفاض مستويات مياه الري إلي انخفاض نسبة الماء في الورقة، كما أظهرت النتائج أن الفروقات كانت معنوية أيضاً بين متوسطات المعاملة الثانية والرابعة والخامسة والسادسة، كذلك للمعاملة الثالثة مع الخامسة والسادسة، وفي المعاملة الخامسة مع السادسة وذلك على النحو الموضح بالشكل (5)، والذي يبين أن هناك انخفاض في نسبة المحتوي الماء في الورقة نتيجة لانخفاض مستويات مياه الري والذي أدى بدوره إلي حدوت اجهاد مائي مع انخفاض مستويات مياه الري والذي لوحظ في الفلفل Shao وآخرون، (2011)؛ وفي محاصيل أخرى مثل نبات الطماطم والشعير Sade وآخرون، (2015)، ومع نبات البصل كما أشار إليه Aziz وآخرون، (2022). إن هذا الانخفاض في نسبة محتوى الورقة من الماء قد يؤدي بدوره إلى تأثيرات على انخفاض في إنتاجية نبات الفلفل، لما للماء من دور حيوي وهام في النبات.



شكل (4): العلاقة بين المحتوي الرطوبي المبدئي والنهائي لمعاملات الري المختلفة.

جدول (3): الموازنة المائية في منطقة الجذور لمعاملات الري المختلفة.

المعاملة	مياه الري عمق (مم)	التغير في المحتوي الرطوبي ±Δθ (مم)	الأمطار (مم)	الجريان	ET (مم)
1م	754	15	56	0	795
2م	703	13	56	0	746
3م	617	11	56	0	662
4م	508	9	56	0	555
5م	414	6	56	0	464
6م	293	3	56	0	346
7م	184	2	56	0	238

4- تأثير مستويات الري في المعاملات المختلفة على متوسط عدد الثمار

يوضح الجدول (5) متوسط عدد الثمار الكلي وذلك وفقاً لكل معاملة ري. حيث يلاحظ تأثير انخفاض متوسط عدد الثمار الكلي مع النقص في متوسط كميات مياه الري المضافة. تم الحصول على متوسط أكبر عدد كلي من الثمار (196/ نبات) وذلك في المعاملة الأولى (م1)، في حين كان أقل متوسط عدد كلي من الثمار (1/ نبات) في المعاملة الأخيرة (م7). إن ارتفاع متوسط عدد الثمار الكلي في أغلب المعاملات قد يعزى إلى ارتفاع عدد الحصدات التي تم تطبيقها في هذه الدراسة، بالإضافة إلى أن عملية الحصاد لم تراعى فيها استبقاء أي من الثمار مهما كانت صغيرة الحجم؛ حيث أشارت بعض الدراسات إلى أن عدد الثمار لكل نبات قد يتراوح بين (70 -90) ثمرة وذلك للحصدة الواحدة كما أشار إلى ذلك دراسة Mahmood وآخرون، (2021). وفي دراسة Mardani وآخرون، (2017) عن تأثير الاجهاد الرطوبي على الاستجابة الفسيولوجية للفلفل وجد أن عدد الثمار للفلفل قد تناقص من (1 ثمرة/نبات) إلى (142 ثمرة/نبات) عند الري الكامل إلى 42 ثمرة/نبات عند انخفاض الري بنسبة 60% وذلك للحصدة النهائية.

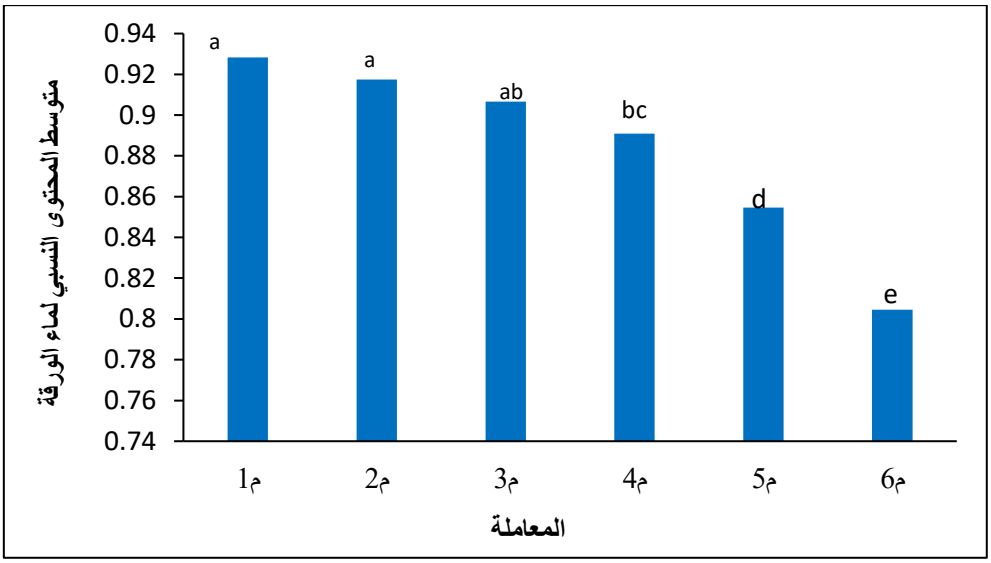
جدول. (4): ارتفاع النبات لمعاملات الري المختلفة.

معاملات الري	متوسط ارتفاع النبات (سم)
1م	78.16a
2م	76a
3م	70.08ab

59.5b	م4
54.5c	م5
36.41c	م6
20.66d	م7

(*المتوسطات التي لا تشترك في حرف واحد يوجد بينها فروق معنوية عند مستوى 5% وفقا لاختبار LSD)

يبين الشكل (6) العلاقة بين متوسطات كميات مياه الري المضافة ومتوسط عدد الثمار الكلي، حيث أخذت تلك العلاقة شكل الدالة الخطية، بحيث تزايد متوسط عدد الثمار الكلي بمعدل 0.348 ثمرة لكل زيادة وحدة واحدة من متوسط مياه الري المضافة ($م^3$). لقد تم ملاحظة انخفاض عدد ثمار الفلفل الكلي لكل نبات مع الزيادة في نقص مياه الري من قبل Pellitero واخرون، 1993؛ Gencoglan واخرون،2006). كما وجد Khani وآخرون، (2008) أن تعرض نبات الفلفل للإجهاد المائي الناشئ عن نقصان الرطوبة في التربة يؤدي إلى انخفاض عدد الثمار الكلي. كما لوحظ أن نمط العلاقة بين عدد الثمار ومتوسط الاستهلاك المائي للمحصول أخذ شكل العلاقة الخطية وأن عدد الثمار يتزايد بمعدل 0.433 ثمرة لكل زيادة وحدة واحدة من الاستهلاك المائي. إن ارتفاع عدد الثمار لكل نبات مع الزيادة في كمية مياه الري لوحظ أيضاً من خلال دراسة Ertek وآخرون، (2007) والذي أشار إلى أن ارتفاع عدد الثمار مؤشر جيد على زيادة الانتاجية.



شكل (5): متوسط المحتوى النسبي لماء الورقة لمعاملات الري المختلفة.

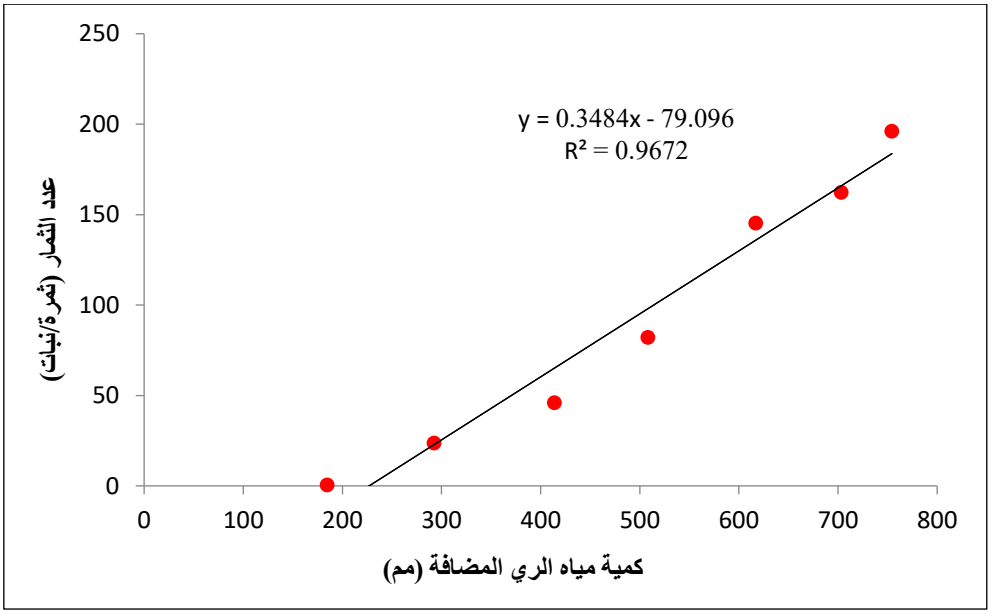
(*المتوسطات التي لا تشترك في حرف واحد يوجد بينها فروق معنوية عند مستوى 5% وفقا لاختبار LSD)

جدول (5): متوسط عدد الثمار (ثمرة/ نبات)، ومتوسط مياه الري المضافة (مم/هكتار) *.

متوسط مياه الري المضافة (مم)	متوسط عدد الثمار الكلي/ نبات
754	196^a
703	162^b
617	145^c
508	82^d
414	46^e
293	24^f
184	1^g

(*المتوسطات التي لا تشترك في حرف واحد يوجد بينها فروق معنوية عند مستوى 5% وفقا لاختبار LSD)

لقد تم مقارنة عدد ثمار الفلفل تحت أنظمة ري مختلفة تضمنت الري بالرش، والري بالأخاديد، والري بالأحواض، والري بالتنقيط من قبل Gencoglan وآخرون، (2002) حيث أظهرت نتائج هذه المقارنة، ارتفاع عدد الثمار في نظام الري بالرش، ثم الري بالتنقيط، ثم الري بالأحواض وأخيراً الري بالأخاديد. وقد يعزي الارتفاع في متوسطات عدد الثمار تحت نظام الري بالرش إلى انخفاض عدد ساعات الري والتي تساهم في اتمام عملية تلقيح الزهرات، بالإضافة إلى كون نبات الفلفل من النباتات غير محددة النمو (indeterminate plants)، حيث أنها تحتفظ بالأزهار وتنتج الثمار طالما سمح الطقس بذلك، Hendrickx وWierenga (1985). إن الظروف المناخية السائدة في منطقة الدراسة من ارتفاع ساعات السطوع وارتفاع درجات الحرارة وانخفاض سرعات الرياح وقت إجراء التجربة مع اختلاف المعاملات المختلفة من مياه الري ساهمت بشكل كبير في انجاح انتاج الثمار بشكل ملحوظ وكبير، وهذا ما أثبتته دراسة Koh و Oh ،(2019) عن تأثير الأنظمة الحرارية المختلفة على خصائص النمو لثمار الفلفل في بيئة مغلقة بينت أنه بعد مرور 100 يوم من الانبات تم حصاد المحصول وكان عدد ثمار الفلفل لكل نبات 38.8، 47.2، 51.6 و 70.2 (ثمرة/نبات) عند درجات حرارة 15، 20، 25، 30 درجة مئوية، على التوالي.



شكل (6): العلاقة بين متوسطات كميات مياه الري المضافة ومتوسط عدد الثمار الكلي.

5- تأثير مستويات الري في المعاملات المختلفة على الانتاجية الكلية

فيما يتعلق بالإنتاجية الكلية، يعرض الجدول (6) متوسط انتاجية الفلفل الكلية (كجم/هكتار) وذلك لكل معاملة من معاملات الري المختلفة. حيث تبين النتائج أن أقصى متوسط لإنتاجية الفلفل بلغت 71.3 (طن/هكتار) وذلك للمعاملة (م1) والتي كانت فيها كمية مياه الري المضافة 7544 (متر^3/هكتار). كما تناقصت الانتاجية مع الانخفاض في كميات مياه الري المضافة. حيث كان متوسط قيم الانخفاض في الانتاجية عن متوسط الانتاجية العظمى 19.2، 27.5، 48.1، 59.6، 65.9، 71.2 (طن/هكتار) وذلك عند انخفاض متوسط كمية مياه الري المضافة عن تلك المناظرة للإنتاجية العظمى بنحو 511، 1372، 2461، 3406، 4618، 5699 (م^3/هكتار) على التوالي، وهذا يتفق مع ما أشار إليه كل من Doorenbos وKassam،1977؛ Chartzoulakis وDrosos، 1999؛ Gencoglan وآخرون، 2006؛ Ayas،2019) أن إنتاجية الفلفل تتناقص مع الانخفاض في كميات مياه الري المضافة كنتيجة للإجهاد المائي عند مستويات الري المنخفضة.

إن الانخفاض في الانتاجية يعزى إلى حساسية نبات الفلفل للإجهاد المائي الناشئ عن الانخفاض في كميات الري المضافة. لقد أشار Sariyer وOztokt (2019)، إلى أن الري يلعب دوراً هاماً في انتاجية الفلفل وذلك لحساسيته للإجهاد المائي. كما أكد كل من (Vural واخرون ،2000؛ Penella وآخرون ،2014؛ Campos واخرون، 2014) على ضرورة توفر مستويات رطوبة كافية ومتاحة ومستمرة في منطقة الجذور. وأظهرت الدراسات أن العديد من محاصيل الخضراوات تزداد إنتاجيتها من الثمار خطياً مع الزيادة في كمية مياه الري المضافة، (Hutmacher وآخرون،1990؛ Smittle وآخرون، 1994)؛ أظهرت النتائج الموضحة من خلال الشكل (7)، مقاربة خطية مشابهة لما أشير إليها في دراسات (Hutmacher وآخرون، 1990؛ Smittle وآخرون، 1994،1990). حيث ازدادت انتاجية الفلفل خطياً مع الزيادة في كميات مياه الري المضافة، بحيث تزايدت متوسط الانتاجية الكلي بمعدل 0.121 (طن/هكتار) لكل زيادة وحدة واحدة من متوسط مياه الري المضافة (مم/ هكتار).

وهذا يتوافق مع ما أشار إليه De Pascale وآخرون، (2011)، في دراسته إلى أن هناك ثلاث تفسيرات محتملة على الأقل للعلاقة الخطية بين الانتاجية واستهلاك المياه من قبل المحاصيل تكمن في اشتراك غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وبخار الماء في نفس مسار الانتشار في سطح الورقة، وبناء على ذلك فيجب أن تكون الثغور مفتوحة حتى تتم عملية النتح من أجل استيعاب الكربون من الهواء المحيط بالورقة. ويتمثل التفسير الثاني في كون أن كل من فقدان الماء بعملية النتح والتمثيل الضوئي مدفوعان بامتصاص الضوء، Amthor (1999). أما التفسير الثالث فإنه مرتبط بعملية النتح التي تعمل على تبريد الأوراق والغطاء النباتي بشكل ملحوظ مما يعمل على تخفيف الإجهاد الناشئ عن ارتفاع درجة الحرارة Lu وآخرون، (1998). من ناحية أخرى، فإن نفس سمات التكيف التي تشجع النمو السريع للمحاصيل على سبيل المثال مساحة سطحية مرتفعة للأوراق، وقصر مسارات الانتشار من داخل الورقة إلى الغلاف الجوي وارتفاع توصيلها، تشجع أيضا على فقدان الماء عبر عملية النتح.

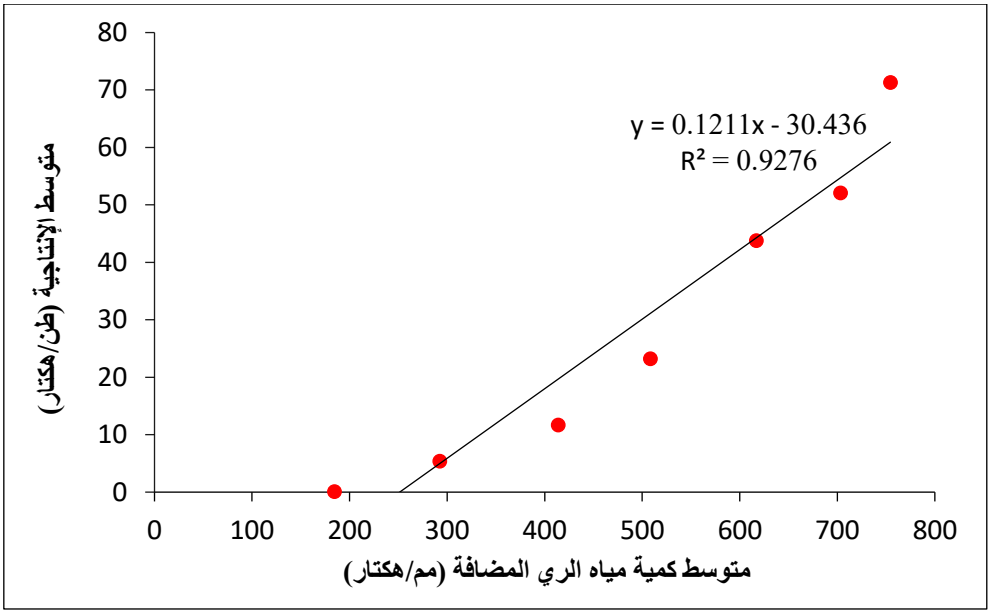
جدول (6): متوسط إنتاجية الفلفل (طن/هكتار) ومتوسط كمية مياه الري المضافة.

معاملات الري	متوسط كمية مياه الري المضافة		متوسط الإنتاجية (طن/هكتار)
	(مم/عمق)	($م^3$/هكتار)	
م1	754.4	7544	71.3a
م2	703.3	7033	52.1b
م3	617.2	6172	43.8c
م4	508.3	5083	23.2d
م5	413.8	4138	11.7e
م6	292.5	2925	5.4f
م7	184.5	1845	0.1g

(*المتوسطات التي لا تشترك في حرف واحد يوجد بينها فروق معنوية عند مستوى 5% وفقا لاختبار LSD)

6-تحليل معامل الاستجابة

معامل الاستجابة للإنتاجية (K_y) والذي يمتل قيمة الميل في العلاقة التي تربط بين النقص النسبي في البخر-نتح والانخفاض النسبي للإنتاجية في نبات الفلفل وجد أنها تساوي 1.67 وذلك في كامل موسم النمو كما في الشكل (8)، فلقد أشار Doorenbosو Kassam، (1980) إلى أن معامل الاستجابة لنبات لفلفل يساوي 1.1 لكامل موسم النمو، بينما في دراسة Dagdelen واخرون (2004)، فلقد قدر أن معامل الاستجابة لنبات الفلفل في يساوي 1.14 لمنطقة (Kapija) في تركيا وهو يشير الي تطابق هده النتائج. إن مثل هذه النتيجة تدل على ارتفاع حساسية نبات الفلفل للإجهاد المائي. فلقد أشار كل من Doorenbos وKassam، (1979) إلى أنه عند انخفاض قيمة (K_y) عن قيمة 1 فإنها تعطي دلالة على أن النبات يتحمل الاجهاد المائي.



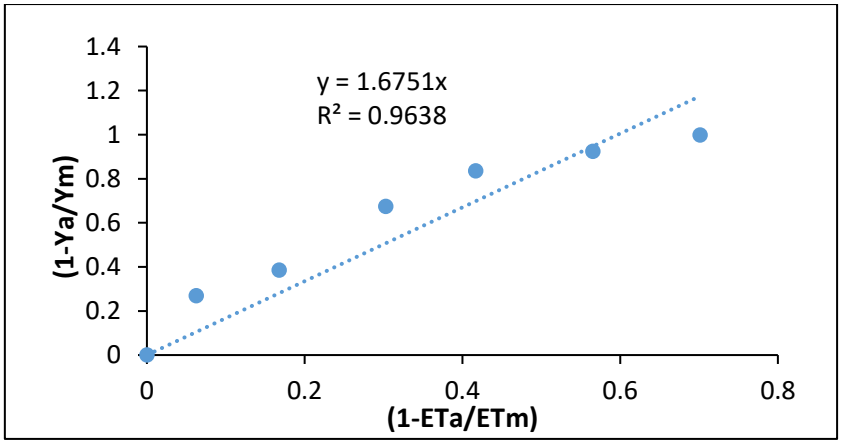
شكل (7): العلاقة بين متوسط كمية المياه المضافة ومتوسط الإنتاجية.

7- الإنتاجية المائية للمحصول

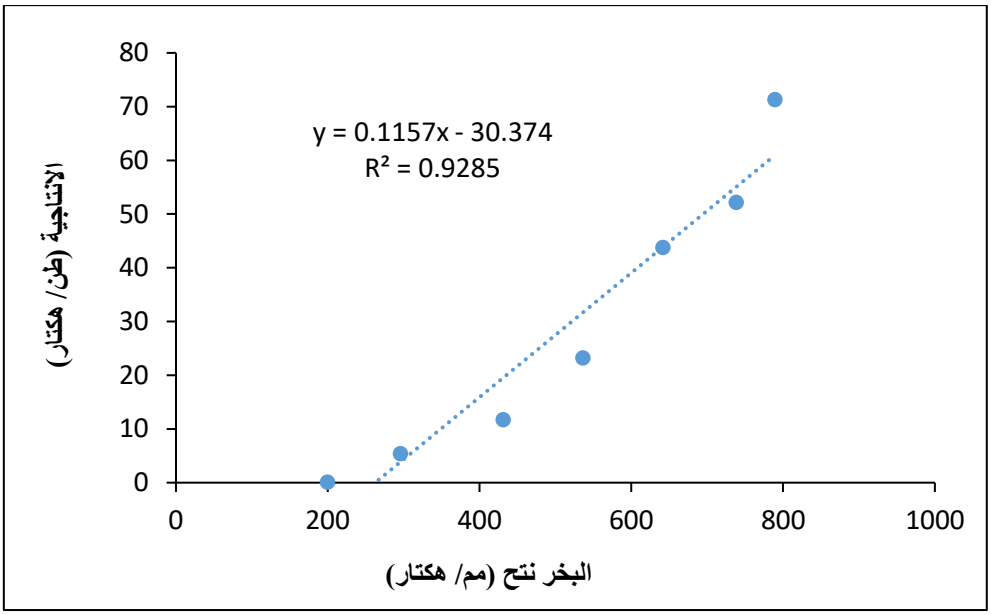
تم تقدير الإنتاجية المائية المحصولية للفلفل وذلك بناء على معادلة (Molden 1997؛ Ahmed وآخرون،2004؛ Rashid وآخرون، 2008؛ خماج والمحضي 2016). وجد هناك اختلافات في قيمة البخر-نتح للمحصول وبيانات الإنتاجية لكل معاملة من معاملات الري وذلك كما موضح في الجدول (7). حيث كان متوسط قيم كفاءة استخدام الماء WUE مرتفعة لمعاملة الري الأولى 9.45 كجم/م^3 مقارنة ببقية المعاملات والتي كانت أدناها عند المعاملة السابعة 0.054 كجم/ م^3. وكذلك الأمر بالنسبة إلى الإنتاجية المائية للفلفل Cwp والتي كانت مرتفعة عند معاملة الري الاولي بقيمة 8.97 كجم/م^3 وتتناقص عن المعاملة الرابعة لتصل الى 4.18 كجم/م^3 أما المعاملة السابعة فكانت 0.03 كجم/م^3، والمشار إليه أيضاً في الجدول (7). إن قيمة Cwp المتحصل عليها في هذه الدراسة عند المعاملة الأولى تعتبر مرتفعة مقارنة مع ما توصل إليه Aquastat-FAO (2010) لنبات الفلفل برطوبة 90% والتي كانت 4.40 كجم /م^3، ويعزي ارتفاع قيمة الإنتاجية المائية في المعاملات ذات القيمة العالية من البخر-نتح إلى ارتفاع الإنتاجية حيث كانت العلاقة بين الإنتاجية ومعدلات البخر نتح طردية، وذلك كما مشار اليه في الشكل (9).

جدول (7): الإنتاجية المائية للمحصول وكفاءة استخدام المياه.

معاملات الري	البخر نتح (مم/هكتار)	الإنتاجية (طن /هكتار)	الإنتاجية المائية (كجم/م^3)	كفاءة استخدام المياه (كجم/م^3)
م1	795	71.3	8.97	9.45
م2	746	52.14	6.99	7.40
م3	662	43.78	6.61	7.09
م4	555	23.2	4.18	4.56
م5	464	11.7	2.52	2.827
م6	346	5.39	1.56	1.84
م7	238	0.07	0.03	0.054



شكل (8): العلاقة بين النقص النسبي في البخر-نتح والانخفاض النسبي للإنتاجية.



شكل (9): العلاقة بين البخر-نتح المحصولى والإنتاجية (طن/ هكتار).

خاتمة

يُعد الفلفل (*Capsicum annuum* L.) من النباتات غير محددة النمو، ويستمر في الإنتاج طالما توفرت له ظروف بيئية مناسبة، خاصة من حيث توافر المياه. تم في هذه الدراسة تبني الاعتماد على عامل مياه الري كمحدد أساسي للنمو والإنتاجية لمحصول الفلفل باستخدام الري الناقص كأحد الخيارات الفعالة لإدارة وتحسين استخدام مياه الري. أسفرت النتائج عن انخفاض واضح وتدرجي في ارتفاع النبات، المحتوى المائي النسبي للورقة، عدد الثمار، والإنتاجية الكلية مع تناقص مستويات الري المطبقة. بلغت إنتاجية المحصول أعلى مستوياتها بـ 71.3 طن/هكتار وبكفاءة استخدام مياه مرتفعة (9.45 كجم/م^3) في حالة الري الكامل (754 مم)، في حين أدت مستويات الري المنخفضة جداً (184 مم) إلى تراجع كبير في الإنتاجية (2.1 طن/هكتار) وكفاءة استخدام المياه (0.54 كجم/م^3). كما أكد معامل استجابة المحصول للماء (Ky = 1.67) حساسية الفلفل العالية للإجهاد المائي. ويبرز الانخفاض الكبير في الإنتاجية والكفاءة تحت ظروف الري الناقص أهمية الحفاظ على توافر مياه كافية طوال فترة النمو. نظراً لكفاءة الفلفل العالية في استخدام المياه وإمكاناته الإنتاجية الكبيرة عند توافر الري المناسب، توصي الدراسة بتشجيع زراعته كبديل للمحاصيل الأخرى ذات الكفاءة المنخفضة في استخدام المياه، خاصة في المناطق ذات الموارد المائية المحدودة. كما توصي باتباع استراتيجيات ري متكاملة تهدف إلى تحقيق توازن بين توفير المياه والحفاظ على الإنتاجية لضمان استدامة الإنتاج الزراعي.

قائمة المراجع:

1. الغرياني، سعد أحمد. (2010) تقرير حول الوضع القائم لإدارة الري الزراعي في المنطقة الغربية والمنطقة الوسطى لليبيا. ورشة عمل حول نظم وإدارة مياه الري بليبيا. مركز البحوث الزراعية والحيوانية بليبيا. طرابلس، صفحة 1-17.
2. خماج، أحمد أبراهيم والمحضي، المنتصر جمعة (2015). مؤشرات استهلاك المياه لبعض المحاصيل في شمال غرب ليبيا. المجلة الليبية للعلوم الزراعية، مج. 20، ع. 1-2، ص. 84-95.
3. عبد الكريم، أمعمر سالم. (2017). تقييم جودة المياه الجوفية بمشروع سوف الجين ومدى ملاءمتها لأغراض الزراعة. رسالة ماجستير. جامعة طرابلس، كلية الزراعة، قسم التربة والمياه.
4. فهيد، فريدة عمر، البي، نوري مسعود وأحمد إبراهيم خماي. (2019). تقدير الاستخدام الأمثل لمياه الري في إنتاجية محصول الخس-مقاربة اقتصادية. مجلة جامعة مصراته للعلوم الزراعية. 1 (1): 209-217.
5. كريم، بلال مجيد والشيخلي، عبد الله حسين وحســـن، قتيبة محمد. (2016). تأثير جدولة ومعاملات الري على صفات النمو الخضري وحاصل نباتات الطماطم. مجلة الزقازيق للبحوث الزراعية، مج. 43، ع. 4، ص. 1165-1171.
6. يحيى، الطاهر أحمد وسليمان، خليل أبوبكر. (1981). الدليل المعملي لخواص التربة الطبيعية. منشورات جامعة طرابلس كلية الزراعة/ طرابلس.
7. Amthor, J.S. (1999). Increasing atmospheric CO_2 concentration, water use, and water stress: Scaling up from the plant to the landscape, p. 33–59. In: Y. Luo and H.A. Mooney (Eds.). Carbon dioxide and environmental stress. Academic Press, San Diego.
8. Ayas, Serhat. (2019). Water-Yield Relationships of Deficit Irrigated Pepper (*Capsicum annuum* L. Demre). Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 7(9): 1328-1338.
9. Aziz, Abouabdillah, Omnia El Bergu, Rachid Bouabid, Mohamed Bourioug, Youssef Brouzyine, Nabil El Jaouhari and Ahmed Bouaziz. (2022). Investigation of the Response of onion (*Allium Cepa* L.) to continuous deficit irrigation as smart approaches to crop irrigation under Mediterranean conditions. E3S Web of Conferences 337, 04001 (2022) I2CNP 2021.
10. Black, C. A.; Evans, D. D.; Ensminger, L. E.; White. J. L.; Clark. F. E. (1965). Methods Of Soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological properties. American society of agronomy. Inc, Publisher. Madison. Wisconsin. U.S.A.
11. Bresler, E., Dagan G. and Hanks, R.J., (1982). Statistical Analysis of Crop Yield Under Controlled Line Source Irrigation. Soil Science Society American J. 46:841-847
12. Campos, H., Trejo, C., Pena-Valdivia, C. B., Garcia-Nava, R., Victor Conde-Martinez, F. and Cruz-Ortega, M. R. (2014): Stomatal and non-stomatal limitations of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) plants under water stress and re-watering: Delayed restoration of photosynthesis during recovery. – Environmental and Experimental Botany 98: 56– 64.
13. Chapman, H.D. and Pratt, P.F. (1961) Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, Los Angeles, 60-61, 150-179.
14. Chartzoulakis K. and Drosos N. (1999). Irrigation requirements of greenhouse vegetables in crete. Cahiers Options Méditerranéennes, 31: 215-221.
15. Dagdelen N, Yılmaz E, Sezgin F. and Gürbüz T (2004). Effects of Water stress at different growth stages on processing Pepper (*Capsicum Annum* Cv. Kapija) yield water use and quality characteristics. Pak. J. Biol. Sci. 12(7): 2167-2172.
16. De Pascale, S., Costa, L, Vallone, S., Barbieri1, G. and Maggio, G. (2011). Increasing Water Use Efficiency in Vegetable Crop Production: From Plant to Irrigation Systems Efficiency. Hort Technology 21(3):301-308.
17. Doorenbos, J. and A.H. Kassam (1980). Yield response to water. Irrig. and drain. Bulletins 33. Food and Agriculture Organization., Rome, Italy.
18. Doorenbos, J. and Kassam. A. H. (1979). Yield Response to Water. FAO, irrigation and drainage paper no: 33, Rome, 193.
19. Doorenbos. J and Pruitt. W. O. (1977). Guidelines for predicting crop water requirements. FAO, Rome, Irrig. Drain. Paper No. 24, p 144.
20. English, M.J. and S.N. Raja. (1996). Perspective of deficit irrigation. Agric. Water Manage. 32: 1-14.

21. English, M.J., Musick, J.T. and Murty, V.V.N. (1990). Deficit irrigation. In: Management of Farm Irrigation Systems. Hoffman, G.J., Howell, T.A. and Solomon, K.H. (eds). ASAE Monograph, Michigan. pp. 631-663.
22. FAO. (2010). http://www.fao.org/nr/aquastat. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Website accessed on 05/07/2010. UNSD [United Nations Statistics Division]. 2010. International Recommendations for Water Statistics.
23. Eaton, A, D.; Clesceri, L. S and Greenberg, A.E. (1995). Standard Methods for examination Water and Wastewater.
24. Ertek. A. Sensoy. S. Gedik I. and Kucukyyumuk. C. (2007). Irrigation Scheduling for Green Pepper (*Capsicum annuum* L.) Grow in Field Conditions by Using Class- A Pan Evaporation Values. American - Eurasian J. Agric. Sci., 2(4): 349-358.
25. Gencoglan, C., Akinci, I. E., Ucan, K., Akinci, S. and Gencoglan, S. (2006a). Response of red hot pepper plants (*Capsicum annuum* L.) to the deficit irrigation, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakultesi Dergisi, 19(1): 131-138.
26. Gencoglan, C., Gencoglan, S., Akbay, C., & Boz, İ. (2006b). Deficit irrigation analysis of red pepper (*Capsicum annum* L.) using the mathematical optimisation method. Turkish journal of agriculture and forestry, 30(3), 203-212.
27. Gencoglan, C., Akıncı, İ.E., Akıncı, S., Uçan K. and Baytorun. N.A., (2002). Effect of Different Irrigation Methods (Basin, furrow, sprinkler and drip) on Pepper Yield, Quality, Water Use Efficiency and Plant Mortality Caused by Root Rot. Tubitak. Project No: Togtag / Tarp-2088.
28. Helweg, O. J. (1991). Functions of crop yield from applied water. Agronomy Journal, 83(4), 769-773.
29. Hutmacher, R.B., J.J. Steiner, J.E. Ayars, A.B. Mantel, and S.S. Vail. (1990). Response of seed carrot to various water regimes. I. Vegetative growth and plant water relations. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115:715– 721.
30. Igbadun, H.E.; Tarimo, A.K.P.R.; Salim, B.A. and Mahoo, H. F. (2007). Evaluation of Selected Crop Water Production Functions for an Irrigated Maize Crop. Agric. Water Manag. 2007, 94, 1–10.
31. Kabir, M. Y., Nambeesan, S. U., Bautista, J. and Díaz-Pérez, J. C. (2021). Effect of irrigation level on plant growth, physiology and fruit yield and quality in bell pepper (*Capsicum annuum* L.). Scientia Horticulturae, 281, 109902.
32. Khani. M. A. I, Farooque A. M, Haque M. A., Rahmi. M. A. and Hoque M. A. (2008). Effects of water stress at various growth stages on the physio-morphological characters and yield in chilli. Bangladesh J. Agril. Res. 33(3): 353-362.
33. Kramer, P.J. (1983). Water Relations of Plants. Academic Press, New York.
34. Lu, Z.M., R.G. Percy, C.O. Qualset, and E. Zeiger. (1998). Stomatal conductance predicts yields in 417 irrigated Pima cotton and bread wheat grown at high temperatures. J. Expt. Bot. 49:453–460.
35. Mahmood, T.; Rana, R.M.; Ahmar, S.; Saeed, S.; Gulzar, A.; Khan, M.A.; Wattoo, F.M.; Wang, X.; Branca, F.; Mora-Poblete, F. and Mafra. G.S. (2021). Effect of Drought Stress on Capsaicin and Antioxidant Contents in Pepper Genotypes at Reproductive Stage. Plants, 10: 1286.
36. Mardani, S., Tabatabaei, S. H., Pessarakli, M. and Zareabyaneh, H. (2017). Physiological responses of pepper plant (*Capsicum annuum* L.) to drought stress. Journal of plant nutrition, 40(10), 1453-1464.
37. Molden, D. (1997). Report on accounting for water use and productivity. SWIM, International Irrigation Management Institute, Colombo, Sri Lanka, pp.16.
38. Oh, S. Y. and Koh, S. C. (2019). Fruit development and quality of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) under various temperature regimes. Horticultural Science and Technology, 37(3), 313-321.
39. Oweis,T. and Hachum, A. (2004) .Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity of dry farming systems in west Asia and north Africa. Natural Resource Management Program, International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA). Aleppo, Syria, October, 2004.
40. Pellitero, M., Pardo, A., Simon, A., Suso M. L. and Cerrolaza. A. (1993). Effect of Irrigation Regimes on Yield and Fruit Composition of Processing Pepper (*Capsicum annuum* L.). Acta Horti. 335: 257-263.

41. Penella, C., Nebauer, S. G., Lopez-Galarza, S., San Bautısta, A., Rodrıguez-Burruezo, A. and Calatayud, A. (2014): Evaluation of some pepper genotypes as rootstocks in water stress conditions. – Hort. Sci. (Prague) 41(4): 192–200.
42. Playan, E. and Mateos, L. (2006). Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. Journal of Agricultural Water Management, 80(1-3), 100–116.
43. Rao, N.H.; Sarma, P.B.S. and Chander, S. (1988). A Simple Dated Water-Production Function for Use in Irrigated Agriculture. Agric. Water Manag. 13: 25–32.
44. Rashidi, M. and Gholami, M. (2008). Review of crop water productivity values for tomato, melon, watermelon and cantaloupe in Iran. International. Journal of Agriculture, Biology, 10: 432-436.
45. Rosegrant, M.W., CAI, X. and Cline, S. (2002). Report on Global Water Outlook to 2025: Averting an Impending Crisis. Food Policy International Food Policy Research Institute, Washington D.C., 36 pp.
46. Sade, N., Galkin, E. and Moshelion, M. (2015). Measuring Arabidopsis, tomato and barley leaf relative water content (RWC). *Bio-protocol*, *5*(8), e1451-e1451.
47. Sariyer, T. and Oztokt kuzucu, C. (2019). Effects of different irrigation levels and ProliNne treatments on organic Acids and secondary Mmtabolites of Pepper (*Capsicum annuum* L. cv. Yalova Yağlık 28). Applied Ecology and Environmental research 17(2):3305-3323.
48. Shao Guang-cheng, Guo Ruiqi, Liu Na, Yu Shuang- and Xing Weng-gang.(2011). Photosynthetic, chlorophyll fluorescence and growth changes in hot pepper under deficit irrigation and partial root zone drying. African Journal of Agricultural Research Vol. 6(19), pp. 4671-4679.
49. Smart, R.E. and Bingham, G.E. (1974). Rapid Estimates of Relative Water Content. Plant Physiology, 53: 258-260.
50. Smittle, D.A., W.L. Dickens. and J.R. Stansell. (1990). An irrigation-scheduling model for snap bean. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115:226–230.
51. Smittle, D.A., W.L. Dickens. and J.R. Stansell. (1994). Irrigation regimes affect yield and water use by bell pepper. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119:936–939.
52. Taleb, H. S. A., Suleiman, A. A., Abu-Rayyan, A. M., Ekhmaj, A. I. and Benzaghta, M. A. (2022). Effect of Water Deficiency in Different Stages of Potato (Solanum tuberosum L.) Growth. Al-Mukhtar Journal of Sciences, 37(4), 316-328.
53. Vural, H., Eşiyok, D. and Duman, I. (2000): Kultur Sebzeleri (Sebze Yetiştirme). – Ege Universitesi Basımevi. Bornova. Izmir.
54. Wierenga, P. J. and Hendrickx, J. M. H. (1985). Yield and quality of trickle-irrigated chile peppers. Agricultural Water Management, 9(4), 339-356.
55. Yang, H., Wang L., Abbaspour, K. and Zehnder, A. (2006). Virtual water and the need for greater attention to rain-fed agriculture. The International Water Association Magazine, (2), 14–15.