جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة القادسية/ كلية الاداب
قسم الجغرافية

الاحتباس الحراري والتوجه لنظام تكثيف زراعة الرز SRI

في محافظتي النجف الاشرف والقادسية

اطروحة قدمها

احمد كاظم عبدالله

إلى مجلس كلية الاداب / جامعة القادسية

وهي جزء من متطلبات درجة الدكتوراه أداب / فلسفة في الجغرافية

بإشراف الأستاذ الدكتور

حسين علي عبد الحسين

١٤٤٧هـ ٢٠٢٦ م

إقرار المشرف

اشهد ان اعداد هذه الاطروحة الموسومة (الاحتباس الحراري والتوجه لنظام تكثيف زراعة الرز SRI في محافظتي النجف والقادسية) التي تقدم بها الطالب احمد كاظم عبدالله ، قد جرى تحت اشرافي في كلية الاداب جامعة القادسية ،وهي جزء من متطلبات درجة الدكتوراه فلسفة اداب الجغرافية .

التوقيع :

الاسم: أ.د. حسين علي عبد الحسين

٤ / ١ / ٢٠٢٦

بناء على التوصيات المتوافرة . ارشح هذه الاطروحة للمناقشة

التوقيع :

الاسم : أ.د. خالد مرزوك رسن

رئيس قسم الجغرافية

٤ /١/ ٢٠٢٦

شهادة المقوم اللغوي

اشهد اني اطلعت على الاطروحة الموسومة (الاحتباس الحراري والتوجه لنظام تكثيف زراعة الرز SRI في محافظتي النجف والقادسية) والتي تقدم بها الطالب (احمد كاظم عبدالله) الى جامعة القادسية / كلية الاداب / قسم الجغرافية وهي جزء من متطلبات درجة الدكتوراه في تخصص الجغرافية قد قومتها لغوياً واجد انها صالحة للمناقشة.

الاسم : د. صلاح حسون جبار

الدرجة العلمية : أستاذ

مكان العمل : جامعة القادسية / كلية الآداب

التاريخ : ٤ / ١ / ٢٠٢٦

اقرار لجنة مناقشة رسالة الدكتوراه

جامعة القادسية/ كلية: الاداب
الدراسات العليا

نقر اننا اعضاء لجنة مناقشة طالب الدكتوراه :احمد كاظم عبيد الله----------

قسم :الجغرافية----------اطلعنا على التصحيحات والتعديلات التي تم اجرائها من قبل الطالب والتي تم اقرارها في المناقشة من قبلنا فهي جديرة بدرجة جيد جداً ---------- في ---

الجغرافية ---------- وعليه وقعنا .

اعضاء لجنة المناقشة:

ت	الاسم	اللقب العلمي	التوقيع	الصفة
1	ا.د. انتظار ابراهيم حسين	استاذ		رئيسا
2	ا.د. سلام سالم كبه هادي	استاذ		عضوا
3	أ.م.د. أحمد سعيد ياسين	أستاذ مساعد		عضوا
4	ا.م.د. انعام عبد العاصي محسن	استاذ مساعد		عضوا
5	ا.م.د. جاسم وهواع شاتي	استاذ مساعد		عضوا
6	أ.د. حسين علي عبد الحسني	أستاذ		عضوا ومشرفا

يصادق مجلس كلية الآداب / جامعة القادسية على قرار اللجنة

أ.د. نبيل عمران موسى

العميد

٢٠٢٦/٤/١٣

الآية القرآنية

❁بِسْمِ ٱللهِ ٱلرَّحْمَـٰنِ ٱلرَّحِيمِ❁

﴿وَجَعَلْنَا السَّمَاءَ سَقْفًا مَّحْفُوظًا وَهُـمْ عَنْ آيَاتِهَا مُعْرِضُونَ﴾

صَدَقَ ٱللَّهُ ٱلْعَلِيُّ ٱلْعَظِيـمُ

سورة الأنبياء: الآية ٣٢

الإهداء

إهـداء

إلى والديَّ العزيزين،

إلى تلك القلوب التي منحتني يقين الطريق،

إلى من كانوا نورًا يسبق خطاي، وسندًا يقوّيني حين يثقل الحمل .

إلى وطني العراق... إلى تربته التي أكتب لها هذا الجهد، ولأجل أمنه الغذائي ومناخه ومستقبل زراعته.

إلى عائلتي، ملاذي الأول ومصدر قوتي...

إلى زوجتي، سكن الروح، التي احتملت غيابي، وصبرت على انشغالي، وشاركتني عناء الطريق قبل فرح الوصول، فكانت سندًا ثابتًا وعونًا صادقًا في كل مرحلة.

إلى أبنائي الأحبة: مؤمّل، ومجتبى، ومحمد، ومرتجى،

بهم يتجدّد المعنى، وبوجودهم يهون التعب، ولأجلهم يستمر الطريق.

إلى كل من منحني كلمة، أو دعا لي بظهر الغيب، أو آمن أنني قادر على بلوغ الهدف.

وإلى كل باحثٍ يفتّش عن الحقيقة، ويسعى ليجعل من العلم جسراً نحو غدٍ أرحب...

أهدي هذه الاطروحة

شكر وعرفان

الحمد لله أولًا وآخرًا، ظاهرًا وباطنًا، الذي بنعمته تتمّ الصالحات، وبتوفيقه يُهتدى إلى سواء السبيل، والصلاة والسلام على سيدنا محمدٍ وآله الطيبين الطاهرين، مصابيح الدجى وسفن النجاة، الذين بهم نستنير، وعلى هديهم نسير.

أتقدّم بخالص الشكر وعظيم الامتنان إلى أستاذي المشرف الاستاذ الدكتور حسين علي عبد الحسين، لما أبداه من دعمٍ علمي متواصل، وتوجيهات رصينة، وملاحظات ثرية أسهمت في إنضاج هذه الأطروحة والارتقاء بها إلى مستوى علمي رصين. فقد كان نعم الموجّه، ونبراس العلم الذي منحني من وقته وخبرته ما لا يُقدّر بثمن.

كما أتوجّه بالشكر والعرفان إلى الأستاذ الدكتور صالح عاتي الموسوي، صاحب الفضل الكبير في مسيرتي العلمية، الذي أغنى هذا البحث بتوجيهاته الحكيمة وملاحظاته الدقيقة، وكان لدعمه المعنوي والعلمي أثر بالغ في تيسير طريق البحث وإكماله.

ولا يفوتني أن أتقدّم بأسمى آيات المحبة والتقدير إلى سندي في حياتي العلمية، الأستاذة الدكتورة نسرين عواد الجصاني، التي كانت سندًا لا يكلّ، وعونًا لا ينضب، رافقت خطواتي العلمية، وشجّعتني في أصعب المراحل، وكانت كلماتها مصدر قوة وإلهام.

كما أتقدّم بجزيل الشكر والتقدير إلى الخبير الزراعي الأستاذ خضر عباس حميد كرماشة، لما قدّمه من مشورة علمية متخصصة، وإضاءات بحثية دقيقة كان لها الأثر البالغ في ترصين الجانب الزراعي والفني لهذه الدراسة.

والشكر موصول إلى أساتذتي في قسم الجغرافية – كلية الآداب، وعلى رأسهم السيد رئيس القسم الأستاذ الدكتور خالد مروزك رسن ، لما قدّموه لي من علمٍ ومعرفة، ودعمٍ أكاديمي أصيل، ولما غرَسوه فينا من قيم البحث الجاد والالتزام العلمي.

كما أخصّ بالشكر موظفي المكتبة على تعاونهم الكريم وتيسيرهم السبل للحصول على المصادر والمراجع، مما سهل عملية البحث وجمع البيانات.

وأختم بالشكر والامتنان إلى أسرتي العزيزة، وإلى كل من ساندني ووقف إلى جانبي وشارك بكلمة طيبة خفّفت عني مشقة الطريق، وكان لحضوره أثر لا يُنسى في إكمال هذه الأطروحة.

إلى كل هؤلاء...

لكم الفضل بعد الله، ولكم أهدي هذا الجهد.

الباحث

المستخلص:

تناولت هذه الأطروحة تحليل التغيرات المناخية طويلة الأمد وتقييم انعكاساتها على ملاءمة النظم الزراعية، مع التركيز على نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في محافظتي النجف والقادسية، بوصفهما جزءًا من الإقليم شبه الجاف في العراق. وقد انطلقت الدراسة من فرضية مفادها أن التحولات المناخية المتسارعة لم تعد تمثل تقلبات دورية مؤقتة، بل تحولات بنيوية ضاغطة تستوجب إعادة تنظيم العلاقة بين المناخ والمياه والمكان، وتبنّي نظم زراعية تكيفية عالية الكفاءة.

اعتمدت الأطروحة على تحليل بيانات مناخية ممتدة للمدة (١٩٨٠–٢٠٢٣)، شملت درجات الحرارة العظمى والصغرى، وكميات الأمطار، والتبخر–النتح المرجعي(ETo) ، إلى جانب تحليل التوزيع الزماني والمكاني لهذه المتغيرات عبر أربع دورات مناخية متعاقبة. كما جرى توظيف مؤشرات كمية لقياس مستوى الملاءمة المناخية لمحصول الرز، وفي مقدمتها مؤشر الملاءمة المناخية(MSI) ، وكفاءة استعمال المياه(WUE) ، فضلًا عن استعمال أسلوب التحليل متعدد المعايير (MCDA) لتقييم بدائل التكيف الزراعي ضمن سيناريوهات مناخية مستقبلية حتى عام ٢٠٥٠.

أظهرت نتائج التحليل الزمني وجود اتجاه تصاعدي ذي دلالة إحصائية في درجات الحرارة العظمى والصغرى، ولا سيما بعد عام ٢٠٠٠، ترافق مع زيادة منتظمة في التبخر–النتح وتراجع في المطر الفعّال، ما أدى إلى اتساع العجز المائي المناخي عبر الدورات الأربع، وبلوغ أعلى مستوياته خلال دورة (٢٠١١–٢٠٢٣). وقد أسهم هذا التغير المركب في انتقال مناخ الإقليم من نمط التذبذب الدوري إلى اتجاه بنيوي ضاغط على الزراعة، انعكس بصورة مباشرة على ملاءمة زراعة الرز واستقرارها الإنتاجي.

وبيّنت نتائج مؤشر الملاءمة المناخية (MSI) حدوث تراجع تدريجي في نسبة المساحات ذات الملاءمة العالية، وانتقال أجزاء معتبرة منها إلى فئات الملاءمة المتوسطة والمقبولة، مع تباين مكاني واضح بين محافظتي النجف والقادسية. فقد سجلت محافظة النجف مستويات ضغط مناخي أعلى خلال الدورة المناخية الرابعة، انعكست في تقلص أكبر لمساحات الملاءمة العالية، في حين أظهرت بعض مناطق القادسية، ولا سيما الشمالية منها، مرونة نسبية أعلى. كما كشفت العلاقات الإحصائية عن وجود ارتباطات سالبة معنوية قوية بين ملاءمة نظام SRI وكل من درجات الحرارة المرتفعة والتبخر–النتح، في مقابل علاقات طردية مع الرطوبة النسبية، بينما بقي تأثير الإشعاع الشمسي دون مستوى التأثير الحرج مقارنة ببقية المتغيرات.

وأثبتت النتائج التطبيقية أن النظام التقليدي القائم على الغمر المستمر تجاوز الحدود المقبولة لاستهلاك المياه، مع انخفاض واضح في كفاءة استعمال المياه، ما يجعله خارج نطاق الكفاءة في

ظل المناخ شبه الجاف. في المقابل، حقق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) خفضًا ملموسًا في الاستهلاك المائي، وتحسنًا واضحًا في كفاءة استعمال المياه، مع استقرار نسبي في الإنتاج تحت ظروف الإجهاد المناخي. غير أن فعالية SRI منفردًا أظهرت تراجعًا في الأقاليم الأعلى جفافًا، وهو ما أكد أهمية دمجه مع إدارة الري بالتناوب.(AWD)

وفي هذا الإطار، أظهرت نتائج التحليل متعدد المعايير (MCDA) تفوق بديل (SRI + AWD) عبر مختلف السيناريوهات المناخية المستقبلية حتى عام ٢٠٥٠، محققًا أعلى القيم المركبة في معايير الإنتاج والمياه والاستدامة البيئية. كما تبيّن أن كفاءة استعمال المياه (WUE) كانت المتغير الأكثر تأثيرًا في ترتيب البدائل، متقدمة على المؤشرات الاقتصادية عند تغير الأوزان، وهو ما يعكس هيمنة ندرة المياه بوصفها أحد ابر تجليات التغير المناخي وعاملا حاكما في توجيه القرار الزراعي المستقبلي. وأظهرت السيناريوهات المناخية أن السيناريو المتوسط (SSP٢–٤.٥)يوفّر هامش تكيف أعلى وكلفة أقل مقارنة بالسيناريوهات الأشد، ذات الدلالة التخطيطية الزمنية المهمة.

وخلصت الأطروحة إلى أن التكيف الزراعي الأكثر كفاءة لا يتحقق عبر تغيير تقنية زراعية منعزلة، بل من خلال مقاربة تكاملية تعيد تنظيم العلاقة بين المناخ والمياه والمكان ضمن إطار مكاني–زمني واحد. وأكدت أن اعتماد نموذج (SRI + AWD) يمثل تحولًا بنيويًا من نمط زراعي استنزافي إلى نمط تكيفي عقلاني ومستدام، ويُعد شرطًا لازمًا لاستدامة زراعة الرز وتعزيز الأمن الغذائي في البيئات الجافة وشبه الجافة في العراق، مع قابلية تعميم هذا النموذج في أقاليم مناخية مماثلة.

قائمة المحتويات

ت	الموضوع	الصفحة
ـــ	الآية القرآنية	أ
ـــ	الإهداء	ب
ـــ	شكر وعرفان	ت
ـــ	المستخلص	ث- ج
ـــ	قائمة المحتويات	ح- د
ـــ	قائمة الجداول	ذ - س
ـــ	قائمة الخرائط	س
ـــ	قائمة الأشكال	ش- ص
ـــ	المقدمة	١-٣
١	الفصل الأول / الإطار النظري للدراسة ومفاهيمها	٤-٣٠
١-١	المبحث الأول: الإطار النظري للدراسة ومفاهيمها	٥-٢٦
١-١-١	مشكلة البحث	٥
١-١-٢	فرضية البحث	٥
١-١-٣	أهداف البحث	٦
١-١-٤	مبررات البحث	٦
١-١-٥	أهمية البحث	٦
١-١-٦	حدود البحث	٧-٩
١-١-٧	منهجية البحث	١٠
١-١-٨	متغيرات البحث	١٠-١١
١-١-٩	الوسائل الإحصائية المستعملة في البحث	١٢-١٣
١-١-١٠	الدراسات المشابهة (العربية والأجنبية)	١٤-١٧
١-١-١١	المفاهيم العلمية الواردة في البحث	١٨-١٩
١-١-١٢	**الأسس التطبيقية لتجربة (SRI)**	٢٠
١-١-١٢-١	مفهوم نظام تكثيف زراعة الرز (SRI)	٢٠
١-١-١٢-٢	نشأة وتطور نظام (SRI) في العراق	٢٠
١-١-١٢-٣	المبادئ الستة الأساسية لنظام (SRI)	٢١
١-١-١٢-٤	أهمية تطبيق نظام (SRI) في منطقة البحث (النجف والقادسية)	٢١-٢٣
١-١-١٢-٥	مقارنة منهجية بين الري بالرش ونظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في البيئات شبه الحارة شبة الجافة	٢٣-٢٥
١-١-١٢-٦	المزارعون المنفذون لنظام تكثيف زراعة الرز (SRI) ودورهم في اثراء الجانب التطبيقي للدراسة	٢٥-٢٦
١-٢	المبحث الثاني: الدليل الفلسفي للأطروحة	٢٦-٣٠
١-٢-١	من الظاهرة المناخية إلى الإشكالية المعرفية–المكانية	٢٦-٢٧
١-٢-٢	فلسفة علم المكان والتحول في الفكر الجغرافي المعاصر	٢٧-٢٨
١-٢-٣	المناخ بوصفه مسارًا تاريخيًا وتحولات النموذج الزراعي التقليدي	٢٨-٢٩
١-٢-٤	نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) بوصفه إطارًا معرفيًا–تكيفيًا بديلًا	٢٩
١-٢-٥	البعد الأخلاقي والمعرفي للتكيف المناخي	٢٩-٣٠
١-٢-٦	نحو إعادة بناء العقل الزراعي المكاني	٣٠
٢	**الفصل الثاني: المتطلبات والمحددات المناخية والموازنة المائية لمحصول الرز**	٣١-٩٨
ـــ	تمهيد	٣٢
٢-١	المبحث الأول: المتطلبات والمحددات المناخية لزراعة محصول الرز	٣٣
ـــ	المتطلبات والمحددات المناخية لزراعة محصول الرز	٣٣
٢-١-١	المتطلبات والمحددات المناخية العامة لزراعة الرز	٣٣
٢-١-٢	المتطلبات الضوئية لمحصول الرز	٣٣-٣٧

٢-١-٣	الاحتياجات الحرارية لنمو محصول الرز	٣٩-٥٣
٢-١-٤	متطلبات الرياح	٥٥-٥٩
٢-١-٥	الرطوبة النسبية	٦٠-٦٢
٢-١-٦	الأمطار	٦٣-٦٥
٢-٢	المبحث الثاني التوازن المائي المناخي لمحصول الرز خلال موسم النمو في منطقة البحث	٦٧
٢-٢-١	حساب وتقدير الاستهلاك المائي لمحصول الرز الاحتياجات المائية لمحصول الرو	٦٩
٢-٢-٢	معامل المحصول(Kc)	٧٠-٧٢
٢-٢-٣	الاستهلاك المائي(ETc)	٧٣
٢-٢-٤	حساب وتقدير الاستهلاك المائي لمحصول الرز باعتماد العامل المناخي	٧٣-٧٧
٢-٢-٥	العوامل المؤثرة في الاستهلاك المائي	٧٨
٢-٢-٦	أهمية قياس الاستهلاك المائي	٧٩
٢-٢-٧	الاستهلاك المائي الفعلي باستعمال معادلة نجيب خروفة	٨١-٨٣
٢-٢-٨	**حساب التبخر–النتح المرجعي(ETo)**	٨٤-٨٨
٢-٢-٩	حساب الأمطار الفعّالة	٨٩-٩٢
٢-٢-١٠	تقييم الموازنة المائية المناخية	٩٢-٩٥
٢-٢-١٠-١	حساب الموازنة المائية المناخية بطريقة نجيب خروفة	٩٥
٢-٢-١٠-٢	حساب الموازنة المائية المناخية بطريقة بنمان - مونتيث	٩٥-٩٧
٣	**الفصل الثالث**	٩٩-١٩٥
—	**الفصل الثالث / خصائص مناخ محافظتي النجف والقادسية ومؤشرات التغير المناخي**	٩٩-١٩٦
٣-١	خصائص الاشعاع الشمسي والمتغيرات المحددة	١٠٠
٣-١-١	زوايا سقوط الإشعاع الشمسي	١٠١-١٠٤
٣-١-٢	السطوع الشمسي النظري	١٠٥-١٠٩
٣-١-٣	السطوع الشمسي الفعلي	١٠٩-١١٥
٣-١-٤	الإشعاع الشمسي الكلي	١١٥-١٢١
٣-٢	خصائص درجة الحرارة	١٢١
٣-٢-١	خصائص درجة الحرارة الصغرى ومتطلبات SRI	١٢١-١٢٢
٣-٢-٢	خصائص المعدلات الشهرية والسنوية لدرجات الحرارة الصغرى	١٢٢-١٢٧
٣-٢-٣	خصائص الحرارة العظمى ومتطلبات (SRI)	١٢٨-١٣٥
٣-٢-٤	المعدلات الشهرية والسنوية لدرجات الحرارة ومتطلبات (SRI)	١٣٦-١٤١
٣-٢-٥	المدى الحراري اليومي وعلاقته بفعالية نظام تكثيف زراعة الرز(SRI)	١٤٢-١٤٩
٣-٣	خصائص الرطوبة النسبية	١٥٠
٣-٣-١	المعدلات الشهرية والسنوية للرطوبة النسبية في محافظتي النجف والقادسية	١٥٠-١٥٧
٣-٤	الأمطار وخصائصها	١٥٨
٣-٤-١	المعدلات الشهرية والسنوية للأمطار	١٥٨-١٦٥
٣-٥	التحليل المكاني للرطوبة والأمطار وعلاقتهما ملاءمة نظام تكثيف زراعة الرز (SRI)	١٦٦-١٦٩
٣-٥-١	الرطوبة والأمطار ومتطلبات الملاءمة لنظام تكثيف زراعة الرز (SRI)	١٦٦-١٦٩
٣-٦	خصائص الرياح	١٦٩-١٧٧
٣-٦-١	المعدلات الشهرية والسنوية لسرعة الرياح	١٦٩-١٧٧
٣-٧	التبخر–النتح المرجعي (ETo) وتحليله المناخي (١٩٨٠-٢٠٢٣)	١٧٧
٣-٧-١	خصائص الإشعاع الشمسي والتبخر–النتح المرجعي (ETo) ومتطلبات نظامSRI	١٧٧-١٨١
٣-٧-٢	معادلات التبخر–النتح المرجعي (ETo) بحسب الدورات المناخية في منطقة البحث	١٨١-١٨٨
٣-٨	خصائص الظواهر الغبارية	١٨٩
٣-٨-١	المعدلات الشهرية والمجموع السنوي للظواهر الغبارية	١٨٩-١٩٦
٤	**الفصل الرابع** / التقييم المناخي لملاءمة متطلبات نظام تكثيف زراعة الرز(SRI)	١٩٧-٢٧٣
—	تمهيد	١٩٨

٤-١	التقييم المناخي لمستوى الملاءمة لمتطلبات نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠)	١٩٩
٤-١-١	التقييم المناخي لمستوى ملاءمة متطلبات نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠)	١٩٩-٢٠٧
٤-١-٢	التقييم المناخي لمستوى ملاءمة متطلبات نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠)	٢٠٨-٢١٧
٤-٢	التقييم المناخي لمستوى الملاءمة لمتطلبات نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)	٢١٨
٤-٢-١	التقييم المناخي لملاءمة متطلبات نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)	٢١٨-٢٢٥
٤-٢-٢	التقييم المناخي لمدى ملاءمة متطلبات نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)	٢٢٧-٢٣٧
٤-٣	التقييم المناخي لمستوى الملاءمة لمتطلبات نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في الدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)	٢٣٧
٤-٣-١	التقييم المناخي لمستوى ملاءمة متطلبات نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)	٢٣٧-٢٤٥
٤-٣-٢	التقييم المناخي لمدى ملاءمة متطلبات نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)	٢٤٦-٢٥٥
٤-٤	التقييم المناخي لمستوى الملاءمة لمتطلبات نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في الدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)	٢٥٥
٤-٤-١	التقييم المناخي لمستوى ملاءمة متطلبات نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)	٢٥٥-٢٦٤
٤-٤-٢	التقييم المناخي لمستوى ملاءمة متطلبات نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)	٢٦٥-٢٧٣
٥	**الفصل الخامس سيناريوهات التغير المناخي وتقييم بدائل التكيف المناخي لنظام تكثيف زراعة الرز (SRI) حتى عام ٢٠٥٠**	٢٧٤
—	**تمهيد**	٢٧٥
—	المصفوفة التحليأتية المقترحة لاتخاذ القرار متعدد المعايير(MCDA)	٢٧٦-٢٧٩
٥-١	تقييم السيناريو الأول(SSP٢–٤.٥)	٢٧٩
٥-١-١	معيار الكفاءة الإنتاجية الزراعية(APE)	٢٧٩-٢٨٢
٥-١-٢	معيار كفاءة استعمال المياه(WUE)	٢٨٢-٢٨٥
٥-١-٣	معيار الكفاءة الاقتصادية للتكلفة(ECE)	٢٨٥-٢٨٧
٥-١-٤	معيار الاستدامة البيئية والاجتماعية(ESSI)	٢٨٧-٢٨٩
٥-١-٥	المفاضلة بين البدائل الناتجة من تقيم السيناريو الأول بدلالة جميع المعاير	٢٨٩-٢٩٢
٥-٢	تقييم السيناريو الثاني(SSP٣–٧.٠) وفقاً للمعايير بدلالة مصفوفة (MCDA)	٢٩٢-٢٩٣
٥-٢-١	معيار الكفاءة الإنتاجية الزراعية(APE)	٢٩٤-٢٩٦
٥-٢-٢	معيار كفاءة استعمال المياه(WUE)	٢٩٦-٢٩٨
٥-٢-٣	معيار الكفاءة الاقتصادية للتكلفة(ECE)	٢٩٨-٣٠٠
٥-٢-٤	معيار الاستدامة البيئية والاجتماعية(ESSI)	٣٠١-٣٠٣
٥-٢-٥	المفاضلة بين البدائل الناتجة من تقيم السيناريو الثاني بدلالة جميع المعاير مستويات	٣٠٣-٣٠٥
٥-٣	تقيم السيناريو الثالث(SSP٥–٨.٥) وفقاً للمعاير بدلالة مصفزفة (MCDA)	٣٠٥-٣٠٧
٥-٣-١	معيار الكفاءة الإنتاجية الزراعية(APE)	٣٠٧-٣٠٩
٥-٣-٢	معيار كفاءة استعمال المياه(WUE)	٣٠٩-٣١١
٥-٣-٣	معيار الكفاءة الاقتصادية للتكلفة(ECE)	٣١١-٣١٣
٥-٣-٤	معيار الاستدامة البيئية والاجتماعية(ESSI)	٣١٣-٣١٥
٥-٣-٥	**المفاضلة بين البدائل الناتجة من تقيم السيناريو الثالث بدلالة جميع المعايير**	٣١٥-٣١٨
—	النتائج	٣١٩-٣٢١
—	التوصيات	٣٢٢-٣٢٤
—	المصادر	٣٢٥-٣٣٦

قائمة الجداول

ت	الموضوع	الصفحة
١	مقارنة بين الريّ بالرشّ ونظام SRI في البيئات الحارة شبه الجافة	٢٤
٢	المعدلات الشهرية لساعات السطوع الفعلي (ساعة) في منطقة البحث	٣٨
٣	المعدلات الشهرية لدرجات الحرارة الصغرى (م°) في منطقة البحث	٤١
٤	المعدلات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى (م°) في منطقة البحث	٤٦
٥	المعدلات الشهرية لدرجات الحرارة (م°) في محافظتي النجف والقادسية (١٩٨٠–٢٠٢٣)	٤٨
٦	المعدلات الشهرية للوحدات الحرارية المتجمعة لموسم زراعة الرز في محافظتي النجف والقادسية (١٩٨٠–٢٠٢٣)	٥٤
٧	المعدلات الشهرية لسرعة الرياح (م/ثا) لموسم زراعة الرز في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)	٥٩
٨	المعدلات الشهرية لقيم الرطوبة النسبية (%) لموسم زراعة الرز في منطقة البحث (١٩٨٠–٢٠٢٣)	٦٢
٩	المعدلات الشهرية للأمطار (ملم) لموسم زراعة الرز في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)	٦٦
١٠	المعدلات الشهرية والمجموع السنوي لكمية التبخر/ النتح الكامن (ETO) (ملم/شهر، ملم/سنة) المقدرة وفق معادلة نجيب خروفة في محطتي النجف والقادسية للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣) والفروق المئوية لهما	٧٦
١١	كمية الاستهلاك المائي لمحصول الرز باعتماد معادلة نجيب خروفة (ملم/يوم)	٨٠
١٢	الاستهلاك المائي الفعلي لمحصول الرز باعتماد معادلة نجيب خروفة (ملم/شهر)	٨٣
١٣	باعتماد العامل النباتي (ETo) التبخر–النتح المرجعي	٨٦
١٤	كمية الاستهلاك المائي لمحصول الرز باعتماد العامل النباتي (ملم/يوم)	٨٨
١٥	معامل المطر الفعّال خلال موسم زراعة الرز في محطتي النجف والديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)	٩٠
١٦	القيمة الفعلية للأمطار (ملم) خلال موسم زراعة الرز في محطتي النجف والقادسية المناخية للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)	٩١
١٧	الموازنة المائية المناخية بحسب طريقتي نجيب خروفة وبنمان مونتيث خلال موسم زراعة الرز في منطقة البحث للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)	٩٧
١٨	**المعدلات الشهرية لزوايا سقوط الإشعاع الشمسي (درجة°) في محافظتي النجف والقادسية (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٠٣
١٩	**المعدلات الشهرية والسنوية لساعات السطوع الشمسي النظري (ساعة/يوم) في محافظتي النجف والقادسية (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٠٧
٢٠	**المعدلات الشهرية والسنوية لساعات السطوع الفعلي (ساعة/يوم) في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١١٠
٢١	**المعدلات الشهرية والسنوية لساعات السطوع الفعلي (ساعة/يوم) في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١١٣
٢٢	**المعدلات الشهرية والسنوية للإشعاع الكلي المحسوب (ملّي واط/سم²/يوم) في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١١٧
٢٣	**المعدلات الشهرية والسنوية للإشعاع الكلي المحسوب (ملّي واط/سم²/يوم) في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٢٠
٢٤	**المعدلات الشهرية والسنوية لدرجات الحرارة الصغرى (°م) في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٢٣
٢٥	**المعدلات الشهرية والسنوية لدرجات الحرارة الصغرى (°م) في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٢٧
٢٦	**المعدلات الشهرية والسنوية لدرجات الحرارة العظمى (°م) في محطة النجف(١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٣١

٢٧	**المعدلات الشهرية والسنوية لدرجات الحرارة العظمى (°م) في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٣٤
٢٨	**المعدلات الشهرية والسنوية لدرجات الحرارة (°م) في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٣٨
٢٩	**المعدلات الشهرية والسنوية لدرجات الحرارة (°م) في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٤١
٣٠	**المدى الحراري اليومي * (م°) في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٤٥
٣١	المدى الحراري اليومي في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)	١٤٨
٣٢	**المعدلات الشهرية والسنوية للرطوبة النسبية (%) فيمحطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٥٣
٣٣	**المعدلات الشهرية والسنوية للرطوبة النسبية (%) في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٥٧
٣٤	**المعدلات الشهرية والسنوية (مجموعات الأمطار بالملم) في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٦١
٣٥	**المعدلات الشهرية والسنوية للأمطار (ملم) في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٦٥
٣٦	**المعدلات الشهرية والسنوية لسرعة الرياح (م/ثا) في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٧١
٣٧	**المعدلات الشهرية والسنوية لسرعة الرياح (م/ثا) في محطة القادسية (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٧٥
٣٨	**المعدلات الشهرية والسنوية للتبخر–النتح المرجعي (ETo) في محافظة النجف(مم/شهر)**	١٨٢
٣٩	**المعدلات الشهرية والسنوية للتبخر–النتح المرجعي (ETo) في محافظة القادسية (مم/شهر)**	١٨٦
٤٠	**المعدلات الشهرية والمجموع السنوي للظواهر الغبارية في محافظة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٩٠
٤١	**المعدلات الشهرية والمجموع السنوي للظواهر الغبارية يوم غباري/سنة في محافظة القادسية (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٩٣
٤٢	**خصائص المؤشرات المناخية لمحطة النجف للدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠)**	٢٠٠
٤٣	**جدول (٤٣) نتائج معامل الارتباط بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠)**	٢٠٣
٤٤	**أقاليم الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠)**	٢٠٦
٤٥	**خصائص المؤشرات المناخية لمحطة الديوانية للدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠)**	٢٠٩
٤٦	**نتائج معامل الارتباط بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠)**	٢١٢
٤٧	**أقاليم الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠)**	٢١٦
٤٨	**خصائص المؤشرات المناخية لمحطة النجف للدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)**	٢١٩
٤٩	**نتائج معامل الارتباط بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI)في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)**	٢٢٢
٥٠	**أقاليم الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة النجف**	٢٢٥

	خلال الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)	
٥١	خصائص المؤشرات المناخية لمحطة الديوانية للدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)	٢٢٨
٥٢	نتائج معامل الارتباط بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)	٢٣١
٥٣	أقاليم الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)	٢٣٣
٥٤	خصائص المؤشرات المناخية لمحطة النجف للدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)	٢٣٨
٥٥	نتائج معامل الارتباط بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)	٢٤١
٥٦	أقاليم الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)	٢٤٤
٥٧	خصائص المؤشرات المناخية لمحطة الديوانية للدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)	٢٤٧
٥٨	نتائج معامل الارتباط بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)	٢٥٠
٥٩	أقاليم الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)	٢٥٢
٦٠	خصائص المؤشرات المناخية لمحطة النجف للدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)	٢٥٧
٦١	نتائج معامل الارتباط بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)	٢٥٩
٦٢	أقاليم الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)	٢٦٢
٦٣	خصائص المؤشرات المناخية لمحطة الديوانية للدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)	٢٦٦
٦٤	نتائج معامل الارتباط بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)	٢٦٩
٦٥	أقاليم الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)	٢٧٢
٦٦	مصفوفة المعايير المعتمدة في تقييم سيناريوهات التغير المناخي الناتجة عن الاحتباس الحراري لطرح البدائل والتكيف المناخي لنظامSRI ضمن منطقة البحث	٢٧٧
٦٧	المفاضلة بين البدائل الزراعية وفق معيار الكفاءة الإنتاجية الزراعية (APE) في ظل السيناريو المناخي المعتدل(٤.٥–SSP٢)	٢٨١
٦٨	تقييم بدائل إدارة المياه SRI و CSA والغمر الكامل استنادًا إلى خفض الاستهلاك وكفاءة الماء والغلة	٢٨٤
٦٩	المفاضلة الرقمية للبدائل الزراعية وفق معيار الكفاءة الاقتصادية للتكلفة في زراعة الرز	٢٨٦
٧٠	المفاضلة بين البدائل الزراعية وفق معيار الاستدامة البيئية والاجتماعية (ESSI) في ظل السيناريو المناخي المعتدل(٤.٥–SSP٢)	٢٨٩
٧١	المفاضلة الشاملة بين البدائل الزراعية ضمن السيناريو المناخي المعتدل–SSP٢ (٤.٥)	٢٩١
٧٢	المفاضلة بين البدائل الزراعية وفق معيار الكفاءة الإنتاجية الزراعية (APE) في ظل	٢٩٥

	السيناريو المناخي(SSP3–7.0)	
٧٣	المفاضلة بين البدائل الزراعية وفق معيار كفاءة استعمال المياه (WUE) في ظل السيناريو المناخي(SSP3–7.0)	٢٩٧
٧٤	نتائج المفاضلة بين البدائل لتقييم السيناريو الثاني (SSP3–7.0) لمعيار الكفاءة الاقتصادية للتكلفة(ECE)	٣٠٠
٧٥	المفاضلة بين البدائل الزراعية وفق معيار الاستدامة البيئية والاجتماعية (ESSI) في ظل السيناريو المناخي(SSP3–7.0)	٣٠٢
٧٦	المفاضلة الشاملة بين البدائل الزراعية ضمن السيناريو المناخي (SSP3–7.0)	٣٠٤
٧٧	المفاضلة بين البدائل الزراعية وفق معيار الكفاءة الإنتاجية الزراعية (APE) في ظل السيناريو المناخي(SSP5–8.5)	٣٠٨
٧٨	المفاضلة بين البدائل الزراعية وفق كفاءة استعمال المياه (WUE) في ظل السيناريو (SSP5–8.5)	٣١٠
٧٩	المفاضلة بين البدائل الزراعية وفق الكفاءة الاقتصادية للتكلفة (ECE) في ظلّ السيناريو المناخي(SSP5–8.5)	٣١٢
٨٠	المفاضلة بين البدائل وفقاً لمعيار الاستدامة البيئية والاجتماعية (ESSI) في ظل السيناريو المناخي(SSP5–8.5)	٣١٤
٨١	المفاضلة الشاملة بين البدائل الزراعية وفقاً السيناريو المناخي (SSP5–8.5)	٣١٦

قائمة الخرائط

ت	الموضوع	الصفحة
١	الوحدات الإدارية لمحافظة النجف الأشرف	٨
٢	الوحدات الإدارية لمحافظة القادسية	٩
٣	التوزيع الجغرافي لمستوى الملاءمة المناخية بدلالة مؤشر (MSI) لنظام الزراعة (SRI) في محافظة النجف ضمن الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠-١٩٩٠)	٢٠٧
٤	التوزيع الجغرافي لمستوى الملاءمة المناخية بدلالة مؤشر (MSI) لنظام الزراعة (SRI) في محافظة القادسية ضمن الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠-١٩٩٠)	٢١٧
٥	التوزيع الجغرافي لمستوى الملاءمة المناخية بدلالة مؤشر (MSI) لنظام الزراعة (SRI) في محافظة النجف ضمن الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)	٢٢٦
٦	التوزيع الجغرافي لمستوى الملاءمة المناخية بدلالة مؤشر (MSI) لنظام الزراعة (SRI) في محافظة القادسية ضمن الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)	٢٣٤
٧	التوزيع الجغرافي لمستوى الملاءمة المناخية بدلالة مؤشر (MSI) لنظام الزراعة (SRI) في محافظة النجف ضمن الدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)	٢٤٥
٨	التوزيع الجغرافي لمستوى الملاءمة المناخية بدلالة مؤشر (MSI) لنظام الزراعة (SRI) في محافظة القادسية ضمن الدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)	٢٥٣
٩	التوزيع الجغرافي لمستوى الملاءمة المناخية بدلالة مؤشر (MSI) لنظام الزراعة (SRI) في محافظة النجف ضمن الدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)	٢٦٣
١٠	التوزيع الجغرافي لمستوى الملاءمة المناخية بدلالة مؤشر (MSI) لنظام الزراعة (SRI) في محافظة القادسية ضمن الدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)	٢٧٣

قائمة الاشكال

ت	الموضوع	الصفحة
١	**المعدلات الشهرية لساعات السطوع الفعلي(ساعة/يوم) في منطقة البحث للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)**	٣٨
٢	**المعدلات الشهرية لدرجات الحرارة الصغرى(مْ) في محافظتي النجف والقادسية للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)**	٤١
٣	**المعدلات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى(مْ) في محافظتي النجف والقادسية للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)**	٤٦
٤	**المعدلات الشهرية لدرجات الحرارة (مْ) في محافظتي النجف والقادسية للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)**	٤٨
٥	درجات الحرارة المتجمعة (مْ) بحسب الأشهر لموسم زراعة الرز في منطقة البحث في محطة النجف للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)	٥٤
٦	**المعدلات الشهرية لسرع الرياح (م/ثا) لموسم زراعة الرز في محطة النجف للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)**	٥٩
٧	**المعدلات الشهرية لقيم الرطوبة النسبية % لموسم زراعة الرز في منطقة البحث للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)**	٦٣
٨	**المعدلات الشهرية للأمطار (ملم) لموسم زراعة الرز في منطقة البحث لمحطة النجف للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)**	٦٦
٩	**المعدلات الشهرية والمجموع السنوي لكمية التبخر/ النتح الكامن (ETO) (ملم/شهر، ملم/سنة) المقدرة وفق معادلة نجيب خروفة في محطتي النجف والقادسية للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)**	٧٧
١٠	**كمية الاستهلاك المائي لمحصولي الرز باعتماد معادلة نجيب خروفة (ملم/ يوم)**	٨٠
١١	**المعدلات الشهرية والمجموع السنوي للاستهلاك المائي الفعلي (ETc) لمحصول الرز باعتماد معادلة نجيب خروفة (ملم/شهر)**	٨٣
١٢	**التبخر/ النتح المرجعي (الممكن) (ETO) (ملم/سم) باعتماد العامل النباتي**	٨٧
١٣	**كمية الاستهلاك المائي لمحصولي الرز باعتماد العامل النباتي (ملم/ يوم)**	٨٨
١٤	**معامل المطر الفعال (ملم) خلال موسم زراعة الرز في محطتي النجف والقادسية المناخية للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)**	٩٠
١٥	**القيمة الفعلية للأمطار (ملم) خلال موسم زراعة الرز في محطتي النجف والقادسية المناخية للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)**	٩١
١٦	**الموازنة المائية المناخية بحسب طريقتي نجيب خروفة وبنمان مونتيث الموسم زراعة الرز في منطقة البحث للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)**	٩٨
١٧	**المعدلات الشهرية لزوايا سقوط الإشعاع الشمسي (درجة) في محافظتي النجف والقادسية (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٠٤
١٨	**الاتجاه الزمني للسطوع النظري في محافظتي النجف والقادسية (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٠٨
١٩	**الاتجاه الزمني للسطوع الفعلي للمعدلات الشهرية والسنوية لساعات السطوع الفعلي (ساعة/يوم) في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١١١
٢٠	**الاتجاه الزمني للسطوع الفعلي في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١١٤
٢١	**الاتجاه الزمني للمعدلات الشهرية والسنوية للإشعاع الكلي المحسوب في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١١٨
٢٢	**الاتجاه الزمني للمعدلات الشهرية والسنوية للإشعاع الكلي في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٢١
٢٣	**الاتجاه الزمني لدرجات الحرارة الصغرى في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٢٤
٢٤	**الاتجاه الزمني لدرجات الحرارة الصغرى في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٢٨
٢٥	**الاتجاه الزمني لدرجات الحرارة العظمى في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٣٢
٢٦	**الاتجاه الزمني لدرجات الحرارة العظمى في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٣٥

٢٧	**الاتجاه الزمني لدرجات الحرارة في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٣٩
٢٨	**الاتجاه الزمني لدرجات الحرارة في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٤٢
٢٩	**الاتجاه الزمني للمدى الحراري اليومي في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٤٦
٣٠	**الاتجاه الزمني للمدى الحراري اليومي في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٤٩
٣١	**الاتجاه الزمني للرطوبة النسبية في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٥٤
٣٢	**الاتجاه الزمني للرطوبة النسبية في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٥٨
٣٣	**الاتجاه الزمني للأمطار في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٦٢
٣٤	**الاتجاه الزمني للأمطار في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٦٦
٣٥	**الاتجاه الزمني للمعدلات الشهرية لسرعة الرياح (م/ثا) في محطة النجف خلال الدورات المناخية (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٧٢
٣٦	**الاتجاه الزمني للمعدلات الشهرية لسرعة الرياح (م/ثا) في محطة الديوانية خلال الدورات المناخية (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٧٦
٣٧	**المعدلات الشهرية والسنوية للتبخر–النتح المرجعي (ETo)في محافظة النجف(مم/شهر)**	١٨٣
٣٨	**التغير الزمني لمتوسط التبخر–النتح المرجعي السنوي (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٨٧
٣٩	**الاتجاه الزمني لتكرار الظواهر الغبارية الشهرية في محافظة النجف خلال الدورات المناخية (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٩١
٤٠	**الاتجاه الزمني لتكرار الظواهر الغبارية الشهرية في محافظة القادسية خلال الدورات المناخية الأربع (١٩٨٠–٢٠٢٣)**	١٩٤

مقدمة

لم يعد الاحتباس الحراري في العقود الأخيرة ظاهرةً مناخية هامشية يمكن التعامل معها بوصفها اضطرابًا مناخيًا مؤقتًا أو خللًا دوريًا في النظام الطبيعي، بل اصبح إشكالية كونية مركبة تتعدى حدود العلم الطبيعي لتلامس مجالات الفكر والفلسفة والجغرافيا والتنمية المستدامة. فقد أعادت التحولات المناخية المتسارعة صياغة العلاقة التاريخية بين الإنسان والمناخ والمكان، ودفعت بالإنسان المعاصر إلى مواجهة نتائج أفعاله الطويلة الأمد في الطبيعة بعد أن تجاوزت هذه النتائج حدود التكيّف التقليدي وأصبحت تمسّ أسس الاستقرار البيئي والإنتاجي والاجتماعي.

لقد كشفت التغيرات المناخية عن هشاشة العديد من المسلّمات التي استندت عليها النظم الزراعية التقليدية عبر عقود طويلة ، ولا سيما في الأقاليم الجافة وشبه الجافة، حيث تتقاطع محدودية الموارد المائية مع تصاعد الضغوط الحرارية وتذبذب الأنماط المطرية وفي مثل هذه البيئات لم تعد الزراعة قادرة على الاستمرار بالمنطق ذاته الذي تشكل في فترات مناخية أكثر استقرارا، اذ اضحى المناخ عاملا فاعلا يعيد تشكيل شروط الإنتاج الزراعي، وحدود الجدوى الاقتصادية، وإمكانات الاستدامة البيئية.

وفي ضوء الفكر الجغرافي والفلسفي المعاصر، لم يعد المكان يُفهم بوصفه وعاءً ساكناً تحتضنه الظواهر الطبيعية والأنشطة البشرية، بل باعتباره كيانا ديناميكيًا تاريخيا يتكون عبر تفاعل مستمر بين الإنسان والمناخ والماء والزمن. وبهذا المعنى، فإن التغير المناخي لا يؤثر في المكان من الخارج فحسب بل يعيد إنتاجه من الداخل، عبر تعديل شروط التوازن البيئي، وإعادة رسم أنماط الاستقرار السكاني والزراعي، وفرض حدود جديدة للإنسان قادرة على استغلال الموارد الطبيعية بالشكل الأمثل .

وتعد محافظتا النجف والقادسية نموذجًا مكانيًا واضحا لهذه التحولات نظرا لما تتمتعان به من أهمية زراعية استراتيجية، وبالخصوص زراعة محصول الرز، وفي الوقت ذاته لكونهما من أكثر مناطق الفرات الأوسط تأثراً بتداعيات الاحتباس الحراري . اذ شهدت هاتان المحافظتان خلال العقود الأخيرة ارتفاعًا ملحوظًا في

درجات الحرارة، وتزايدًا في موجات الجفاف، وتراجعًا في الإمدادات المائية السطحية، وهو ما أسهم في تعميق الاختلالات البنيوية في الزراعة التقليدية، وكشف محدودية قدرتها على الاستمرار في تحقيق الاستقرار الإنتاجي وضمان الأمن الغذائي في ظل واقع مناخي متغيّر.

ومن منظور فلسفة العلم، يمكن فهم الاحتباس الحراري باعتباره أزمة معرفية أعادت النظر في النموذج التفسيري السائد للعلاقة بين المناخ والزراعة. فالأنماط الزراعية التقليدية في النجف والقادسية تشكلت في ظل افتراضات مناخية شبه مستقرة، واعتمدت على نظم ري عالية الاستهلاك للمياه، استناداً من تصور ضمني يفترض وفرة الموارد واستقرار الشروط البيئية. غير أن تراكم الاختلالات المناخية أظهر قصور هذا النموذج عن تفسير الواقع الجديد أو الاستجابة لمتطلباته، مما يفرض الانتقال من نموذج زراعي قائم على الثبات إلى نموذج زراعي يعترف بالطابع الديناميكي للمناخ والمكان.

وفي هذا السياق يبرز نظام تكثيف زراعة الرز SRI بوصفه أحد النماذج الزراعية الحديثة التي تعكس تحولا عميقًا في فهم العلاقة بين النبات والماء والتربة. فهذا النظام لا يقوم على مبدأ زيادة المدخلات الزراعية أو تعظيم الاستهلاك المائي، بل يعتمد على إعادة تنظيم العمليات الزراعية وفق مبادئ بيئية عقلانية، تركز على رفع كفاءة استعمال المياه، وتعزيز النمو الجذري للنبات، وتنشيط التفاعلات الحيوية داخل التربة. ومن ثم، لا يُنظر إلى نظام SRI في إطار هذه الأطروحة كحل تقني معزول، بل كنموذج تكيفي يعكس تحولاً فلسفيًا في منطق التعامل مع الطبيعة.

ويكتسب هذا التحول بعدًا فلسفيًا أعمق حين يُقرأ في إطار فلسفة علم المكان، التي ترى أن المعرفة العلمية لا تنفصل عن سياقها المكاني، وأن الحلول التنموية لا يمكن تعميمها أو نقلها دون فهم الخصوصية البيئية والتاريخية لكل مكان. فتبنّي نظم زراعية تكيفية مثل SRI يمثل استجابة معرفية واعية لتحولات المناخ، ويعكس انتقالًا من منطق السيطرة على الموارد إلى منطق التكيّف المسؤول مع شروط المكان وحدوده البيئية.

وعليه، تسعى هذه الأطروحة إلى تقديم مقاربة فلسفية–علمية تحليأتية للعلاقة بين الاحتباس الحراري والنظم الزراعية، من خلال دراسة مقارنة بين الزراعة التقليدية ونظام تكثيف زراعة الرز SRI في محافظتي النجف والقادسية. وتعتمد الأطروحة في ذلك على توظيف أدوات الجغرافيا المناخية وفلسفة العلم، للكشف عن أبعاد التحول المعرفي الذي فرضه التغير المناخي على التفكير الزراعي، ولتبيان كيف يمكن للإنسان أن يعيد بناء علاقته بالمكان الزراعي على أسس عقلانية وأخلاقية مستدامة .

وتهدف هذه الدراسة إلى استشراف مستقبل الزراعة في محافظتي النجف والقادسية في ظل السيناريوهات المناخية المتسارعة، مستقبلًا مشروطًا بالتحول من نماذج إنتاجية مستنزِفة إلى نماذج تكيفية مستدامة، بما يعزز الأمن الغذائي ويحافظ على الموارد الطبيعية وحقوق الاجيال القادمة، في اطار معرفي يعيد الاعتبار لقيم التوازن والاستدامة والمسؤولية المناخية.

الفصل الأول

الإطار النظري

المبحث الأول: الإطار النظري للدراسة ومفاهيمها

المبحث الثاني: الدليل الفلسفي للأطروحة

١-١المبحث الأول: الإطار النظري للدراسة ومفاهيمها

١-١-١- مشكلة البحث

تُعدّ مشكلة البحث المحور الأساس الذي يقوم عليه البحث العلمي الرصين، إذ تمثل الفجوة المعرفية أو الغموض الذي يسعى الباحث إلى تفسيره وتحليل متغيراته المؤثرة. وتُعرَّف مشكلة الدراسة بأنها قضية علمية ذات أهمية تتطلب البحث والتحليل لفهم أسبابها أو تفسير ظواهرها أو تحديد أبعادها. كما تُعد مشكلة الدراسة بمنزلة البوصلة التي تُوجّه الباحث نحو صياغة الأسئلة الرئيسة والفرعية وتحديد طبيعة البيانات وأساليب التحليل المناسبة. وبناءً على ذلك، تتمثل مشكلة البحث الرئيسة في التساؤل: هل أسهم الاحتباس الحراري الناجم عن التغيرات المناخية في التأثير على مستوى الملاءمة المناخية والتوجّه نحو استعمال نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في محافظتي النجف والقادسية، وما مدى تباينه المكاني والزماني بدلالة الدورات المناخية؟ويمكن صياغة المشكلات الثانوية بالاتي :-

١- ما طبيعة اتجاه التغيرات بالعناصر المناخية ضمن الدورات المناخية ضمن منطقة البحث؟

٢- ما خصائص المؤشرات المناخية المحددة لمتطلبات نظام التكثيف الرز (SRI) خلال الدورات المناخية ضمن منطقة البحث ؟

٣- هل يتباين زمانياً مستوى الملاءمة المناخية لمتطلبات نظام (SRI) ضمن منطقة البحث ؟

٤- هل يتباين مكانيا مستوى الملاءمة المناخية لمتطلبات نظام (SRI) في منطقة البحث ؟

٥- ما البديل الأمثل للتكيف المناخي لنظام SRI وفقاً لسيناريوهات المستقبلية لتغير المناخ ضمن منطقة البحث ؟

١-١-٢- فرضيات البحث

تنطلق الدراسة من فرضية رئيسة مفادها أن الاحتباس الحراري الناجم عن التغيرات المناخية يؤثر في مستوى الملاءمة المناخية والتوجّه نحو استعمال نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في محافظتي النجف والقادسية، بما يؤدي إلى تباين مكاني وزماني في مستوى هذه الملاءمة عبر الدورات المناخية. كما تفترض الدراسة أن نظام (SRI) يظل خيارًا زراعيًا قابلًا للتكيف في ظل هذه المتغيرات، غير أن فعاليته المستقبلية تتطلب اعتماد إجراءات تكيفية إضافية مع تصاعد آثار الاحتباس الحراري.

اما الفرضيات الثانوية فهي كما يأتي

١- تشهد العناصر المناخية الرئيسة في منطقة البحث اتجاهات تغير متفاوتة بين الدورات المناخية المختلفة، ولا سيما في درجات الحرارة والتبخر–النتح، نتيجة تصاعد تأثيرات الاحتباس الحراري.

٢- تختلف خصائص المؤشرات المناخية المحددة لمتطلبات نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) من دورة مناخية إلى أخرى ضمن منطقة البحث.

٣- يتباين مستوى الملاءمة المناخية لمتطلبات نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) زمانيًا داخل منطقة البحث تبعًا لاختلاف الدورات المناخية.

٤- يتباين مستوى الملاءمة المناخية لمتطلبات نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) مكانيًا بين محافظتي النجف والقادسية نتيجة اختلاف الخصائص المناخية المحلية.

٥- يمكن تحديد بدائل تكيف مناخي ملائمة لنظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في منطقة البحث بالاعتماد على السيناريوهات المستقبلية لتغير المناخ.

١-١-٣- أهداف البحث

يهدف هذا البحث إلى تحقيق مجموعة من الأهداف العلمية والتطبيقية، أبرزها:

١- تحليل التغيرات المناخية في محافظتي النجف والقادسية للمدة (١٩٨٠–٢٠٢٣) .

٢- تقييم مدى ملاءمة المؤشرات المناخية لتطبيق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI)

٣- الكشف عن المتغيرات المتحكمة في التباين الزماني لمستوى الملاءمة المناخية لنظام (SRI) ضمن منطقة البحث .

٤- الكشف عن التباين المكاني لمستوى الملاءمة المناخية لمتطلبات نظام (SRI) ضمن منطقة البحث من خلال تقييم التفاعل المكاني لمحددات زراعة الرز بنظام والمؤشرات المناخية .

٥- تحديد البديل الأمثل لتحقيق أعلى مستوى للتكيف المناخي لتطبيق نظام (SRI) وفقاً لسيناريوهات تغير المناخ ضمن منطقة البحث .

١-١-٤- مبررات البحث

تتجلى مبررات اختيار هذا الموضوع في اعتبارات متعددة علمية ووطنية، من أهمها:

١- الندرة المائية المتزايدة نتيجة التغير المناخي وتراجع الواردات المائية من دول المنبع.

٢- الحاجة إلى أنظمة زراعية ذكية تعتمد كفاءة عالية في استعمال المياه وتتكيف مع المناخ المتغير.

٣- أهمية محصول الرز بوصفه أحد أعمدة الأمن الغذائي العراقي ومصدرًا رئيسًا للدخل الزراعي.

٤- ندرة الدراسات التطبيقية التي تربط بين الاحتباس الحراري ونظام SRI في السياق المناخي العراقي.

٥- دعم أهداف رؤية التنمية الزراعية المستدامة ٢٠٣٠ في العراق الرامية إلى خفض الهدر المائي وزيادة الكفاءة الإنتاجية.

١-١-٥- أهمية البحث:-

تنبع أهمية هذا البحث من كونه يهدف إلى بناء قاعدة علمية يمكن من خلالها توجيه السياسات الزراعية نحو تبنّي نظم إنتاج ذكية مناخيًا، قادرة على الصمود أمام ازمة الجفاف الناتجة من التغير المناخي. كما يسهم البحث في:-

١- تطوير فهم علمي لآثار الاحتباس الحراري على النشاط الزراعي في منطقة البحث.

٢- دعم الجهود الوطنية في تحسين كفاءة الري وترشيد استعمال المياه، بما يعزز الأمن الغذائي ويضمن استدامة الإنتاج الزراعي.

٣- المساهمة في رفد الأدبيات الجغرافية الزراعية ببحث علمي يطرح بدائل التكيف المناخي لنظام زراعي ذكيSRI .

٤- الاسهام في طرح نموذج تطبيقي قابل للتعميم في محافظات أخرى مشابهة مناخيًا لمحافظتي للنجف والقادسية.

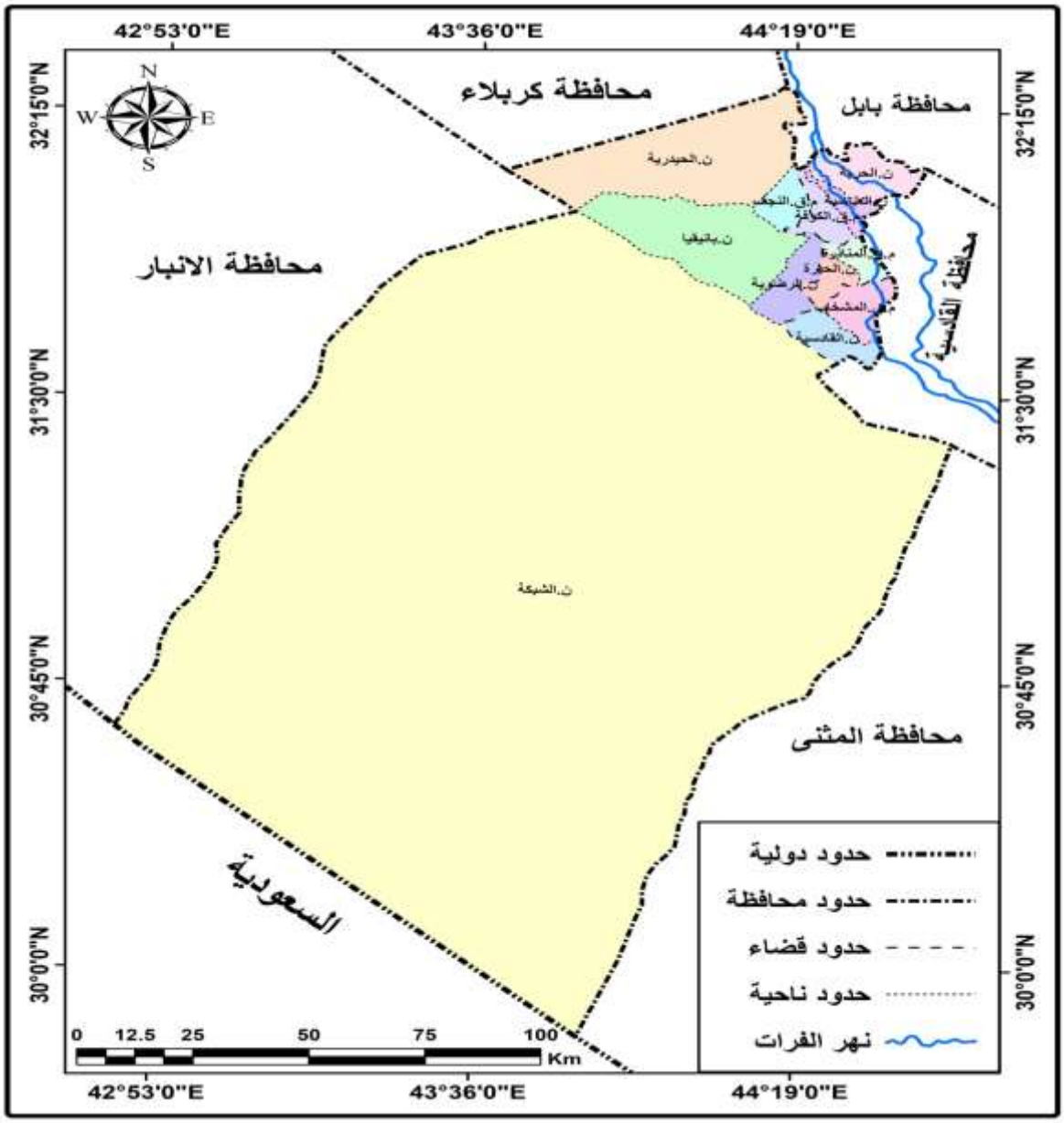
١-١-٦-حدود البحث :-

١-١-٦-١-الحدود المكانية : تحددت الحدود المكانية للبحث بمحافظتي النجف الأشرف والقادسية، الواقعتين في إقليم الفرات الأوسط من العراق، إذ تمتد محافظة النجف فلكيًا بين دائرتي عرض (′٣٢٥١٥–′٣٠٥٠٠شمالًا)، وبين خطي طول (′٤٤٥١٩–′٤٢٥٥٣شرقًا)، في حين تمتد محافظة القادسية بين دائرتي عرض (′٣٢٥٢٠–′٣١٥٢٠شمالًا)، وبين خطي طول (′٤٥٥٣٠–′٤٤٥٣٠ شرقًا) ويضع هذا الامتداد الفلكي المحافظتين ضمن النطاق المناخي شبه الجاف، الذي يتسم بارتفاع درجات الحرارة، وشدة الإشعاع الشمسي، وتذبذب كميات الأمطار في دول المنبع، وهي خصائص مناخية لها تأثير مباشر في الأنشطة الزراعية ولا سيّما زراعة محصول الرز. وقد شملت الدراسة عددًا من الأقضية والنواحي الزراعية داخل كل محافظة، بما يحقق تمثيلًا مكانيًا دقيقًا للتباين البيئي والزراعي القائم. ويُوضَّح الموقع الفلكي والامتداد الجغرافي لمنطقة البحث من خلال الخريطة (١) لمحافظة النجف الأشرف والخريطة (٢) لمحافظة القادسية .

١-١-٦-٢: الحدود الزمانية : تحددت الحدود الزمانية لهذه الدراسة بالمدة الممتدة بين عامي ١٩٨٠–٢٠٢٣، وهي مدة زمنية طويلة نسبيًا جرى تقسيمها إلى أربع دورات مناخية متعاقبة، انسجامًا مع المنهجيات المعتمدة في دراسات التغير المناخي والتحليل المناخي طويل الأمد. ويعود اختيار هذه المدة إلى كونها تمثل إطارًا زمنيًا مناسبًا لرصد وتحليل الاتجاهات العامة للتغيرات التدريجية في عناصر المناخ الرئيسة، ولا سيّما درجات الحرارة، والإشعاع الشمسي، والأمطار، والرطوبة النسبية، والتبخر–النتح. كما تتيح هذه الحدود الزمانية إجراء المقارنات بين المراحل المناخية المختلفة والكشف

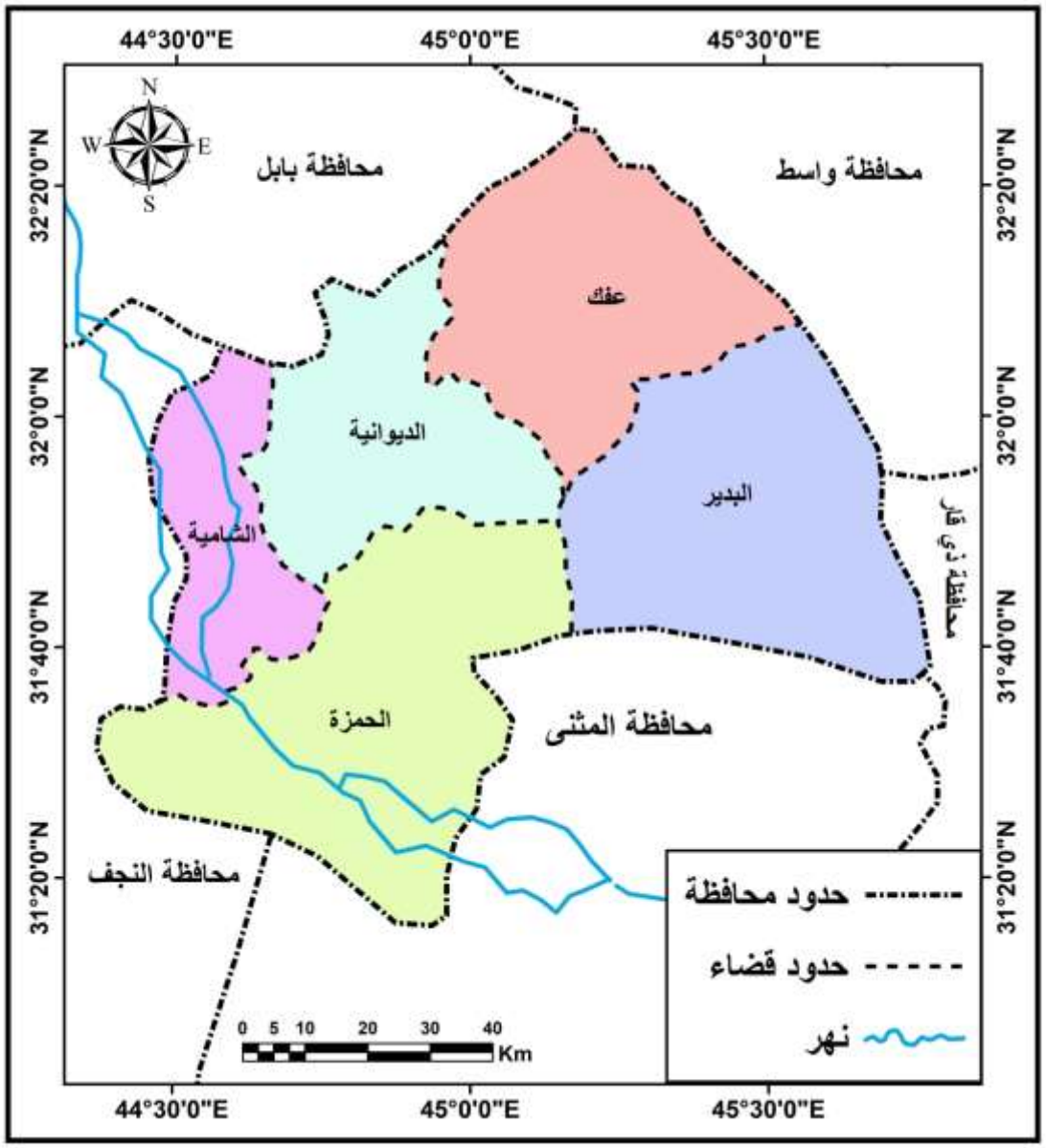
عن التحولات المناخية المؤثرة، فضلًا عن تقييم أثر الاحتباس الحراري والتطرف المناخي خلال العقود الأربعة الأخيرة، وربط ذلك بملاءمة تطبيق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في محافظتي النجف الأشرف والقادسية

١-١-٦-٣- الحدود الموضوعية : دراسة العلاقة بين عناصر المناخ الرئيسة ومتطلبات نظام SRI ضمن إطار الاحتباس الحراري والتغير المناخي.



خريطة (١): الأقضية والنواحي الإدارية في محافظة النجف الأشرف

المصدر: وزارة الموارد المائية ، الهيأة العامة للمساحة، خريطة العراق الإدارية، بغداد ، ٢٠٢٠، بمقياس (١:١٠٠٠٠٠).



خريطة (٢): التقسيمات الإدارية للأقضية في محافظة القادسية

المصدر: وزارة الموارد المائية ، الهيأة العامة للمساحة، خريطة العراق الإدارية، بغداد ، ٢٠٢٠، بمقياس (١:١٠٠٠٠٠).

١-١-٦-٤- مصادر البيانات المناخية ومحطات الرصد المعتمدة

اعتمد البحث على البيانات المناخية المرصودة الصادرة عن الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي، والممثلة بمحطتي النجف الأشرف والديوانية للمدة (١٩٨٠–٢٠٢٣). وقد استُعملت هذه البيانات أساسًا لتحليل أثر الاحتباس الحراري على ملاءمة تطبيق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في منطقة البحث.

١-١-٧- منهج البحث:-

تعتمد الأطروحة منهج جغرافية المناخ التحليأتية–التركيبية بوصفه إطارًا منهجيًا متكاملًا يدمج بين التحليل الكمي للسلاسل الزمنية المناخية والتحليل المكاني، بهدف تشخيص المتطلبات والمحددات المناخية، وبناء الموازنة المائية المناخية لمحصول الرز، وفق المنهج التطبيقي المعتمد في دراسات المناخ الزراعي. ويُوظَّف تحليل مؤشرات التغير المناخي والاتجاهات طويلة الأمد للكشف عن التحولات الحرارية والمطرية في محافظتي النجف والقادسية، بالاستناد إلى أدوات الإحصاء المناخي المتقدم وأساليب التحقق الدلالي للاتجاهات الزمنية. كما يعتمد البحث منهج التقييم المناخي للملاءمة الزراعية لنظام تكثيف زراعة الرز(SRI) ، من خلال الربط التحليأتي بين الخصائص المناخية والدورات المناخية ضمن نماذج متعددة المتغيرات تتيح تفسير العلاقات التفاعلية بين العناصر المناخية وأداء النظام الزراعي. ويُستكمل الإطار المنهجي باعتماد منهج السيناريوهات المناخية المستقبلية القائم على تقييم بدائل التكيف المناخي حتى عام ٢٠٥٠، وذلك وفق معايير كمية مرجّحة تُحلَّل بدلالة مصفوفة اتخاذ القرار متعددة المعايير(MCDA) ، بما يضمن المفاضلة العلمية بين البدائل المقترحة في ضوء كفاءتها المناخية والزراعية.

١-١-٨- متغيرات البحث :-

اعتمد البحث على منظومة مترابطة من المتغيرات تهدف إلى تحليل طبيعة العلاقة بين تغير المناخ وإمكانية التوجّه نحو تطبيق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في محافظتي النجف والقادسية، فضلًا عن تقييم بدائل السيناريوهات المناخية المستقبلية الناتجة عن الاحتباس الحراري، بما يسهم في تحديد الخيار الأمثل لضمان نجاح واستدامة هذا النظام الزراعي.

١-١-٨-١- المتغيرات المناخية (المستقلة/المفسِّرة)

تمثلت المتغيرات المستقلة بمجموعة من العناصر المناخية التي تُعد الأكثر تأثيرًا في كفاءة وملاءمة تطبيق نظامSRI ، وقد جرى اعتمادها بوصفها مؤشرات كاشفة للتغيرات المناخية طويلة الأمد، وهي:

١- شدة الإشعاع الشمسي.
٢- درجة الحرارة.
٣- الرطوبة النسبية.
٤- الأمطار (كمية وتوزيعًا).
٥- سرعة الرياح.
٦- التبخر–النتح المرجعي.(ET_0)
٧- تكرار العواصف الغبارية.

وتُعد هذه المتغيرات عوامل تفسيرية رئيسة في قياس مدى تأثير التغير المناخي على البيئة الزراعية وإمكانات التكيّف المناخي لنظام تكثيف زراعة الرز.

١-١-٨-٢- المتغير التابع

يتمثل المتغير التابع في إمكانية تطبيق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) إيجابًا أو سلبًا في محافظتي النجف والقادسية، بوصفها نتيجة مباشرة لتأثير المتغيرات المناخية المستقلة وتباينها المكاني والزماني. ويُعبّر هذا المتغير عن مدى نجاح أو محدودية تبنّي النظام واستدامة تطبيقه في ضوء تحقق أو عدم تحقق المتطلبات المناخية الملاءمة.

١-١-٨-٣- المتغيرات الخاصة بتقييم سيناريوهات التغير المناخي اعتمدت الدراسة مجموعة من المتغيرات المرتبطة بتقييم سيناريوهات التغير المناخي المستقبلية الناتجة عن الاحتباس الحراري، وذلك لتحديد البديل الأمثل لإنجاح تطبيق نظام SRI في ظل احتمالات تحقق تلك السيناريوهات. وقد استند البحث إلى السيناريوهات المعتمدة من قبل المنظمات الدولية المتخصصة، ولاسيما منظمة الأغذية والزراعة والهيأة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، وفق ما ورد في تقارير عام ٢٠٢١، والتي تمثل الإطار العلمي المرجعي لاستشراف المسارات المناخية المستقبلية.

وبناءً على ذلك، اعتمدت الدراسة السيناريوهات الآتية:

١-١-٨-٣-١: السيناريوهات المناخية المعتمدة

السيناريو الأول٤.٥–SSP٢ :

السيناريو الثاني٧.٠–SSP٣ :

السيناريو الثالث٨.٥–SSP٥ :

أما متغيرات تقييم بدائل السيناريوهات المناخية، والتي تم توظيفها في الفصل الخامس من الأطروحة، فقد تمثلت في مجموعة من المعايير المركبة التي تعكس الأبعاد الإنتاجية والمائية والاقتصادية والبيئية والاجتماعية، وهي:

١-١-٨-٣-٢ معايير التقييم

١- معيار الكفاءة الإنتاجية الزراعية.(APE)

٢- معيار كفاءة استعمال المياه.(WUE)

٣- معيار الكفاءة الاقتصادية.(ECE)

٤- معيار الاستدامة البيئية والاجتماعية.(ESSI)

وتستعمل هذه المعايير بوصفها أدوات تحليأتية لتقييم أداء نظام SRI تحت السيناريوهات المناخية المختلفة، وتحديد البديل الأكثر ملاءمة واستدامة في منطقة البحث.

١-١-٩ الوسائل الإحصائية المستعملة في الدراسة

اعتمدت الدراسة في تحليل العلاقات بين العناصر المناخية ومتطلبات نظام الزراعة الذكية للرز (SRI)على مجموعة من الوسائل الإحصائية الوصفية والاستدلالية، بهدف الكشف عن طبيعة العلاقات الكمية واتجاهها ودرجة قوتها، وتحديد مدى دلالتها الإحصائية. وفي هذا الإطار، جرى استعمال معامل الارتباط البسيط (بيرسون) بوصفه أداة إحصائية ملائمة لقياس طبيعة وقوة واتجاه العلاقة الخطية بين المتغيرات المناخية من جهة، ومتطلبات نظام SRI من جهة أخرى، وذلك بالاعتماد على البيانات الزمنية السنوية خلال مدة الدراسة، لما يتميز به هذا المعامل من كفاءة في تحليل العلاقات بين المتغيرات الكمية المستمرة. وقد تم حساب معامل الارتباط وفق الصيغة الرياضية الآتية:

$$r = \Sigma(X - \bar{X})(Y - \bar{Y}) / \sqrt{\Sigma(X - \bar{X})^2 \times \Sigma(Y - \bar{Y})^2}$$

حيث تمثل r قيمة معامل الارتباط، و XوY قيم المتغيرين المدروسين، في حين تشير $\bar{X}$ و$\bar{Y}$ إلى المتوسط الحسابي لكل منهما.

ولغرض اختبار معنوية معاملات الارتباط إحصائيًا، تم الاعتماد على اختبار(t-test) ، إذ جرى اشتقاق قيمة (t) المحسوبة استنادًا إلى قيمة معامل الارتباط وحجم العينة، وذلك وفق المعادلة الآتية:

$$t = r * sqrt((n - 2) / (1 - r^2))$$

"تم اعتماد معادلة معامل الارتباط (بيرسون) واختبار (t) لدلالته الإحصائية بالاستناد إلى (Walpole et al., ٢٠١٢; Steel & Torrie, ١٩٨٠)".

حيث تمثل r قيمة معامل الارتباط، و n عدد المشاهدات (سنوات الدراسة). كما تم حساب **درجة الحرية** الخاصة باختبار معنوية معامل الارتباط وفق الصيغة:

$$df = n - 2$$

وتُعد درجة الحرية عنصرًا أساسًا في تحديد القيمة الجدولية لاختبار(t) ، إذ جرى اعتماد مستوى دلالة إحصائية مقداره(a = ٠.٠٥) من ثم مقارنة القيمة المحسوبة بالقيمة الجدولية المستخرجة من جداول

توزيع (t) للحكم على معنوية العلاقة الإحصائية.

فضلًا عن ذلك، تم توظيف قيمة الاحتمالية (p-value) بوصفها مؤشرًا إحصائيًا داعمًا لاتخاذ القرار، إذ تمثل احتمال الحصول على قيمة (t) مساوية أو أكبر من القيمة المحسوبة في ظل صحة فرضية العدم. وقد جرى استخراج قيم (p) إما حسابيًا من توزيع (t) أو مباشرة باستعمال البرامج الإحصائية المعتمدة مثل SPSS) و(Excel، وتُعد العلاقة ذات دلالة إحصائية عندما تكون قيمة (p) أقل من مستوى الدلالة المعتمد.

وبذلك، استندت الدراسة في الحكم على معنوية معاملات الارتباط إلى منهجية إحصائية متكاملة تقوم على تكامل قيمة (t) المحسوبة، ودرجة الحرية، والقيمة الجدولية، وقيمة(p) ، بما يضمن دقة القرار الإحصائي ورصانته العلمية في تحليل العلاقات المناخية المرتبطة بنظام الزراعة الذكية للأرز (SRI). ومن جهة أخرى، تم اعتماد أداة التحليل متعدد المعايير لاتخاذ القرار (Multi-Criteria Decision Analysis – MCDA)بوصفها إطارًا تحليلأتيا مناسبًا لتقييم سيناريوهات التغير المناخي المختلفة، لما تتميز به من قدرة على دمج عدد كبير من المعايير المتباينة ضمن نموذج تحليلأتي واحد، بما يتيح المقارنة الموضوعية بين البدائل المناخية المطروحة. ولغرض تطبيق هذه الأداة، جرى اعتماد أسلوب التجميع الخطي الموزون

(Weighted Linear Combination – WLC)، الذي يقوم على إسناد أوزان نسبية لكل معيار وفق أهميته النسبية، ومن ثم احتساب درجة الملاءمة النهائية لكل بديل من خلال مجموع حاصل ضرب القيم المعيارية للمعايير في أوزانها المقابلة، وذلك وفق المعادلة الآتية:

$$Si=\sum(Xij\times Wj)$$

حيث تمثل:

Si: القيمة النهائية أو درجة الملاءمة للبديل (أو السيناريو).i

Xij: القيمة المعيارية للمعيار jjj ضمن البديل .i

Wj: الوزن النسبي للمعيار j، والذي يعكس درجة أهميته في عملية التقييم[1] .

ويُعد هذا الأسلوب من أكثر الأساليب شيوعًا في تقييم السيناريوهات المناخية والبيئية، لما يوفره من مرونة عالية في دمج المعايير المختلفة، ودقة في ترتيب البدائل وفق مستويات الملاءمة، الأمر الذي يسهم في اختيار السيناريو الأمثل لإنجاح تطبيق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في منطقة البحث.

(١) منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (OECD) والمركز المشترك للأبحاث .(JRC) دليل بناء المؤشرات المركبة: المنهجية ودليل المستخدم. باريسOECD Publishing :، ص ١–٦٠، ٢٠٠٨.

١-١-١٠- الدراسات المشابهة (العربية والأجنبية)

تُعد هذه الدراسة من أوائل الدراسات في العراق، التي جمعت بين تحليل ظاهرة الاحتباس الحراري ونظام SRI في إطار مكاني–زماني واحد، إذ لم تتناول الدراسات السابقة هذه العلاقة التكاملية بشكل معمق ضمن منطقة البحث . ومن هنا تتفرد هذه الأطروحة بمحاولة بناء نموذج ملاءمة مناخية متكامل يربط المناخ الذكي بالإنتاج الزراعي، وفق منهجية كمية تعتمد على التحليل الإحصائي والمكاني بعيد الأمد.

١-١-١٠-١- الدراسات العربية المشابهة

تناولت الدراسات العربية نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) من زوايا إنتاجية وإدارية واجتماعية، وتركّز معظمها على مقارنة هذا النظام بالطرائق التقليدية من حيث الغلة، كفاءة استعمال المياه، وبعض الخصائص الفسيولوجية للنبات، دون التعمق في البعد المناخي أو استشراف المستقبل المناخي.

١- أظهرت دراسة حامد وفلائق[١] (٢٠٠٩) حول تطبيق نظام SRI في محافظتي النجف والقادسية للموسم الزراعي ٢٠٠٩ تحسنًا واضحًا في إنتاجية محصول الرز وبعض صفات النمو مقارنة بالطريقة التقليدية، مؤكدة ملاءمة النظام للظروف المحلية. غير أن هذه الدراسة اقتصرت على تقييم موسمي ولم تتناول تأثير المتغيرات المناخية أو التغير المناخي طويل الأمد على كفاءة النظام.

٢- حامد وآخرون[٢] (٢٠٠٩) في دراسة أُجريت بمحافظة المثنى أن تطبيق نظام SRI أدى إلى تحسن مكونات المحصول مع تقليل كميات المياه المستعملة، إلا أن الدراسة لم تتضمن تحليلًا للعناصر المناخية أو سيناريوهات تغير المناخ، واكتفت بالمقارنة الزراعية المباشرة.

٣- حامد[٣] (٢٠١٣) فقد ركّز في دراستين منفصلتين على مواقف مزارعي الرز تجاه نظامSRI ، وعلاقتها ببعض المتغيرات الاجتماعية والإدارية، مبينًا وجود تقبل متزايد للنظام، لكنه لم يربط هذه المواقف بمتغيرات مناخية متغيرة أو بقدرة النظام على التكيف مع الضغوط المناخية المستقبلية.

٤- وفي دراسة تجريبية، توصّل هسّوني[٤] (٢٠١٦) إلى أن جدولة الري واستعمال المواد العضوية ضمن نظام SRI تؤدي إلى تحسين الإنتاجية، إلا أن الدراسة بقيت محصورة ضمن إطار تجريبي محدود، دون الاستناد إلى بيانات مناخية طويلة الأمد أو تحليل اتجاهات مناخية.

---

(١) حامد، خضير عباس، وفلائق، أ. جابر. تطبيق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في محافظتي النجف والديوانية في العراق. تقرير محطة أبحاث الرز، العراق، ٢٠٠٩.

(٢) حامد، خضير عباس، وآخرون. تأثير طرائق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في الإنتاجية ومكونات الغلة لصنف الرز الياسمين. تقرير علمي، محطة أبحاث الرز، المثنى، ٢٠٠٩.

(٣) حامد، خضير عباس. اتجاهات مزارعي الرز نحو نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في محافظة المثنى. مجلة القادسية للعلوم الزراعية، ٢٠١٣.

(٤) هسّوني، نايف ن. ل. تأثير جدولة الري والمواد العضوية تحت نظام تكثيف زراعة الرز .(SRI) رسالة ماجستير، جامعة بغداد، ٢٠١٦.

٥- كما أوضحت دراسات الموسى وآخرون[١] (٢٠٢١) والحسني وآخرون[٢] (٢٠٢١)أن نظام SRI يحقق أداءً تنافسيًا مقارنة بالطريقة التقليدية في مواقع عراقية متعددة، مع اختلاف الاستجابة تبعًا للري وأنماط الحراثة، غير أن هذه الدراسات لم تدمج نماذج مناخية أو مؤشرات تغير مناخي في التحليل.

٦- وفي دراسة حديثة، ناقش الموسى وحامد[٣] (٢٠٢٣) الاستراتيجية العراقية للتخفيف من آثار التغير المناخي باستعمال نظامSRI ، إلا أن الطابع الغالب عليها كان توصيفيًا واستراتيجيًا، دون تحليل كمي للبيانات المناخية أو استعمال نماذج مناخية مستقبلية.

٧- وعلى الرغم من اقتراب دراسة محمد وآخرون[٤] (٢٠٢٣) من موضوع التغير المناخي من خلال التركيز على ندرة المياه، فإنها لم تعالج التغير المناخي بوصفه متغيرًا مستقلاً (مثل ارتفاع درجات الحرارة أو تغير أنماط الهطول).

ومن خلال استعراض الدراسات العربية، يتضح وجود عدد من المحددات المنهجية، أبرزها:

١- غياب التحليل المناخي المستقبلي وربط نظام SRI بسيناريوهات تغير المناخ.

٢- الاعتماد على تجارب موسمية قصيرة الأمد دون تحليل سلاسل زمنية مناخية طويلة.

٣- عدم استعمال مؤشرات مناخية معيارية (كالحرارة المتراكمة أو مؤشرات الجفاف).

٤- غياب القياس الكمي لانبعاثات غازات الدفيئة ضمن حقول SRI.

٥- التركيز على الإنتاج الكمي دون جودة المحصول أو البعد الغذائي.

٦- ضعف البعد الاجتماعي–الاقتصادي المرتبط بالتكيف المناخي.

وهنا تبرز الفجوة المعرفية في الدراسات العربية في عدم وجود دراسة تجمع بين:

١- التحليل المناخي الكمي طويل الأمد.

٢- نمذجة السيناريوهات المناخية المستقبلية(SSP / RCP) .

٣- تقييم كفاءة نظام SRI بوصفه أداة تكيف وتخفيف مناخي.

٤- ربط الأداء الزراعي بالمؤشرات المناخية والانبعاثات الغازية.

---

(١) الموسى، عبد الكريم وآخرون. (٢٠٢١) . Performance of two rice genotypes under SRI and conventional methods. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.

(٢) الحسني، ل. ن. ه. وآخرون. (٢٠٢١). Influence of irrigation and tillage patterns under SRI. *Euphrates Journal of Agriculture Sciences*.

(٣)الموسى، عبد الكريم، وحامد، خضير عباس. (٢٠٢٣ *ICDA(* . Iraqi strategy for mitigating climate change using SRI. *Conference Proceedings*.

(٤) محمد، محمد خالد وآخرون. (٢٠٢٣).*Agronomy*. Water savings, yield, and economic benefits of SRI.

وهو ما يجعل معظم الدراسات العربية وصفية أو مقارنة تقليدية، دون التعمق في التحليل التنبؤي المناخي.

١-١-١٠-٣ الدراسات الأجنبية

تشير دراسة **Dahlgreen** [١] **و (٢٠٢٣) Parr** إلى تحليل منهجي لممارسات زراعة الرز، ولاسيما نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) ونظام الري المتناوب(AWD) ، من حيث تأثيرها على انبعاثات غازات الدفيئة. وقد أظهرت نتائج المراجعة أن تطبيق نظام SRI يسهم في خفض انبعاثات غاز الميثان بنسبة تراوحت بين (٣٥–٤١%) مقارنة بالزراعة التقليدية المغمورة بالمياه، فضلًا عن تحسين كفاءة الإنتاج وتقليل الانبعاثات لكل وحدة محصول. ومع ذلك، اقتصرت الدراسة على تحليل دراسات قائمة دون توظيف نماذج مناخية مستقبلية أو دمج سيناريوهات تغير المناخ، كما لم تعتمد سلاسل زمنية مناخية طويلة، مما يجعل نتائجها مرتبطة بظروف تجريبية حالية أكثر من كونها استشرافية.

وفي دراسة فسيولوجية، أوضح **Thakur وآخرون**[٢] **(٢٠٢٣)** أن نباتات الرز المزروعة وفق نظام SRIتُظهر تفوقًا ملحوظًا من حيث الخصائص المورفولوجية والفسيولوجية، مثل تطور المجموع الجذري وكفاءة التمثيل الضوئي، مقارنة بالطرائق التقليدية. وقد عزت الدراسة هذا التفوق إلى الإدارة المحسّنة للمياه والتربة والتهوية. إلا أن الدراسة، رغم نشرها في مجلة دولية محكّمة، لم تربط هذه الخصائص الفسيولوجية بالمتغيرات المناخية أو مؤشرات الإجهاد الحراري والجفاف، ولم تُدرج أي تحليل لسيناريوهات التغير المناخي المستقبلية.

أما **Uphoff (٢٠٢٤)** [٣]فقد ركّز في ورقة تمهيدية ضمن عدد خاص على إبراز نظام SRI كمدخل شامل للاستدامة الزراعية، مؤكدًا دوره في ترشيد الموارد المائية، وخفض الانبعاثات، وتعزيز مرونة النظم الزراعية. غير أن الطابع العام والمفاهيمي للدراسة، وعدم اعتمادها على تحليل تجريبي أو نمذجة مناخية كمية، يجعلانها إطارًا نظريًا داعمًا أكثر من كونها دراسة تحليلأتية تطبيقية.

ومن جهة أخرى، تشير تقارير وشبكات بحثية دولية، مثل **SRI-Rice Network**و**CGSpace** [٤]، إلى الأثر الإيجابي لنظام SRI في التخفيف من آثار التغير المناخي، ولاسيما في تقليل انبعاثات الميثان

(١) Dahlgreen, J., & Parr, A. (2023). *Exploring the impact of alternate wetting and drying and the System of Rice Intensification on greenhouse gas emissions: A review of rice cultivation practices*. **Agronomy**, 13(5), 1327.

(٢) Thakur, A. K., Rath, S., Mandal, K. G., & Saha, S. (2023). *Do System of Rice Intensification practices produce rice plants phenotypically and physiologically superior to conventional practice?* **Agronomy**,

(٣)Uphoff, N. (2024). *Introduction to the Special Issue on "The System of Rice Intensification (SRI)—Contributions to Agricultural Sustainability"*. **Agronomy**, 14(1), 15.

(٤) SRI-Rice Network. (2022). *SRI and Climate Change Mitigation*. Cornell University, College of Agriculture and Life Sciences.

وتحسين كفاءة استعمال المياه. إلا أن هذه التقارير غالبًا ما تندرج ضمن الأدبيات الرمادية (Grey Literature)، وتفتقر إلى التحكيم العلمي الصارم، كما لا تعتمد نماذج مناخية مستقبلية أو بيانات كمية طويلة الأمد، مما يحد من قوتها التفسيرية في السياق الأكاديمي.

على الرغم من التقدم النسبي في الأدبيات الأجنبية مقارنة بالدراسات العربية، إلا أن مراجعتها تكشف عن عدد من الفجوات المعرفية الجوهرية، أبرزها:

١- غياب نمذجة سيناريوهات تغير المناخ (مثل SSPs أو RCPs) وتأثيرها المباشر على إنتاجية نظام SRI.

٢- الاعتماد على تجارب قصيرة الأمد دون استعمال سلاسل زمنية مناخية طويلة لتحليل الاتجاهات المناخية.

٣- ضعف التكامل بين التحليل المناخي والتحليل الاقتصادي، ولاسيما فيما يتعلق بتكلفة التكيف والعائد الاقتصادي طويل الأمد.

٤- قلة الدراسات متعددة المواقع التي تربط أداء SRI بتباينات مناخية إقليمية واسعة.

٥- محدودية الدراسات التي تناولت تأثير ارتفاع تركيز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وارتفاع درجات الحرارة على جودة محصول الرز وقيمته الغذائية ضمن نظام SRI.

تنطلق هذه الأطروحة من معالجة هذه الفجوات عبر تبنّي مقاربة تكاملية تجمع بين التحليل المناخي والزراعي، وذلك من خلال:

١- تحليل التغيرات المناخية التاريخية في محافظتي النجف والقادسية للمدة (١٩٨٠–٢٠٢٣)

٢- استشراف التغيرات المناخية المستقبلية للمدة (٢٠٢٥–٢٠٥٠) بالاعتماد على سيناريوهات الفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ (IPCC) ضمن المسارات الاجتماعية–الاقتصادية المشتركة (SSPs).

٣- ربط المؤشرات المناخية الرئيسة بكفاءة نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) من حيث الإنتاجية، وكفاءة استعمال المياه، والأثر البيئي.

٤- تقييم دور نظام SRI بوصفه أداة تكيف وتخفيف مناخي في البيئات الجافة وشبه الجافة، ولاسيما في محافظتي النجف والقادسية.

١-١-١١- المفاهيم العلمية الواردة في البحث

١- **الاحتباس الحراري** :- يُعرَّف الاحتباس الحراري بأنه ارتفاع درجة حرارة الأرض نتيجة احتجاز جزء من طاقة الاشعاع الأرضي من النفاذ الى الفضاء الخارجي نتيجة تزايد تركّز غازات الدفيئة في الغلاف الجوي ، ولا سيما ثاني أكسيد الكربون والميثان، مما يؤدي إلى اختلال التوازن الحراري للنظام المناخي العالمي وما يرافقه من تزايد في معدلات درجات الحرارة [١] .

٢- **فلسفة التكيف الزراعي الذكي:** - تشير فلسفة التكيف الزراعي الذكي إلى الإطار المفاهيمي الذي يهدف إلى مواءمة الأنشطة الزراعية مع التغيرات المناخية من خلال تحسين كفاءة استعمال الموارد، وزيادة القدرة على التكيف، وتقليل المخاطر المناخية دون الإخلال بالاستدامة البيئية[٢] .

٣- **التغير المناخي :-** يُقصد بالتغير المناخي معدل التغيير طويل الأمد في معدلات أو أنماط عناصر المناخ الرئيسة، مثل الحرارة والأمطار والتبخر–النتح، سواء كانت ناتجة عن عوامل طبيعية أو أنشطة بشرية[٣].

٤- **مؤشر الملاءمة المناخية (MSI)** :- يمثل مؤشر الملاءمة المناخية أداة تحليلأتية تستعمل لتقييم مدى ملاءمة خصائص عناصر المناخ توافق الظروف المناخية مع المتطلبات البيئية والفسيولوجية للمحصول الزراعي، اعتمادًا على دمج متغيرات مناخية متعددة ضمن قيمة معيارية واحدة[٤].

٥-**الدورة المناخية:-** تُعرَّف الدورة المناخية بأنها مدة زمنية محددة تستعمل لتحليل التغيرات المناخية المرحلية، غالبًا ما تمتد من ١٠ إلى ٣٠ سنة، بهدف تتبع الاتجاهات المناخية ومقارنتها عبر الزمن[٥].

٦- **السيناريوهات المناخية :-** السيناريوهات المناخية هي تصورات علمية مستقبلية محتملة لتغير عناصر المناخ، تُبنى على نماذج عددية تفترض مسارات مختلفة للانبعاثات الغازية والتنمية البشرية[٦].

---

(١) IPCC. *Climate Change* 2021: *The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, (2021),pp. 4-12, 441-445.

(٢) FAO.*Climate-Smart Agriculture Sourcebook*. Rome: FAO, (2017), pp. 23-31

(٣)**Wilks, Daniel S.** (2019). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences* (4th ed.). London: Academic Press, pp. 5–18.

(٤)Allen, R. G. et al. (1998). *Crop Evapotranspiration*. FAO Paper No.56, pp. 56-69.

(٥) Barry, R. G., & Chorley, R. J. *Atmosphere, Weather and Climate*. Routledge, (2010).pp. 98.-91

(٦) IPCC. . *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Cambridge University Press,(2014) pp. 55–67.

٧- **بدائل التكيف المناخي في نظام SRI** :- تشير بدائل التكيف المناخي في نظام SRI إلى مجموعة الاطروحات التخطيطية الزراعية والإدارية التي تهدف إلى تناقص التأثير السلبي لتغير المناخ، مثل الري المتناوب، وبديل تحسين إدارة التربة، وتعديل مواعيد الزراعة[١].

٨- **كفاءة الإنتاج الزراعي (APE):-** تُعرَّف كفاءة الإنتاج الزراعي بأنها العلاقة بين كمية المخرجات الزراعية المحققة ، وحجم المدخلات المستعملة، وتُعد مؤشرًا رئيسًا لقياس فعالية النظم الزراعية ولاسيما نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) [٢].

٩- **كفاءة استعمال المياه(WUE) :-** كفاءة استعمال المياه هي مقدار الإنتاج الزراعي المتحقق لكل وحدة مياه مستعملة، وتُعد مؤشرًا حاسمًا في تقييم استدامة النظم الزراعية في إقليم المناخ الجاف وشبه الجاف [٣].

١٠- **الكفاءة الاقتصادية للتكلفة (ECE)** :- تُقاس الكفاءة الاقتصادية للتكلفة بقدرة النظام الزراعي على تحقيق أعلى عائد ممكن بأقل تكلفة إنتاجية، مع الأخذ بنظر الاعتبار استقرار كلفة الإنتاج واستدامته [٤].

١١- **مؤشر الاستدامة البيئية–الاقتصادية (ESSI):-** يمثل مؤشر الاستدامة البيئية–الاقتصادية أداة تكاملية لتقييم توازن النظام الزراعي بين الكفاءة الاقتصادية والحفاظ على الموارد البيئية على المدى الزمني البعيد [٥].

١٢-**المراحل الفينولوجية** :- هي التتابع الزمني لمراحل نمو النبات وتطوره من الإنبات حتى النضج، والذي يتحكم به التفاعل بين الخصائص الوراثية للنبات والعوامل المناخية، ولاسيما درجة الحرارة وطول النهار، وتُعد مؤشرًا مهمًا لتحديد مواعيد العمليات الزراعية وتقييم تأثير التغيرات المناخية على المحاصيل[٦] .

---

(١) FAO. (2013). *Rice and Climate Change*. Rome: FAO, pp. 102–108.

(٢) Saaty, T. L. (2008). *Decision Making with the Analytic Hierarchy Process*. Int. J. Services Sciences, pp. 83–89.

(٣) عبد الجبار، سعدون حسين. اقتصاديات الإنتاج الزراعي. بغداد: دار الكتب، ص ١١٢–١١٨، ٢٠١٨.

(٤) Jensen, M. E. (2007). *Water Use Efficiency in Agriculture*. Agronomy Journal, pp. 1–5.

(٥)Todaro, M., & Smith, S. (2015). *Economic Development*. Pearson, pp. 215–219.

(٦) Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration* (FAO Irrigation Irrigation and Drainage Paper No. 56). Rome: FAO, p. 30.

١-١-١٢-١- الأسس التطبيقية لتجربة (SRI)

١-١-١٢-١-١- مفهوم نظام تكثيف زراعة الرز(SRI)

يُعَدّ نظام تكثيف زراعة الرز (SRI: System of Rice Intensification) من أهم الأنظمة الزراعية المبتكرة التي ظهرت في العقود الأخيرة، إذ أحدث نقلة نوعية في إدارة الموارد الزراعية والمائية عبر منهجٍ بيئي متكامل يهدف إلى تحقيق إنتاجية أعلى باستعمال موارد أقل. نشأ هذا النظام في مدغشقر مطلع ثمانينيات القرن العشرين على يد الكاهن الفرنسي الأب هنري دي لولاني (Henri de Laulanié)الذي عمل أكثر من عشرين عامًا مع المزارعين المحليين لتطوير طرائق زراعة بديلة للغمر التقليدي، تعتمد على ترشيد المياه وتحسين التربة والتهوية[١] وقد حظي النظام لاحقًا بدعم علمي واسع من قبل معهد كورنيل الدولي للزراعة والغذاء والتنمية (CIIFAD) الذي تبنّى أبحاثه منذ عام ١٩٩٠، مما ساعد على نشره عالميًا كأحد النماذج الرائدة في الزراعة الذكية مناخيًا.

يهدف نظام (SRI) إلى زيادة إنتاجية وحدة المساحة من خلال تعديل بيئة الزراعة بدلاً من الاعتماد المفرط على المدخلات الخارجية، إذ يعتمد على تقليل كميات المياه المستعملة، وزراعة شتلات فتية على مسافات متباعدة، وتحسين التهوية في التربة بما يسمح بنمو جذور قوية ومحصودٍ أوفر. وتشير الدراسات التطبيقية إلى أن هذا النظام أسفر عن زيادة في الإنتاج تتراوح بين ٢٥–٥٠%، مع خفض استهلاك المياه بنحو ٤٠ %مقارنة بالنظام التقليدي [٢]كما أكدت تجارب ميدانية في الهند وتنزانيا أن تطبيق الري بالتناوب ضمن نظام SRI يعزّز امتلاء الحبوب ويقلّل خسائر الماء الناتجة عن التسرب، مع تحفيز نشاط الجذور وزيادة الكفاءة الفسيولوجية للنبات [٣]

١-١-١٢-٢- نشأة وتطور نظام SRI في العراق

دخل نظام SRIإلى العراق رسميًا عام ٢٠٠٥عبر جهود الباحث خضر عباس حميد كرماشة الذي تعرّف على النظام خلال مشاركته في المنتدى العالمي للرز الهجين في الصين عام ٢٠٠٤، حيث التقى بالبروفيسور نورمان أبهوف (Norman Uphoff) مدير معهد كورنيل ومؤسس شبكة .SRI Global وبعد عودته، باشر بتطبيق المبادئ الأساسية للنظام في محطة أبحاث الرز في المشخاب بمحافظة النجف، عبر زراعة شتلات فتية بمسافات متباعدة واستعمال كميات محدودة من المياه، وحقّقت

(1)Uphoff, N. (2007). *The System of Rice Intensification: Using Alternative Cultural Practices to Increase Rice Production and Profitability*. FAO, Rome, pp. 12–15.

(2) **Biswal, A., et al. (2013). "Site Suitability Analysis of SRI Cultivation in Andhra Pradesh."** ***Journal of Rice Research*****, 6(2), pp. 15–18.**

(٣)**Uphoff, N.** *op. cit.*, pp. **12–15**.

التجارب نتائج إيجابية تمثلت بارتفاع الإنتاج بنسبة ٪٢٠وانخفاض استهلاك المياه بنسبة مماثلة [١] ثم توسّعت التجارب في محافظات النجف، القادسية، المثنى، وذي قار، وأجريت دراسات علمية متعددة حول كفاءة استعمال المياه(WUE) ، وخصوبة التربة، وأثر المادة العضوية على تحسين الإنتاج، فضلاً عن البحوث الاقتصادية والاجتماعية التي تناولت جدوى تطبيق النظام. وفي عام ٢٠١٠، كرّمت وزارة الزراعة العراقية الباحث كرماشة ضمن احتفالية الأسبوع الزراعي الثاني في معرض بغداد الدولي تقديرًا لإسهامه في إدخال نظام زراعة حديث ومستدام للعراق [٢]

وقد أثبتت التجارب العراقية أن نظام SRI يتلاءم مع الظروف المناخية شبه الجافة للعراق، إذ يقلّل من الضغط المائي في مدة الجفاف، ويرفع كفاءة التربة في الاحتفاظ بالرطوبة. كما ينسجم مع توجهات الزراعة المستدامة التي تتبناها المنظمات الدولية مثل منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (FAO) والاتحاد الأوروبي، واللتين اعتبرتا SRI من أبرز الابتكارات الزراعية القادرة على دعم الأمن الغذائي ومواجهة آثار التغير المناخي [٣]

١-١-١٢-٣- المبادئ الستة الأساسية لنظامSRI

١- زراعة الشتلات الفتية بعمر (٨–١٢) يومًا لتحقيق تجذير قوي واستجابة فسيولوجية مرتفعة.

٢- استعمال شتلة واحدة فقط في الجورة بدلاً من الزراعة الكثيفة لتقليل المنافسة بين النباتات.

٣- المباعدة الواسعة بين الشتلات(٢٥×٢٥) سم أو أكثر لتسهيل التهوية والنمو الجانبي.

٤- الري بالتناوب بدلاً من الغمر المستمر لتقليل الانبعاثات الغازية وتحسين تهوية التربة.

٥- الاعتماد على الأسمدة العضوية والمخلفات الزراعية لتعزيز النشاط الميكروبي وتحسين البنية الفيزيائية للتربة.

٦- إزالة الأعشاب ميكانيكيًا بانتظام لزيادة الأوكسجين في التربة وتنشيط العمليات الحيوية داخلها.

١-١-١٢-٤- أهمية تطبيق نظام SRI في منطقة البحث (النجف والقادسية)

تُعَدّ محافظتا النجف والقادسية من أهم مناطق إنتاج الرز في العراق، لما تتمتعان به من أراضٍ فيضية غنية ومناخ حارّ شبه جاف، إلا أن التغيرات المناخية المتسارعة وارتفاع درجات الحرارة وتراجع الإيرادات المائية في حوض الفرات جعلا الزراعة التقليدية عرضةً لتحديات خطيرة تهدد استدامة هذا

(١)**Uphoff, N. (2005). Features of SRI Apart from Increase in Yields. CIIFAD, Cornell University, New York, pp. 20–22.**

(٢) وزارة الزراعة العراقية. تقرير الأسبوع الزراعي الثاني ومعرض بغداد الدولي، بغداد، ص ٣٣–٣٥، ٢٠١٠.

(٣)**Meyer, R. (2009). Agricultural Technologies for Developing Countries. European Parliament, Brussels, pp. 10–12.**

النشاط الحيوي. ومن هنا برزت أهمية نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) كخيار استراتيجي لتحقيق التوازن بين متطلبات الأمن الغذائي والموارد المائية المتناقصة [١]

يستند نظام SRI إلى فلسفة الإدارة المتكاملة للعوامل الزراعية –التربة، والماء، والنبات – من أجل تعزيز الكفاءة الإنتاجية وخفض استهلاك الموارد، حيث يُمكّن المزارعين من تحقيق إنتاج مرتفع باستعمال كميات أقل من المياه والبذور والأسمدة. وتكتسب أهمية هذا النظام في منطقة البحث بعدًا خاصًا نظرًا لكونها تقع في نطاق الإقليم المناخي شبه الجاف الذي تتراوح فيه معدلات الأمطار بين (١٠٠–١٥٠ ملم/سنة)، وتتجاوز فيه معدلات التبخر السنوية (١٦٠٠ ملم/سنة)، مما يجعل أي تحسّن في كفاءة الري ذا تأثير مباشر على استدامة الإنتاج الزراعي [٢]

كما أن طبيعة الأراضي في النجف والقادسية تتسم بارتفاع نسبي في ملوحة التربة نتيجة الغمر المتكرر وضعف الصرف الزراعي، وهو ما يجعل نظام SRI أكثر ملاءمة من الطرائق التقليدية، لأنه يعتمد على الري بالتناوب بدلاً من الغمر المستمر، مما يقلّل تراكم الأملاح ويُحسّن التهوية الجذرية ويزيد النشاط الميكروبي للتربة. وتشير الدراسات الميدانية إلى أن تطبيق النظام في القادسية خلال مواسم (٢٠١٩–٢٠٢٣) أدى إلى خفض استهلاك المياه بنسبة ٣٥ %ورفع الإنتاج بنسبة ٢٢٪–١٨٪ مقارنة بالنظام التقليدي [٣]

من جانبٍ بيئي، يُسهم تطبيق SRI في تقليل انبعاثات غاز الميثان (CH_4) الناتجة عن الغمر المستمر للحقول، وهو ما يُعدّ خطوة مهمة في خفض البصمة الكربونية للقطاع الزراعي، إذ تشير تقديرات منظمة الأغذية والزراعة (FAO) إلى أن انبعاثات الميثان من حقول الرز تشكّل نحو ١٠٪من مجمل الغازات الدفيئة الزراعية عالميًا، ويمكن خفضها بمعدل ٤٠٪–٣٠عبر تقنيات الري المتناوب [٤]. أما على الصعيد الاقتصادي، فإن النظام يُقلل تكاليف الإنتاج من خلال خفض استهلاك المياه والأسمدة والبذور بنسبة تراوح بين ٤٠٪–٢٥، وهو ما يعزز العائد الصافي للمزارع ويدعم الاستدامة المعيشية في المجتمعات الريفية.

وتبرز أهمية SRI كذلك في بعده الاجتماعي والمعرفي، إذ يتيح نقل المعرفة الزراعية الحديثة إلى المزارعين المحليين من خلال التجارب الميدانية والدورات التدريبية التي تنفذها محطة أبحاث الرز

(١)Uphoff, N. (2021). SRI as a Climate-Smart Practice. Cornell University, Ithaca, pp. 41–43.

(٢)الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي. السجلات المناخية لمحافظتي النجف والقادسية (١٩٨٠–٢٠٢٣)، بغداد، ص ٢٢–٢٥، ٢٠٢٤.

(٣)خضر عباس حميد. تقييم كفاءة تطبيق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في محافظة القادسية، محطة أبحاث الرز في المشخاب، ص ١٨–٢٠، ٢٠٢٣.

(٤)FAO. (2022). *Climate-Smart Agriculture Sourcebook*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, pp. 84–87.

في المشخاب بالتعاون مع الجامعات الزراعية العراقية. كما يسهم في بناء ثقافة زراعية جديدة قائمة على الوعي المائي والبيئي بدلاً من الاعتماد على الأساليب التقليدية المهدّرة للمياه.

وبناءً على ما سبق، فإن تطبيق نظام SRI في محافظتي النجف والقادسية يُمثل ضرورة علمية وتنموية، ليس فقط كبديل تقني لطرق الري، بل كمنظور تكاملي لمواجهة آثار الاحتباس الحراري والتغير المناخي. فالنظام يجمع بين الكفاءة البيئية، والجدوى الاقتصادية، والمرونة المناخية، مما يجعله خيارًا واقعيًا لدعم الأمن الغذائي الوطني وتعزيز التكيّف الزراعي المستدام في بيئات وسط وجنوب العراق [١]

١-١-١٢-٥- : مقارنة منهجية بين الريّ بالرشّ ونظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في البيئات الحارة شبه الجافة

تُعدّ تقنيات الري من العناصر الأساسية في تحديد كفاءة الإنتاج الزراعي في البيئات الحارة شبه الجافة، ولا سيما في محافظتي النجف والقادسية اللتين تعانيان ارتفاعًا مستمرًا في درجات الحرارة وتزايدًا في معدلات التبخر وانخفاضًا في الأمطار، كما توضّحه السلاسل المناخية طويلة الأمد ضمن الإطار النظري للدراسة [٢]. وتبرز في ظل هذه الظروف الحاجة إلى تقييم ملاءمة الريّ بالرشّ مقارنة بـ نظام تكثيف زراعة الرز(SRI) ، خصوصًا فيما يتعلق بالكفاءة المائية وقدرة النبات على التكيف مع الإجهاد الحراري السائد في المنطقة.

ولغرض بيان أوجه الاختلاف بين النظامين، يُقدَّم الجدول (١) بوصفه مقارنة منهجية تشمل أهم الخصائص المناخية والفسيولوجية والزراعية المؤثرة في نجاح زراعة الرز في البيئات شبه الجافة.

---

[١] عبد الغفار، محمود. التغير المناخي وأثره على الأمن الغذائي في الوطن العربي، جامعة القاهرة، كلية الجغرافية، ص ٩٥–٩٧، ٢٠٢٢.

[٢] الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي. السلاسل المناخية لمحافظتي النجف والقادسية، بغداد، ص ٤٤–٤٦، ٢٠٢١.

جدول(١) مقارنة بين الريّ بالرشّ ونظام SRI في البيئات الحارة شبه الجافة

المعيار المقارن	الريّ بالرشّ	نظام تكثيف زراعة الرزSRI
الرطوبة والتهوية	رطوبة سطحية متذبذبة؛ تبخر مرتفع	تهوية عميقة ورطوبة متوازنة تدعم نمو الجذور
الملاءمة المناخية	غير ملائم للرز؛ حساس للجفاف وحرارة السطح	ملائم للرز في البيئات الحارة عبر الريّ المتناوب
الأمراض والإصابات	ابتلال الأوراق ← زيادة الأمراض الفطرية	تقليل رطوبة السطح ← انخفاض الإصابات المرضية
الكفاءة المائية	هدر مرتفع للمياه نتيجة التبخر والرياح	ترشيد ٢٥–٤٠% من المياه بالريّ المتناوب
الطاقة والتشغيل	حاجة لضغط عالٍ وطاقة كهربائية مستمرة	تكاليف تشغيل أقل وعدم الحاجة لضغط مرتفع
الإنتاجية	انخفاض الإنتاج ٢٠–٤٠%	زيادة الإنتاج ٢٥–٦٠%
الأثر البيئي	زيادة انبعاثات الميثان بسبب قلة التهوية	خفض الميثان وتحسين البصمة الكربونية

المصدر: بالاعتماد على تقارير **منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة** و**المعهد الدولي لبحوث الرز**، ودراسات مقارنة حول نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في البيئات الحارة شبه الجافة

.يوضّح الجدول (١) الفارق الواضح بين الريّ بالرشّ ونظام SRI من حيث الاستجابة المناخية والفسيولوجية لمحصول الرز. ففي البيئات الحارة مثل النجف والقادسية، تؤدي ارتفاعات درجات الحرارة وزيادات معدلات التبخر إلى انخفاض كفاءة الريّ بالرش، بسبب فقدان جزء كبير من المياه قبل وصولها إلى التربة [١]. ويُضاف إلى ذلك أنّ الرز محصول يتطلب رطوبة أرضية مستقرة، بينما يمنح الريّ بالرشّ رطوبة سطحية فقط، وهو ما لا يتناسب مع حاجاته الفسيولوجية.

وتشير نتائج التطبيقات الميدانية إلى أن الريّ بالرش يزيد من الأمراض الفطرية والبكتيرية نتيجة

(١)**FAO. (2022).** ***Climate-Smart Agriculture Sourcebook*****. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, pp. 75–77.**

ابتلال الأوراق المتكرر، بينما يحقق نظام SRI انخفاضًا ملحوظًا في معدلات الإصابة المرضية بفضل تحسين التهوية وتقليل الرطوبة السطحية [١]. كما أن اعتماد الرش على مضخات ذات ضغط عالٍ يجعله أكثر تكلفة، فضلًا عن حاجته إلى طاقة كهربائية مستقرة، وهو ما لا يتوافق مع واقع البنية الزراعية في العراق [٢]

أما على مستوى الكفاءة المائية، فقد بينت الدراسات التطبيقية أن الريّ بالرش يتأثر بشدة بسرعة الرياح والإشعاع الشمسي، مما يؤدي إلى هدر مائي كبير، مقابل كفاءة أعلى لنظام SRI الذي يعتمد على الريّ المتناوب وتحسين خصوبة التربة والتهوية، وبما يحقق ترشيدًا قد يصل إلى ٤٠% من المياه المستعملة [٣] وبناءً على ذلك، يؤكد هذا التحليل أن نظام SRI يُعدّ الخيار الأكثر ملاءمة لزراعة الرز في البيئات الحارة شبه الجافة، نظرًا لارتفاع كفاءته المائية وقدرته على تعزيز التكيف الحراري والبيئي للمحصول.

١-١-٢ ١٢-٦- المزارعون المنفّذون لنظام تكثيف زراعة الرز (SRI) ودورهم في إثراء الجانب التطبيقي للدراسة

يُعدّ البعد الميداني من الركائز الأساسية في هذه الدراسة، إذ حرص الباحث على أن لا تبقى دراسة نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) ضمن الإطار النظري، بل أن تمتد إلى الواقع العملي في الحقول الزراعية ضمن محافظتي النجف الأشرف والقادسية، حيث تُطبّق الزراعة المروية في ظل ظروف مناخية متغيرة وتحديات مائية متزايدة. ومن أجل ذلك، تعاون المزارعين بشكل مباشر مع الباحث خضر عباس حميد كرماشة في محطة أبحاث الرز في المشخاب، وهو من أوائل المختصين الذين أدخلوا هذا النظام إلى العراق وواكبوا تطبيقاته الحقلية منذ عام ٢٠٠٥. ومن خلال هذا التعاون البحثي والزيارات الميدانية المتكرّرة، تمكّن الباحث من الوصول إلى عددٍ من المزارعين الذين نفّذوا نظام SRIعمليًا في حقولهم خلال السنوات الماضية، وتمت دراسة تجاربهم وتحليل نتائجها بشكل علمي منهجي [٤]

وقد استندت هذه اللقاءات الميدانية إلى منهج علمي قائم على الملاحظة المباشرة والمقابلة نصف الموجّهة مع المزارعين الذين اكتسبوا خبرة عملية طويلة في تطبيق النظام، إذ تم التعرّف على أساليبهم في إدارة المياه والتربة، ومواعيد الزراعة، وطريقة التعامل مع الشتلات الفتية. ومن أبرز

(١)Uphoff, N. (2021). *SRI as a Climate-Smart Practice*. Cornell University, Ithaca, pp. 41–43.

(٢) حيدر عباس الخالدي، الاحتباس الحراري وتأثيره على الإنتاج الزراعي في العراق، جامعة بغداد، ص ٥٥–٥٧، ٢٠١٩.

(٣) Biswal, A., et al. (Year). *Site Suitability Analysis for SRI*. *Journal of Rice Research*, pp. 17–19.

(٤)محطة أبحاث الرز في المشخاب. تقرير النتائج الحقلية لتطبيق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في وسط الفرات، وزارة الزراعة العراقية، ص ١٥–٢٠، ٢٠٢٣.

هؤلاء المزارعين الذين أسهموا بخبراتهم في تطوير فهم الباحث للنظام: من محافظة النجف الأشرف كلٌّ من مهند حمود المحنة، علي مردان الحسناوي، رزاق صبار لفتة، محمد عبود مهدي الفتلاوي، عبد الله العذاري، موسى الغزالي، وخالد عظيم عبد الكريم، ومن محافظة القادسية كلٌّ من جمال فريد العطية، محمد حمود بدن، جبار هلاسة، التفات محمد عبد، كريم شاكر كزار، وعارف فخري موسى.

وقد أتاحت خبرة هؤلاء المزارعين، إلى جانب التوجيهات البحثية للبروفسور نورمان أبهوف (Norman Uphoff)، تكوين قاعدة معرفية تطبيقية مكّنت الباحث من تحليل الأداء الحقلي للنظام بدقة. وأظهرت التحليلات التكاملية بين البيانات المناخية والنتائج الحقلية أن نظام SRI يمثل نموذجًا متوازنًا للتكيّف الزراعي في ظلّ المناخات الحارة الجافة، إذ حقّق كفاءة مائية وإنتاجية تفوق الطريقة التقليدية، مما يعكس انسجام هذا النظام مع الخصائص المناخية المحلية واستجابته الفعالة لتحديات شح المياه وارتفاع درجات الحرارة [١]

وتجدر الإشارة إلى أن هذا التعاون الميداني لم يكن مجرد جمع بيانات، بل كان تفاعلًا علميًا بين الخبرة البحثية والتطبيق الزراعي المحلي، إذ استفاد الباحث من التراكم المعرفي لمشروعات محطة أبحاث المشخاب ودائرة الإرشاد الزراعي في القادسية لتوثيق التطور الزمني لتطبيق SRI في الفرات الاوسط. وقد انعكس ذلك في صياغة التحليل المكاني–الزماني للملاءمة المناخية ضمن الفصل الرابع من هذه الأطروحة، حيث جرى دمج الخبرة الميدانية مع التحليل الإحصائي لتقييم جدوى النظام في بيئة شبه جافة [٢]

وهكذا، فإن الدور الذي قام به الباحث بالتعاون مع المختصين والمزارعين يُعدّ مثالًا تطبيقيًا على الربط بين البحث العلمي والممارسة الزراعية الواقعية، وعلى تكامل الجهود الوطنية في مواجهة آثار التغير المناخي عبر تطوير أنظمة الزراعة الذكية والمستدامة.

١-٢- المبحث الثاني الدليل الفلسفي للأطروحة

١-٢-١- من الظاهرة المناخية إلى الإشكالية المعرفية–المكانية

تستند هذه الأطروحة على رؤية فلسفية تعتبر أن الظواهر المناخية لا يمكن مقاربتها بوصفها نتائج رقمية أو تغيرات فيزيائية معزولة، بل ينبغي فهمها ضمن سياق مركّب تتداخل فيه الأبعاد المعرفية والمكانية والزمنية، فالاحتباس الحراري، من هذا المنظور، لا يقتصر على كونه زيادة تدريجية في المعدلات الحرارية، وإنما يُجسّد تحولًا هيكليًا عميقًا في عمل النظام المناخي العالمي، بما يفضي إلى

(١) مديرية زراعة القادسية. التقييم الفني لتجارب المزارعين في تطبيق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في قضاء الشامية وغماس، دائرة الإرشاد الزراعي، ص ٢٧–٣٠، ٢٠٢٣.

(٢)Uphoff, N. (2021). *SRI as a Climate-Smart Practice*. Cornell University, Ithaca, pp. 42–45.

إعادة تنظيم العلاقات بين الإنسان والمناخ، ويعيد صياغة شروط الاستقرار البيئي والإنتاج الزراعي داخل الأقاليم المختلفة.

وفي الأقاليم التي تعاني أصلًا من الهشاشة المائية والمناخية، ولاسيما في منطقة البحث ، تتخذ آثار هذا التغير المناخي أبعادًا أكثر تعقيدًا، إذ تتجاوز حدود التأثير البيئي لتطال البنى الاقتصادية والاجتماعية وأنماط استغلال الموارد الطبيعية. ومن ثمّ، فإن اختزال الاحتباس الحراري في إطار "مشكلة تقنية" قابلة للمعالجة عبر حلول جزئية أو تدخلات ظرفية، يمثل مقاربة قاصرة لا تستوعب الطبيعة البنيوية لظاهرة الاحتباس الحراري وما يرافقه من تغير في عناصر المناخ ، ولا تنسجم مع عمق التحولات التي يفرضها على المنظومات المناخية والزراعية على المدى الزمني البعيد [١].

ويستدعي هذا التصور تجاوز المقاربات الوضعية التي تتعامل مع المناخ بوصفه عنصرًا منفصلًا عن الإنسان والمكان، والانتقال نحو مقاربة ارتباطية ترى في المناخ نتاجًا لشبكة معقّدة من التفاعلات المتبادلة بين العمليات الطبيعية والممارسات البشرية عبر الزمن. ووفق هذا الفهم، لا يُنظر إلى المناخ كحالة ساكنة أو معطى ثابت، بل كمسار تاريخي دينامي يتغير باستمرار، في حين يُعاد تعريف المكان الزراعي بوصفه حصيلة تراكمية لهذه التفاعلات، وليس مجرد حيز محايد تجري داخله الظواهر.

وممّا تقدّم يتضح أن معالجة آثار الاحتباس الحراري تقتضي تبنّي مقاربة ارتباطية تكاملية، تنظر إلى المناخ والمكان الزراعي كنظام واحد متفاعل، بما يوفّر أساسًا علميًا وفلسفيًا لإعادة بناء سياسات التكيّف الزراعي والمناخي في إطار استدامي طويل الأمد.

١-٢-٢- فلسفة علم المكان والتحول في الفكر الجغرافي المعاصر

يُعد مفهوم **المكان** في هذه الأطروحة مرتكزًا فلسفيًا ومنهجيًا أساسًا للتحليل، إذ لا يُتعامل معه بوصفه حيّزًا جغرافيًا ثابتًا أو وعاءً مكانيًا محايدًا، بل يُفهم ككيان ديناميكي يتشكّل عبر التفاعل المستمر بين الإنسان والمناخ ضمن إطار زمني محدد. فالمكان، بهذا المعنى هو نتاج تاريخي لتراكم العلاقات بين العوامل البيئية والبشرية، وليس مجرد خلفية صامتة للأحداث والعمليات.

وتجدر الإشارة الى أن الفكر الجغرافي المعاصر تحولًا نوعيًا في مقاربته لهذا المفهوم، تمثل في تجاوز التفسيرات التقليدية ذات الطابع الخطي والسببية المباشرة، التي كانت تستند إلى الحتمية المناخية وتفصل بين الطبيعة والانسان، نحو تبنّي مقاربات ارتباطية ترى أن الظواهر الطبيعية، ومنها المناخ، تتداخل بنيويًا مع البنى الاجتماعية والاقتصادية والسياسية داخل وحدة مكانية واحدة. وبذلك، لم يعد

(١) IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis.Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 2021, pp. 121–135.

المكان يُفهم من خلال خصائصه الفيزيائية فحسب، بل من خلال شبكة العلاقات التي تنتج داخله وتعيد تشكيله باستمرار.

وهذا ما يفسر تأكيد ديفيد هارفي إلى أن الظواهر الجغرافية لا يمكن تفسيرها بمعزل عن العمليات الاجتماعية التي تسهم في إنتاجها وإعادة إنتاجها، وأن المكان ذاته يخضع للتحول تبعًا لتغير أنماط التفاعل بين الإنسان والمناخ. وانطلاقًا من هذا المنظور، فإن دراسة المناخ في محافظتي النجف والقادسية لا ينبغي أن تقتصر على تحليل السلاسل المناخية والمؤشرات الإحصائية، بل يجب أن تُدرج ضمن سياق تاريخي–مكاني أوسع، يوضح كيف أسهمت أنماط الزراعة التقليدية في ترسيخ مظاهر الهشاشة المائية، وكيف جاء التغير المناخي ليعمّق هذا الخلل البنيوي ويكشف حدوده البيئية والاقتصادية[١] .

وممّا تقدّم نستنتج أن دراسة المناخ في محافظتي النجف والقادسية تقتضي إطارًا تحليلأتيا تاريخيًا–مكانيًا متكاملًا، يربط بين التحولات المناخية وأنماط الزراعة والهشاشة المائية، بما يتيح فهمًا أعمق للاختلالات البنيوية ويمهّد لتصورات تكيفية أكثر استدامة.

١-٢-٣- المناخ بوصفه مسارًا تاريخيًا وتحولات النموذج الزراعي التقليدي

تمثل الزراعة التقليدية السائدة في محافظتي النجف والقادسية انعكاسًا مباشرًا لنموذج معرفي تشكّل تاريخيًا في ظل مسلّمتين أساسيتين، هما افتراض ثبات الخصائص المناخية، والاعتماد على وفرة نسبية في الموارد المائية. وقد تجسّد هذا النموذج في أنماط إنتاجية قائمة على الري بالغمر، وارتفاع معدلات الاستهلاك المائي، مع محدودية الاهتمام بكفاءة إدارة التربة والمياه، أو مراعاة التوازنات المناخية طويلة الأمد. إلا أن تسارع التغيرات المناخية خلال العقود الأخيرة، وما رافقه من تزايد موجات الجفاف وارتفاع درجات الحرارة، كشف بصورة متنامية عن هشاشة هذا النموذج وعدم قدرته على الاستجابة لشروط الواقع المناخي الجديد.

ومن منظور فلسفة العلم، يمكن تفسير هذا العجز بوصفه نتيجة لتراكم اختلالات بنيوية لم يعد النموذج الزراعي التقليدي قادرًا على استيعابها أو تفسيرها ضمن إطاره المفاهيمي القائم. وتتجلى هذه الاختلالات في مظاهر متعددة، من بينها تراجع الإنتاجية الزراعية رغم تصاعد حجم المدخلات، وتناقص كفاءة استعمال المياه، وازدياد مستويات الإجهاد الحراري التي تتعرض لها المحاصيل ولا سيما محصول الرز خلال المراحل الفينولوجية الحساسة. ويشبه هذا الوضع ما أشار إليه توماس كون في تحليله لتطور المعرفة العلمية، حين تحدث عن لحظة الأزمة التي يبلغها النموذج الإرشادي القائم

(١) Harvey, D. *Explanation in Geography*.Edward Arnold Publishers, London, United Kingdom, 1969,pp. 307–322.

بعد عجزه عن تفسير الظواهر المستجدة، الأمر الذي يمهّد للانتقال نحو نموذج معرفي بديل أكثر قدرة على تفسير الواقع والتكيف مع تحولاته[١] .

وممّا تقدّم يتضح أن عجز الزراعة التقليدية في محافظتي النجف والقادسية عن التكيّف مع التحولات المناخية المتسارعة يعكس أزمة بنيوية في النموذج المعرفي القائم، تتجلى في انخفاض الكفاءة المائية وتراجع الإنتاجية وتزايد الإجهاد الحراري للمحاصيل.

١-٢-٤- نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) بوصفه إطارًا معرفيًا–تكيفيًا بديلًا

تجدر الإشارة الى ان نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) ليس باعتباره مجرد حزمة من الممارسات التقنية الحديثة، بل بوصفه نموذجًا معرفيًا بديلًا يعكس تحوّلًا جوهريًا في فلسفة إدارة المكان الزراعي، إذ يقوم هذا النظام على إعادة صياغة العلاقة الوظيفية بين عناصر الماء والنبات والتربة في ظل تغير المناخ وتزايد احتمالية الجفاف ، من خلال الحدّ من الغمر المستمر، وتعزيز تهوية الوسط الجذري، وتحفيز الامتداد الجذري، بما يؤدي إلى رفع كفاءة استغلال الموارد الطبيعية المتاحة.

ومن منظور فلسفي أعمق، يُجسّد نظام SRI انتقالًا من منطق الإخضاع والسيطرة على النظم الطبيعية إلى منطق التكيّف العقلاني معها، ومن تصور الأرض كحيز إنتاجي ساكن إلى فهمها كنظام ديناميكي حيّ تحكمه حدود بيئية دقيقة. وبهذا المعنى، يغدو SRI تمثيلًا تطبيقيًا لفلسفة علم المكان وخصائصه المناخية التي ترى أن المعرفة العلمية تبلغ اكتمالها حين تتحول إلى ممارسة مكانية واعية، قادرة على إعادة توجيه السلوك الزراعي الإنساني بما ينسجم مع التحولات البنيوية المتسارعة في النظام المناخي.

وممّا تقدّم يتضح أن تبنّي نظام SRI يمثّل انتقالًا نوعيًا من نموذج السيطرة على الطبيعة إلى نموذج التكيّف الواعي معها، ويؤسّس لممارسة زراعية مكانية مستدامة تنسجم مع المسار التاريخي المتحوّل للمناخ ومتطلبات الأمن المائي والغذائي.

١-٢-٥- البعد الأخلاقي والمعرفي للتكيف المناخي

لا يقتصر التحول باتجاه تبني نظم زراعية تكيفية، مثل نظام تكثيف زراعة الرز(SRI) ، على كونه استجابة تقنية أو خيارًا اقتصاديًا وقفاً لتغير المناخ وتزايد احتمالية الجفاف ظرفيًا، بل يتجاوز ذلك ليعبّر عن تحوّل أخلاقي في فهم علاقة الإنسان بالمكان الذي يعيش ويُنتج فيه. فالتكيف المناخي، ضمن هذا المنظور، لا يُنظر إليه كإجراء مؤقت لمواجهة ضغوط بيئية طارئة، بل كالتزام معرفي–أخلاقي

(١) Stoop, W. A., Uphoff, N., & Kassam, A."A Review of Agricultural Research Issues on the System of Rice Intensification (SRI)."*Agricultural Systems*, Elsevier Science, Amsterdam, Netherlands, 2002,Vol. 71, Issues 1–2, pp. 249–274.

يفرض على الإنسان إعادة ضبط سلوكه الإنتاجي بما يضمن استدامة الموارد الطبيعية وعدم استنزافها على حساب الأجيال المقبلة.

ويستدعي هذا التوجه تجاوز أنماط التخطيط الزراعي التقليدية القائمة على تزايد العائد الانتاجي الفوري، والانتقال نحو تخطيط تكيفي طويل الأمد يأخذ في الحسبان حدود المكان وخصائص المناخ وقدرته على التجدد والاستيعاب، وانطلاقًا من ذلك، ترتكز هذه الأطروحة على رؤية فلسفية ترى أن مواجهة ظاهرة الاحتباس الحراري وما ينتج عنها من تغير في عناصر المناخ لا تندرج ضمن الحلول التقنية المعزولة فحسب، بل تمثل مشروعًا معرفيًا–أخلاقيًا شاملًا يعيد صياغة منطق التنمية الزراعية، ويعيد توجيه الفعل الإنساني في انسجام مع التحولات البنيوية للنظام المناخي.

وممّا تقدّم يتضح أن مواجهة الاحتباس الحراري تُعدّ مشروعًا معرفيًا–أخلاقيًا شاملًا، يستلزم إعادة صياغة فلسفة التنمية الزراعية بما ينسجم مع التحولات البنيوية في النظام المناخي ويعيد بناء علاقة متوازنة بين الإنسان والمناخ والمكان.

١-٢-٦- نحو إعادة بناء العقل الزراعي المكاني

لاشك، إلى أن الأزمة المناخية المعاصرة تمثل منعطفًا حاسمًا في مسار العلاقة التاريخية بين الإنسان والمكان الزراعي، ففي محافظتي النجف والقادسية، لم يعد بالإمكان الاستمرار في أنماط الزراعة التقليدية دون مراجعة جذرية للأسس المعرفية التي قامت عليها، بعد أن كشفت التغيرات المناخية حدود قدرتها على التكيف والاستدامة المناخية . ويبرز نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) بوصفه أحد التمثلات العملية لهذا التغير، لكونه يقوم على ترشيد استعمال الموارد الطبيعية، وإعادة إدماج الإنسان ضمن المنظومة البيئية بدل تكريس موقعه كفاعل مهيمن عليها.

وعلى هذا الأساس، تتموضع الأطروحة ضمن أفق فلسفة علم المكان التي ترى أن قيمة المعرفة المناخية لا تُقاس فقط بقدرتها على توصيف الظواهر أو تفسيرها، بل بمدى فاعليتها في توجيه الفعل المكاني نحو مسارات أكثر استدامة، قادرة على الاستجابة للتحولات المناخية البنيوية التي يشهدها العالم المعاصر.

وممّا تقدّم يتضح أن الأزمة المناخية الراهنة فرضت ضرورة إعادة بناء العقل الزراعي المكاني في محافظتي النجف والقادسية، عبر مراجعة الأسس المعرفية للزراعة التقليدية التي أثبتت محدودية قدرتها على التكيّف مع التحولات المناخية المتسارعة.

الفصل الثاني

المتطلبات والمحددات المناخية و

الموازنة المائية المناخية لمحصول الرز

تمهيد

تُعدّ زراعة الرز (Oryza sativa L.) من المحاصيل الاستراتيجية ذات الأهمية الغذائية العالمية، إذ يعتمد عليه أكثر من نصف سكان العالم، وقد توسعت زراعته تدريجيًا من البيئات الرطبة إلى البيئات الجافة وشبه الجافة، ومنها العراق، رغم ما تفرضه هذه البيئات من تحديات مناخية ومائية متزايدة. وتُعد منطقة الشرق الأوسط من أكثر المناطق حساسية لزراعة الرز بسبب التقلبات الحرارية، وشح الموارد المائية، وارتفاع مستويات الإجهاد المناخي.

تتحدد ملاءمة زراعة الرز بمجموعة من العوامل المناخية الأساسية التي تؤثر في مراحل نموه المختلفة، أبرزها درجات الحرارة، وكمية المياه المتاحة، والإشعاع الشمسي، والرطوبة النسبية، وسرعة الرياح. وتُعد الحرارة والمياه والرطوبة النسبية من أكثر العوامل تأثيرًا، إذ يتطلب الرز درجات حرارة معتدلة إلى مرتفعة وتوفرًا مائيًا مستمرًا، في حين تسهم الرطوبة النسبية المرتفعة في تقليل التبخر–نتح والحفاظ على كفاءة النمو. ويهدف هذا الفصل إلى تحليل هذه المتطلبات المناخية وتوضيح دورها في تحديد إنتاجية الرز وإمكانات استدامة زراعته.

غير أن التغيرات المناخية المعاصرة أخلّت بالتوازن المناخي اللازم لزراعة الرز، حيث تشير تقارير الهيأة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ إلى ارتفاع ملحوظ في درجات الحرارة العالمية، وما يرافقه من زيادة في معدلات التبخر وفقدان المياه، الأمر الذي يُشكل تهديدًا مباشرًا للزراعة التقليدية للرز في المناطق الجافة. وقد أدى ذلك إلى بروز الحاجة إلى تبني ممارسات زراعية تكيفية، من بينها تعديل مواعيد الزراعة، واستعمال أصناف مقاومة للإجهاد، وتطبيق نظم حديثة مثل نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) الذي يسهم في خفض استهلاك المياه ورفع الإنتاجية.

وانطلاقًا من ذلك، فإن دراسة المتطلبات المناخية لزراعة الرز تمثل مدخلًا علميًا أساسًا لفهم العلاقة التفاعلية بين المتغيرات المناخية ومراحل النمو، وتوفير قاعدة معرفية لتخطيط الزراعة المستدامة في ظل التغير المناخي. ويسعى هذا الفصل إلى تقديم تحليل علمي لهذه العلاقة بالاعتماد على البيانات المناخية طويلة الأمد، وبالاستفادة من النماذج التحليلأتية وقواعد البيانات الدولية، بما يخدم تقييم إمكانات التكيف الزراعي في البيئات شبه الجافة.

٢-١- المبحث الاول

المتطلبات والمحددات المناخية لزراعة محصول الرز

يؤثر المناخ بعناصره ومظاهره المختلفة تأثيرًا مباشرًا وغير مباشر في النشاط الزراعي، لذا يُعد من أبرز العوامل الطبيعية المؤثرة في الزراعة. وعلى الرغم من التقدم العلمي والتقني الكبير الذي حققه الإنسان في مجالات متعددة، ومنها المجال الزراعي، إلا أنه لم يتمكن من التحكم الكامل بالعناصر والظواهر المناخية إلا ضمن حدود محدودة، إذ ما تزال هذه العناصر هي العامل الرئيس المتحكم في زراعة مختلف المحاصيل [١].ولكل نبات احتياجات مناخية خاصة لاكتمال نموه، ويأتي في مقدمتها (درجة الحرارة، والضوء، والرياح، وكميات الأمطار). ويُعد محصول الرز، شأنه شأن بقية المحاصيل الزراعية، ذا متطلبات مناخية محددة، إذ يؤدي توافرها بالشكل الملائم إلى زيادة الإنتاج وتحسين نوعية المحصول. ويعنى هذا الفصل بتوضيح أهم المتطلبات المناخية المتوافرة في منطقة البحث والتي يعتمد عليها المحصول في نموه، والمتمثلة بالمتطلبات (الضوئية، والمتطلبات الحرارية، ومتطلبات الرياح، والمتطلبات المائية). وفيما يأتي عرض لأبرز متطلبات محصول الرز في منطقة البحث. وتتطلب زراعة الرز توفر ظروف مناخية مناسبة تسهم في تحقيق نموه وارتفاع إنتاجيته، وفيما يأتي أهم المتطلبات المناخية الأساسية لزراعة الرز:-

٢-١-١- المتطلبات والمحددات المناخية العامة لزراعة الرز

٢-١-٢- المتطلبات الضوئية لمحصول الرز:

يعتمد النبات في نموه واستمراره الحيوي على كمية الضوء المتاحة، لما لها من دور أساسي في عملية تصنيع الغذاء من خلال تكوين الكلوروفيل، وبغياب الضوء الكافي لا يمكن للمحاصيل أن تنمو بصورة سليمة. وتختلف متطلبات المحاصيل للضوء من نوع إلى آخر، كما تتباين حاجة النبات الواحد للضوء تبعًا لمراحل نموه المختلفة، إذ تبدأ حاجته للضوء منذ بزوغ النبات فوق سطح التربة، وتزداد خلال مرحلة نمو الأجزاء الخضرية، وتبلغ ذروتها خلال مرحلة تكوين الأزهار [٢].

---

(١) حسين ذياب محمد الغانمي، تحليل جغرافي لأثر التغيرات المناخية في زراعة المحاصيل الحقلية في محافظة القادسية، رسالة ماجستير، كلية الآداب، جامعة الكوفة، ٢٠١٤، ص ١٠٧.

(٢) علي علي البنا، أسس الجغرافية المناخية والنباتية، دار النهضة العربية للطباعة والنشر، بيروت، ١٩٧٠، ص ٢٥٩.

ويُعدّ الإشعاع الشمسي أحد المحددات الرئيسة لإنتاجية محصول الرز، إذ تتطلب عملية التمثيل الضوئي متوسط إشعاع لا يقل عن (١٥) ميغا جول/م²/يوم لتحقيق نمو أمثل. [١].

ويُعد الضوء من أهم العوامل البيئية المؤثرة في النشاط الفسيولوجي للنباتات، لما له من تأثير مباشر في عمليات التمثيل الضوئي والتنفس وتكوين الكلوروفيل، فضلًا عن دوره في تنظيم عملية التزهير من خلال استجابة النبات للمدة الضوئية .(Photoperiodism) ويُعد محصول الرز (Oryza sativa L.) من المحاصيل الحساسة للتغير في كل من شدة الإشعاع الشمسي (Solar Radiation Intensity)وطول مدة الإضاءة اليومية(Photoperiod) ، وهما عاملان يسهمان في تحديد المراحل الفينولوجية لنمو المحصول، ولا سيما في البيئات المدارية وشبه المدارية. [٢]

وتختلف أصناف الرز في درجة استجابتها لطول النهار، إذ يُصنّف الرز ضمن محاصيل النهار القصير، وتتباين احتياجاته الضوئية تبعًا للأصناف ومراحل النمو، حيث يتطلب مدة إضاءة طويلة خلال مرحلة النمو الخضري تتراوح بين (١٣–١٤) ساعة، فيما تكون مدة الإضاءة خلال مرحلة النضج أطول مقارنة بمرحلة النمو الأولي، وتُعد مدة الإضاءة التي تتراوح بين (٩–١٢.٥) ساعة ملائمة لتحفيز التزهير في محصول الرز. [٣].ويؤدي التأخير في موعد الزراعة إلى زيادة ارتفاع النبات وتسريع عمليتي التزهير والنضج، ويُعزى ذلك إلى قصر المدة الضوئية . [٤].وقد أكدت بعض الدراسات أن زيادة مدة الإضاءة التي يتعرض لها محصول الرز تسهم في رفع كمية الإنتاج. وسيجري في هذا المبحث تناول تأثير الضوء في نمو النبات وفق المحاور الآتية:

(١) منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة .(٢٠٢١) .(FAO) قاعدة بيانات إيكوكروب :(EcoCrop) قاعدة بيانات الخصائص البيئية والمتطلبات المناخية للمحاصيل الزراعية. روما: منظمة الأغذية والزراعة. متاح على الرابط https://ecocrop.fao.org/

(٢) - Yoshida, S. Fundamentals of Rice Crop Science. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Philippines, (1981). pp. 27–43, 110–117.

(٣) احمد جاسم مخلف الدليمي، المناخ وأثره في تباين الاستهلاك المائي لمحاصيل الحبوب الاستراتيجية (القمح والرز- في العراق، رسالة ماجستير، كلية الآداب، جامعة الانبار، ٢٠١١، ص٢٢.

(٤) خلود مساعد ايدام الغزي، المناخ وعلاقته بزراعة محاصيل القمح والشعير والرز في محافظة ذي قار، ٢٠٠٤، ص٣٩.

٢-١-٢-١- شدة الضوء:

يُقصد بشدة الإضاءة مقدار الضوء الساقط على وحدة مساحة محددة، وتختلف هذه الشدة تبعًا لاختلاف الموقع الجغرافي ودوائر العرض، إذ ترتفع في المناطق القريبة من خط الاستواء، وتتناقص تدريجيًا كلما اتجهنا نحو المناطق القريبة من القطبين [١]،كما تتباين كثافة الإضاءة خلال خلال فصول السنة، فتكون مرتفعة في فصل الصيف، وتنخفض في فصل الشتاء، في حين تسجل مستويات متوسطة خلال فصلي الربيع والخريف. وتختلف كثافة الإضاءة كذلك خلال ساعات اليوم الواحد، إذ تزداد منذ شروق الشمس حتى منتصف النهار، ثم تبدأ بالانخفاض من منتصف النهار إلى وقت الغروب [٢]،وتتنوع النباتات في متطلباتها من حيث شدة الإضاءة، فبعضها يحتاج إلى إضاءة عالية، وأخرى تتطلب شدة متوسطة، في حين يمكن لبعض النباتات النمو في مستويات منخفضة من الإضاءة. ويمكن للنباتات أن تنمو عند حد أدنى من الإضاءة يتراوح بين (١٠٠–٢٠٠) شمعة/قدم، في حين تتراوح شدة الإضاءة المثلى لمعظم النباتات بين (٢٠٠٠–٣٠٠٠) شمعة/قدم، كما توجد أنواع نباتية قادرة على النمو عند شدة إضاءة بحدود (٥٠٠) شمعة/قدم. [٣]،إلا أن زيادة شدة الإضاءة عن الحدود الملاءمة قد تؤدي إلى حدوث ظاهرة لفحة الشمس. وتتراوح شدة الإضاءة المناسبة لمحصول الرز بين (٢٠٠٠–٣٠٠٠) شمعة/قدم. [٤].
ويتأثر المحصول في حال أي زيادة او نقصان عن هذه الكمية ، لتأثيرها الكبير في محصول الرز ، فكلما حصل محصول الرز على مقدار كاف من شدة الإضاءة زاد الإنتاج وكان ذا جودة ونوعية افضل.

تُعد شِدّة الضوء أحد أهم العناصر المناخية التي تتحكم في العمليات الفسيولوجية للنباتات، ولا سيما عملية التمثيل الضوئي التي تُعد المصدر الرئيس للطاقة في نمو المحاصيل الزراعية، ومنها محصول الرز .ويُقصد بشِدّة الضوء كمية الإشعاع الضوئي الساقط على وحدة المساحة خلال وحدة زمنية، ويُعبَّر عنها وفق النظام الدولي للوحدات بـ الميكرومول لكل متر مربع في الثانية ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)، وهي الوحدة المعتمدة لقياس الإشعاع الضوئي الفعّال للنمو النباتي الذي

(١) اشواق حسن حميد صالح، أثر المناخ على نمو وانتاجية المحاصيل الصيفية في محافظة كربلاء، ٢٠١٢، ص ١٠٨.
(٢) ضاري ناصر العجمي، محمود عزو صقر، مدخل الى علم المناخ والجغرافية المناخية، مكتبة الفلاح، الكويت، ١٩٨٧، ص ٦١.
(٣) عمر مزاحم حبيب السامرائي، أثر المناخ في زراعة وانتاجية محاصيل الخضروات في محافظة صلاح الدين، أطروحة دكتوراه، كلية التربية ابن رشد، جامعة بغداد، ٢٠٠٦، ص ٩٥.
(٤) جمهورية العراق، وزارة الزراعة، مديرية زراعة محافظة النجف، قسم البيانات المناخية، بيانات غير منشورة، ٢٠٢١

يغطي الطيف الموجي من ٤٠٠ إلى ٧٠٠ نانومتر .[١]

وتتأثر شِدّة الضوء بعدة عوامل فلكية وجغرافية مثل خط العرض، الارتفاع عن سطح البحر، زاوية سقوط أشعة الشمس، وطبيعة الغطاء السحابي. ففي المناطق الواقعة بين خطي عرض ٣١°و ٣٢.٥° شمالاً مثل محافظتي النجف والقادسية ، يبلغ متوسط الإشعاع الشمسي اليومي خلال موسم الزراعة الصيفي (مايو–أيلول) نحو ($MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$ ٢٥–٢٣)، أي ما يعادل نحو ($mol\ m^{-2}\ day^{-1}$ ٥٣–٤٨) من الضوء الفعّال للنمو[٢]. تُظهر هذه القيم أن البيئة المناخية في المنطقة تقع ضمن النطاق الأمثل لنمو الرز من حيث الإضاءة، شرط توفّر المياه اللازمة لتبريد أوراق النبات خلال فترات الذروة الإشعاعية.

ويشير إلى أن الكفاءة الضوئية لعملية التمثيل في نباتات الرز ترتفع تدريجيًا مع زيادة شِدّة الإشعاع حتى تصل إلى الحد الأعلى الفعّال الذي يتراوح بين ٩٠٠ و ١٢٠٠ $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ ، وبعده تبدأ الكفاءة بالتناقص نتيجة التشبّع الضوئي وارتفاع درجة حرارة الأوراق[٣]. أما القيم الدنيا المقبولة لبدء النمو الخضري فتبلغ نحو ٣٠٠ $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$، وهي تعادل تقريبًا.[٤] كما ورد في بعض الدراسات العربية القديمة بوحدة ٣٠٠٠–٢٠٠٠شمعة/قدم، أي ما يُكافئ ٢١.٥– ٣٢.٣ كيلولكس[٥]

بناءً على ما تقدّم، يتضح أن شِدّة الضوء في بيئة الدراسة تمثّل محددًا مناخيًا أساسياً في توجيه إنتاجية الرز وجودته. فالمستويات اليومية لشِدّة الإشعاع التي تتراوح بين ٢٠و ٢٥ $MJ\ m^{-2}$ day^{-1} و ما يعادل ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ ٦٠٠–٤٠٠) تُعد مثالية للنمو، بينما تؤدي الزيادة المفرطة خلال موجات الحر إلى إجهاد ضوئي يستدعي تبريد الحقول المغمورة بالمياه واستعمال أصناف متكيفة مع الضوء العالي. وبذلك تُعد منطقة النجف–القادسية ملائمة من حيث الإشعاع الشمسي لزراعة الرز، شرط الإدارة البيئية المتوازنة التي تضمن استدامة الطاقة الضوئية ضمن الحد الفسيولوجي الآمن [٦].

---

(١)Monteith, J. L., & Unsworth, M. H. Principles of Environmental Physics: Plants, Animals, and the Atmosphere (4th ed.). Academic Press, UK, (2013). pp. 173–189.

(٢)Fick, S. E., & Hijmans, R. J. "WorldClim ٢: New ١-km Spatial Resolution Climate Surfaces." International Journal of Climatology, Wiley, UK, (2017). pp. 4305–4309.

(٣)Taiz, L., & Zeiger, E. Plant Physiology and Development (6th ed.). Sinauer Associates, Oxford University Press, USA, (2018). pp. 314–320.

(٤) أشواق حسن حميد صالح، أثر المناخ على نمو وإنتاجية المحاصيل الصيفية في محافظة كربلاء، رسالة ماجستير، كلية الآداب، جامعة بغداد، ٢٠٠٦، ص ١٠٨.

(٥) ضاري ناصر العجمي؛ محمود عزو صقر، مدخل إلى علم المناخ والجغرافية المناخية، مكتبة الفلاح، الكويت، ١٩٨٧، ص ٦١.

(٦) - Taiz, L., & Zeiger, E. Plant Physiology and Development (6th ed.). Sinauer Associates, Oxford University Press, USA, (2018). pp. 314–320.

٢-١-٢-٢- عدد ساعات الإضاءة اليومية للنبات:-

ويقصد بها عدد ساعات الإشعاع الشمسي خلال مدة النهار، أو مدة التعرض الضوئي التي يتلقاها النبات خلال اليوم الواحد، وتختلف مدة الإضاءة من منطقة إلى أخرى تبعًا لاختلاف فصول السنة ودوائر العرض. [١].وتسهم مدة الإضاءة في تكوين المركبات الكربوهيدراتية، وتحفيز تكوين براعم الأزهار، وتنظيم عملية التنفس، فضلًا عن دورها في المساعدة على تكوين الجذور والأجنة [٢]. ويحتاج محصول الرز الى مدة ضوئية تتراوح بين (١٠-١٢ ساعة) [٣]. وتزداد حاجة محصول الرز للإضاءة كلما زاد عمر المحصول فهو لا يحتاج الى مدة اضاءة طويلة في بداية نمو البادرات وفي مرحلة التزهير يحتاج(٩ -١٢.٥) ساعة [٤].

يتضح من مقارنة الجدول (٢) والشكل (١) اللذين يوضحان المعدلات الشهرية لساعات السطوع الشمسي الفعلي (ساعة/يوم) في منطقة البحث للمدة (١٩٨٠–٢٠٢٣)، أن هذه المعدلات خلال موسم نمو محصول الرز (حزيران–تشرين الثاني) لا تنخفض عن (٩ ساعات/يوم)، مع الأخذ بنظر الاعتبار أن مرحلة النمو خلال شهر تشرين الثاني تكون محدودة ولا تستغرق سوى أيام قليلة. ويؤكد ذلك توافر بيئة إشعاعية ملائمة تدعم نمو محصول الرز في مختلف مراحله الفسيولوجية، مما يعزز من كفاءة العمليات الحيوية للنبات. كما أن ارتفاع عدد ساعات السطوع يسهم في زيادة كفاءة التمثيل الضوئي وتحسين إنتاج المادة الجافة. ويؤدي ذلك إلى تعزيز النمو الخضري وتطور المحصول بصورة متوازنة خلال الموسم. كما يساعد الانتظام النسبي في الإشعاع الشمسي على تقليل التذبذب في الإنتاجية بين السنوات المختلفة. وتسهم هذه الظروف في دعم استجابة النبات لبرامج الري والتسميد ضمن نظام.(SRI) كما يعزز ذلك من قدرة النبات على تكوين الحبوب بكفاءة أعلى خلال مراحل الإزهار والإثمار. ويُظهر هذا النمط الإشعاعي ملاءمة المنطقة للزراعة الصيفية بشكل عام وزراعة الرز بشكل خاص. كما يقلل من تأثير بعض العوامل المناخية السلبية من خلال توفير طاقة كافية للنمو. وتؤكد هذه المعطيات أن الاستقرار الإشعاعي يمثل عاملًا رئيسًا في تحقيق إنتاجية مستقرة ومستدامة لمحصول الرز

---

(١) محمود رأفت وزملائه، اساسيات زراعة الخضار والفاكهة، مديرية دار الكتب والمطبوعات الجامعية، مطبعة ابن خلدون، دمشق، منشورات جامعة حلب، ١٩٨٦، ص ٦٨.

(٢) جبار حسن سلومي وزملائه، علم البستنة، مطبعة جامعة بغداد، بغداد، ١٩٨١، ص ١٩١.

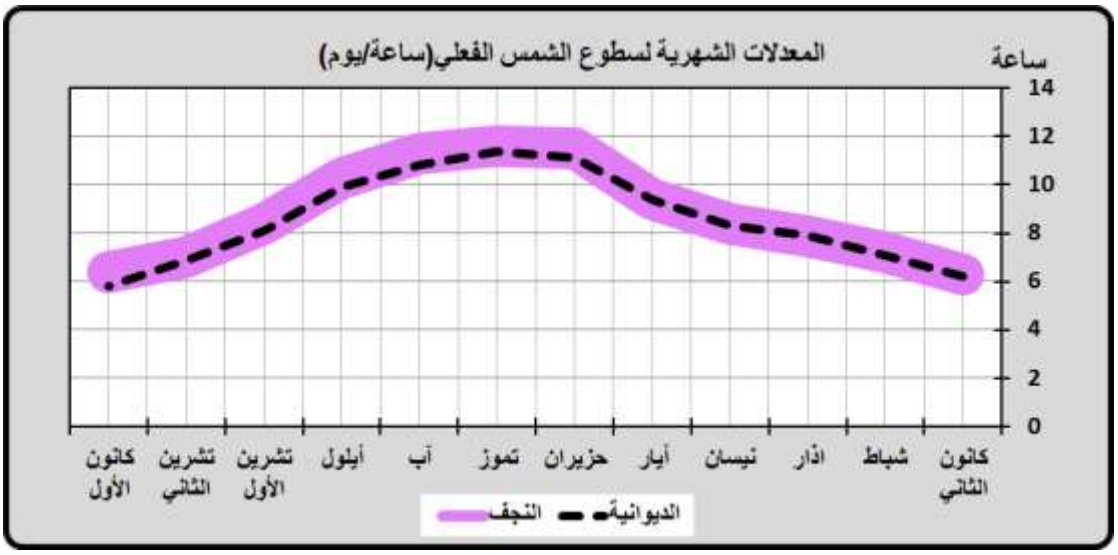
(٣) جمهورية العراق، وزارة الزراعة، مديرية زراعة محافظة النجف، قسم البيانات المناخية، بيانات غير منشورة، ٢٠٢١ .

(٤)عبد الحميد احمد اليونس وآخرون، أثر المناخ على نمو وإنتاجية المحاصيل الصيفية في محافظة كربلاء، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الآداب، جامعة كربلاء، العراق، ٢٠١٢،ص ١٩٢.

جدول (٢) المعدلات الشهرية لساعات السطوع الفعلي(ساعة) في منطقة البحث للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)

المحطة المناخية	كانون الثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول
النجف	6.3	7.2	7.9	8.4	9.4	11.5	11.6	11.3	10.3	8.4	7.0	6.4
القادسية	6.2	7.1	7.9	8.3	9.4	11.1	11.4	10.8	9.9	8.1	6.9	5.8

المصدر: بالاعتماد على جمهورية العراق، وزارة النقل، الهيأة العامة للأنواء الجوية، وحدة الرصد الزلزالي، قسم المناخ، بيانات غير منشورة، ٢٠٢٣.



شكل (١) المعدلات الشهرية لساعات السطوع الفعلي(ساعة/يوم) في منطقة البحث للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)

المصدر- بالاعتماد على الجدول(٢)

٢-١-٣- : الاحتياجات الحرارية لنمو محصول الرز

تُعدّ درجات الحرارة من أهم العناصر المناخية وأكثرها تأثيرًا في نمو النباتات وتوزيعها المكاني، إذ تمثل مصدر الطاقة الأساس الذي تعتمد عليه النباتات في معظم عملياتها الفسيولوجية، مثل التمثيل الضوئي، والتنفس، وعمليتي التبخر–النتح، وامتصاص العناصر الغذائية، فضلًا عن دورها في تكوين الأزهار. وتنمو النباتات ضمن حدود حرارية محددة، تختلف من نوع إلى آخر تبعًا لأصل النبات وتطوره، إذ يمكن للنباتات عمومًا العيش ضمن نطاق

حراري يتراوح بين (٠–٤٠)°م.[١]. وستتم دراسة المتطلبات الحرارية لمحصول الرز كالاتي:-

٢-١-٣-١- الحدود الحرارية الدنيا

يبدأ نمو أي محصول زراعي عند ما يُعرف بحدّ النمو الحراري الأدنى (الصفر الحراري)، وهو أقل مستوى حراري يسمح ببدء النشاط الحيوي للنبات، ويُقدَّر في محصول الرز بنحو (١٢°م). وعند انخفاض درجات الحرارة إلى ما دون هذا الحد، يتوقف نمو البادرات في محصول الرز.[٢]. تُعدّ درجة الحرارة من أهم المحددات البيوكليماتية لنمو محصول الرز، إذ تتحكم في جميع المراحل الفينولوجية من الإنبات حتى النضج. يبدأ النمو عند ما يُعرف بـ الصفر الحراري (Base Temperature)، وهو الحد الأدنى الذي تبدأ عنده العمليات الحيوية بالنشاط، ويبلغ لمحصول الرز نحو **١٢°م** ، بينما يتوقف النمو كليًّا عند انخفاض الحرارة دون هذا الحد [٣].ولا تتوافر هذه الظروف الحرارية في منطقة البحث خلال موسم نمو المحصول الممتد من (حزيران – تشرين الأول والثاني)، إذ يُعدّ الموعد التقليدي لزراعة محصول الرز في شهر أيار، في حين أصبحت أفضل مواعيد زراعته في الوقت الحاضر خلال النصف الثاني من شهر حزيران، ويُعزى ذلك إلى التغير المناخي الذي شهدته منطقة البحث، والذي انعكس بصورة مباشرة على اختلاف مواعيد الزراعة للمحصول. كما تتباين مواعيد الزراعة والحصاد بين أصناف الرز المتعددة المزروعة في منطقة البحث بفارق أيام قليلة، سواء في موعد الزراعة خلال شهر حزيران أو في مواعيد النضج والحصاد التي تمتد إلى أواخر شهري تشرين الأول والثاني، إذ تُزرع بعض الأصناف في مواعيد متأخرة مقارنة بغيرها، مما يؤدي إلى تأخر موعد حصادها ليقع في أوائل شهر تشرين الثاني. وتتراوح المعدلات الحرارية الصغرى الملاءمة لمرحلة النمو الخضري لمحصول الرز بين (١٥–١٨°م)، وهي معدلات تتجاوزها درجات الحرارة السائدة في منطقة البحث، الأمر الذي يؤكد ملاءمتها لزراعة هذا المحصول. وفي حال تراوحت درجات الحرارة بين (١٢–١٥°م) خلال مرحلة التزهير، فإن المتوك لا تنفتح وتتوقف عملية الإخصاب،

---

(١) مارتن كلمان، جغرافية النبات، ترجمة احمد عبد الله، احمد بكر، الدوحة، جامعة قطر، مركز الوثائق والدراسات الإنسانية، ١٩٨٩، ص ١٠٣-١٠٤.

(٢) احمد جسام مخلف الدليمي، المناخ واثره في تباين الاستهلاك المائي لمحاصيل الحبوب الستراتيجية (القمح والرز) في العراق ، مصدر سابق ، ص٢٢.

(٣)Yoshida, S. Fundamentals of Rice Crop Science. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Philippines, (1981). pp. 154–160.

في حين تتراوح أدنى درجات الحرارة الملاءمة للتزهير بين (١٨–٢٥°م). [١] . وتتراوح درجات الحرارة الصغرى المناسبة لنمو محصول الرز خلال مرحلة النضج (١٩-٢٥مْ) ، وفي حال انخفاض درجات الحرارة خلال مرحلة النضج إلى أقل من (١٩°م)، فإن عملية نضج الحبوب تتعطل ويتعرض المحصول لأضرار واضحة. [٢].ويظهر ذلك بصورة أكبر في الأصناف المتأخرة الزراعة، في حين أن الأصناف المزروعة ضمن مواعيدها الاعتيادية، والتي يُصادف موعد حصادها في نهاية شهر تشرين الأول، غالبًا ما لا تتعرض لمثل هذه الأضرار. وتترك هذه الحالات أثرًا سلبيًا في كل من جودة وكمية إنتاج محصول الرز. كما تؤثر مياه الري ذات درجات الحرارة المنخفضة تأثيرًا سلبيًا في نوعية المحصول، إذ إن المناطق التي تعتمد على مياه العيون والينابيع والآبار الباردة غالبًا ما تعطي نوعيات متدنية من الرز، وقد لوحظ ذلك في بعض البيئات الجافة وشبه الجافة. [٣].ويتأثر محصول الرز أيضًا بظاهرة الصقيع، إذ تُعد درجة حرارة (-٥٠.٥°م) ضارة بالنبات، في حين تُعد درجة حرارة (-١°م) قاتلة لنبات الرز في جميع مراحل إنباته. [٤].

يتضح من الجدول (٣) والشكل (٢) الذي يوضح المعدلات الشهرية لدرجات الحرارة الصغرى في محافظتي النجف والقادسية حيث ان معدلات الحرارة الصغرى لموسم نمو الرز (حزيران – تشرين الثاني) لا تنخفض دون (١٢م°) علما ان موسم النمو لمحصول الرز لا يأخذ اكثر من بضعة ايام من شهر تشرين الثاني. مما يؤكد ملاءمة منطقة البحث لزراعة محصول الرز في كافة مراحل النمو.

(١) رادكا ديمونا، يكود يكوف، ترجمة خليل إبراهيم محمد، المحاصيل الحقلية في المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية، مطبعة التعليم العالي، ١٩٩٠، ص ٢٧.

(٢) اليونس وعبد القادر، مصدر سابق، ص١٩١.

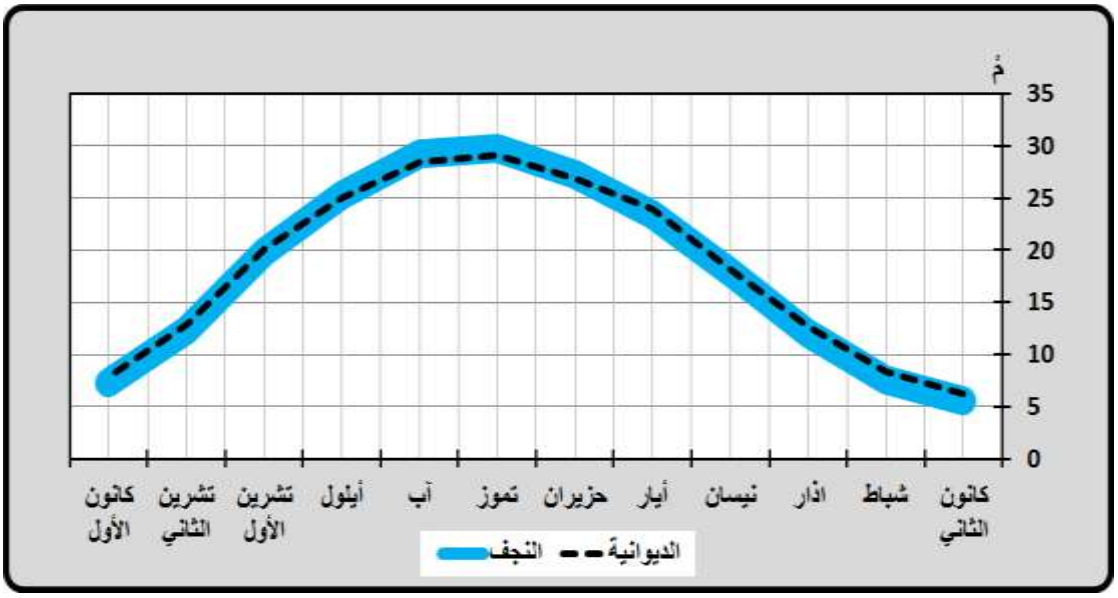
(٣)الحلو، مصدر سابق، ص١٧٨.

(٤) اسعد مهدي يوزرك، الحبوب الغذائية، مجلة الجمعية الجغرافية العراقية، مجلد العدد ٥٨، ٢٠٠٩، ص٥١٦.

جدول (٣) المعدلات الشهرية لدرجات الحرارة الصغرى(مْ) في محطتي النجف والديوانية للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)

المحطة المناخية	كانون الثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول
النجف	5.6	7.6	12.1	17.9	23.4	27.3	29.8	29.3	25.3	19.8	12.3	7.3
الديوانية	6.2	8.3	12.7	18.2	23.9	26.9	29.1	28.4	25.0	20.1	12.9	7.8

المصدر: بالاعتماد على جمهورية العراق، وزارة النقل، الهيأة العامة للأنواء الجوية، وحدة الرصد الزلزالي، قسم المناخ، بيانات غير منشورة، ٢٠٢٣



شكل (٢) المعدلات الشهرية لدرجات الحرارة الصغرى(مْ) في محافظتي النجف والقادسية للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)

المصدر- بالاعتماد على الجدول(٣)

٢-١-٣-٢- الحدود الحرارية العليا

تُعدّ الحرارة العليا أحد العوامل المحددة الحاسمة لإنتاجية محصول الرز، إذ تؤثر بشكل مباشر في العمليات الفسيولوجية كالبناء الضوئي، التنفس، والتلقيح. وعلى الرغم من أن الرز من النباتات المدارية التي تتحمل درجات حرارة مرتفعة، إلا أن تجاوزه للحدود الحرارية العليا يؤدي إلى اضطرابات في الأداء الحيوي وفشل عملية الإخصاب، مما ينعكس سلباً على كمية الإنتاج وجودته . [١]

ينجح محصول الرز في المناطق ذات الجو الحار الجاف كما في وسط وجنوب العراق كما لا يعني هذا ان انتاج محصول الرز يجود كلما ارتفعت درجة الحرارة [٢]، و يتحمل محصول الرز درجات حرارة عالية (٤٤-٦٠°م) كحد أعلى خلال مراحل نموه [٣]. ومحصول الرز من نباتات المنطقة الاستوائية لأن الارتفاع في درجة الحرارة العليا يؤدي الى الإضرار بالمحصول وكما وضح العلماء والمختصون في مجال أبحاث محصول الرز أن تعرض النبات الى درجة حرارة عالية يؤدي الى إتلاف جميع حبوب اللقاح [٤]. من جانب آخر، يلعب الغمر المائي (Flooding Depth) دورًا وقائيًا مهمًا في حماية النبات من الإجهاد الحراري، إذ أظهرت التجارب في دلتا الميكونغ أن ارتفاع درجة حرارة الهواء إلى ٤٣°C قابل للتحمل إذا كانت مياه الغمر بدرجة ٢٨–٣٠°C، مما يقلل من حرارة الأوراق بمقدار ٥–٦ درجات مئوية .هذا ما يفسر استمرار نجاح زراعة الرز في وسط وجنوب العراق رغم موجات الحر المتكررة، شريطة انتظام الري وتوافر رطوبة نسبية لا تقل عن ٧٥–٨٠ %. [٥]

ينمو محصول الرز نموًا جيدًا عند توافر المياه بصورة كافية، وتنجح زراعته ضمن نطاقات عرضية تمتد حتى دائرة عرض (٤٠°) شمالًا وجنوبًا، في ظل تباين مناخي واضح. وتُعدّ المناطق المعتدلة الدافئة والمناطق شبه الاستوائية من أكثر الأقاليم إنتاجًا لمحصول الرز، إذ يُصنّف ضمن محاصيل المناطق الاستوائية، كما تنجح زراعته في البيئات الحارة الجافة، ولا

---

(١)Yoshida, S. Fundamentals of Rice Crop Science. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Philippines, (1981). pp. 154–160.

(٢)علي الخشن، أحمد أنور عبد الباري، انتاج المحاصيل، الجزء الأول، الاسكندرية، مطبعة دار المعرفة ١٩٧٥،ص١٢٧.

(٣) اوميد محمد آمين ، مبادئ المحاصيل الحقلية في العراق، مطبعة جامعة البصرة، ١٩٨٨،ص١٧٩.

(٤) مصطفى علي مرسي، محاصيل الحقل، الجزء الثاني، القاهرة، مكتبة الانجلو المصرية،١٩٦٥، ص١٥٤ .

(٥)IRRI Rice in the Global Economy: Strategic Research and Policy Issues. International Rice Research Institute, Manila, Philippines, (2022). pp. 96–99.

سيما في جنوب والفرات الاوسط. وقد اتسع نطاق زراعته نتيجة لتعدد أصنافه وأنواعه، إذ تتوزع زراعة هذه الأصناف تبعًا لاختلاف دوائر العرض. [١].

ولا يعني ذلك بالضرورة أن ارتفاع درجات الحرارة يقترن دائمًا بزيادة الإنتاج، إذ يتحمل محصول الرز درجات حرارة مرتفعة قد تتجاوز (٣٨°م)، وهو ما أكدته الدراسات العلمية، غير أن تجاوز درجات الحرارة حدّ (٤٢°م) يُعدّ ضارًا بالمحصول، إذ يؤدي إلى تلف حبوب اللقاح بصورة كاملة. [٢].ويتعرض محصول الرز لأضرار جسيمة عند حدوث ارتفاعات حرارية متطرفة تتجاوز هذه الحدود، مما يسهم في زيادة ظاهرة العقم الموسمي، حيث تكون السنابل خالية من الحبوب، ولا سيما إذا صادف التزهير أوائل شهر أيلول [٣].الأمر الذي يؤدي إلى توقف عملية التزهير وفشل الإخصاب، وينعكس ذلك بانخفاض كمية الإنتاج. كما أن تجاوز درجات الحرارة للحدود العليا يؤدي إلى إتلاف البروتوبلازم . [٤].

ويتضح أن درجة الحرارة العليا الضارة بمحصول الرز خلال مرحلة الإنبات تبلغ نحو (٤٠°م)، إذ لا تتم عملية الإنبات عند بلوغ هذا الحد الحراري، في حين يؤدي ارتفاع درجات الحرارة إلى أكثر من (٦٠°م) إلى توقف نمو النبات، ولا سيما خلال مرحلة النمو الخضري. [٥].

اما في مرحلة التزهير فإن ارتفاع درجات الحرارة اكثر من (٤٢ مْ) يكون ضارا بالنبات وإن إرتفاع درجات الحرارة إلى أكثر من (٤٤ مْ) ينهي النبات في هذه المرحلة. خلال مدة التزهير يسبب عقماً للنبات أي تبقى الكثير من الحبوب فارغة في السنبلة ويحدث ذلك كثيرا في الزراعة المبكرة[٦].ويزداد الأثر السلبي لدرجات الحرارة كلما تجاوزت الحدود الحرارية العليا التي يستطيع النبات النمو ضمنها، إذ تتفاقم الأضرار الناتجة عن الارتفاع الحراري غير الملائم. ومن أبرز النتائج المترتبة على ذلك ضعف نمو النبات واصفرار أوراقه، فضلًا عن زيادة معدلات

---

(١)علي الخشن، احمد نوري عبد الباري، انتاج المحاصيل، الجزء الأول، الإسكندرية، مطبعة دار المعرف، ١٩٧٥، ص١٢٧.

(٢) مصطفى علي مرسي، محاصيل الحقل، الجزء الثاني، القاهرة، مكتبة الانجلو المصرية، ١٩٦٥، ص١٥٤.

(٣)عبد الكاظم علي الحلو، أثر الظواهر الجوية المتطرفة في عمليات الإنتاج الزراعي في المنطقة الوسطى من العراق، مصدر سابق، ص١٥٨.

(٤)علي حسين خلف الحسناوي، الخصائص المناخية وتأثيرها في المحاصيل الزراعية في ناحية الكفل، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الآداب، جامعة الكوفة، العراق، ٢٠١٥. ص١٣٢.

(٥) حسن أبو سمور، الجغرافية الحيوية، ط ١، الجامعة الأردنية، ١٩٩٥، ص ٥٤-٥٥.

(٦) مقابلة شخصية مع المهندس عقيل يوسف هادي، موظف في محطة أبحاث الرز في المشخاب، قسم وقاية النبات، الاثنين، ٢٠٢٢،٢،٢١، الساعة ١٠ صباحا.

النتح والتنفس، مما يهيئ ظروفًا ملائمة لإصابته بالأمراض [١].وفي المقابل، يتمكن محصول الرز من تحمّل درجات الحرارة المرتفعة عند توافر كميات كافية من المياه التي تغطي سطح الحقول المزروعة، إلى جانب توفر رطوبة نسبية مرتفعة قد تصل إلى نحو (**٨٠%**). [٢]. كما ان ارتفاع درجات الحرارة الشديدة خلال ساعات النهار في فصل الصيف يؤدي إلى رفع نسبة التبخر من النباتات مما يؤدي إلى نقص الماء ولذا يجب تعويض هذا النقص وما يفقده النبات من المياه بالري، وقد تسبب الحرارة العالية الجفاف وعدم التوازن بين التنفس والتركيب الضوئي كما أن ارتفاع درجات الحرارة العالية المتطرفة يسبب أضرارا بليغة على محصول الرز حيث تزداد نسبة العقم (السنابل الفارغة) إذا ما صادف وقت التزهير في بداية شهر أيلول ويسبب ارتفاع الحرارة في مرحلة التزهير إلى توقف عملية التزهير وإفشال عملية الإخصاب وبالتالي انخفاض في كمية الإنتاج، كما أن درجات الحرارة العالية تؤدي إلى قتل البروتوبلازم عند ارتفاعها فوق الحدود العليا التي يتحملها النبات، إذ يدخل النبات في حالة سكون ويظهر عليه الاصفرار، ومع استمرار ارتفاع درجات الحرارة يموت النبات في النهاية، وتنشأ حالة من عدم التوازن نتيجة اختلال العمليات الأيضية ووظائف الأوراق، وتصبح ضعيفة جداً عند درجة حرارة (٤٨°م)، كما أن درجة الحرارة القاتلة لأنسجة النبات والجزء الخضري النشط تنحصر بين (٥٠–٦٠°م).

تؤكد هذه المؤشرات أن درجات الحرارة العليا في منطقة البحث تقترب من الحدود الحرارية القصوى لمحصول الرز، وأن استمرار الارتفاع الحراري بفعل التغير المناخي قد يهدد الإنتاج مستقبلاً إذا لم يتم تطبيق أنظمة إدارة متقدمة مثل نظام تكثيف **زراعة** الرز (SRI) الذي يحسن مقاومة الحرارة والإجهاد المائي عبر تعزيز تهوية الجذور وتقليل الغمر المستمر، مما يزيد من كفاءة استعمال الطاقة الشمسية والماء بنسبة تصل إلى **٣٠%**–٢٥مقارنة بالزراعة التقليدية .[٣]

بناءً على ذلك، يُمكن القول إن الحدود الحرارية العليا لمحصول الرز في بيئة وسط وجنوب العراق تتراوح بين ٤٦°C–٤٢ كحد مثالي للنمو والإزهار، بينما تبدأ الأضرار الحرارية بالظهور عند تجاوز ٤٧°C ، وتصبح قاتلة للنبات عند .٦٠°C–**٥٠** ويُعد الحفاظ على رطوبة التربة والغمر الجزئي المنتظم من أهم استراتيجيات التكيف المناخي في هذه المناطق لضمان

(١) رادكا ديمونا، يكود يكوف، ترجمة خليل إبراهيم محمد، المحاصيل الحقلية في المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية، مطبعة التعليم العالي، ١٩٩٠، ص ٢٧.

(٢) اوميد محمد آمين ، مبادئ المحاصيل الحقلية في العراق، مصدر سابق ،ص١٨٠.

(٣)Uphoff, N. (2015). The System of Rice Intensification (SRI) as a Climate-Smart Agriculture Strategy. Springer, Dordrecht, Netherlands, pp. 58–61.

استمرار الإنتاج.

يتضح من الجدول (٤) والشكل (٣) اللذين يبيّنان المعدلات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى في منطقة البحث، أن قيم الحرارة العظمى خلال موسم نمو محصول الرز (حزيران–تشرين الثاني) لا تتجاوز (٤٨°م)، وهو الحد الذي تبدأ عنده التأثيرات السلبية بالظهور على نمو النبات. إذ يؤدي تجاوز هذا الحد إلى حدوث أضرار متفاوتة في المحصول، تتناسب طرديًا مع درجة الارتفاع الحراري، وقد تصل إلى مستويات حرجة تؤدي إلى توقف النمو أو تدهوره بشكل واضح، وصولًا إلى موت النبات الكامل عند درجات حرارة تتراوح بين (٥٠–٦٠°م).

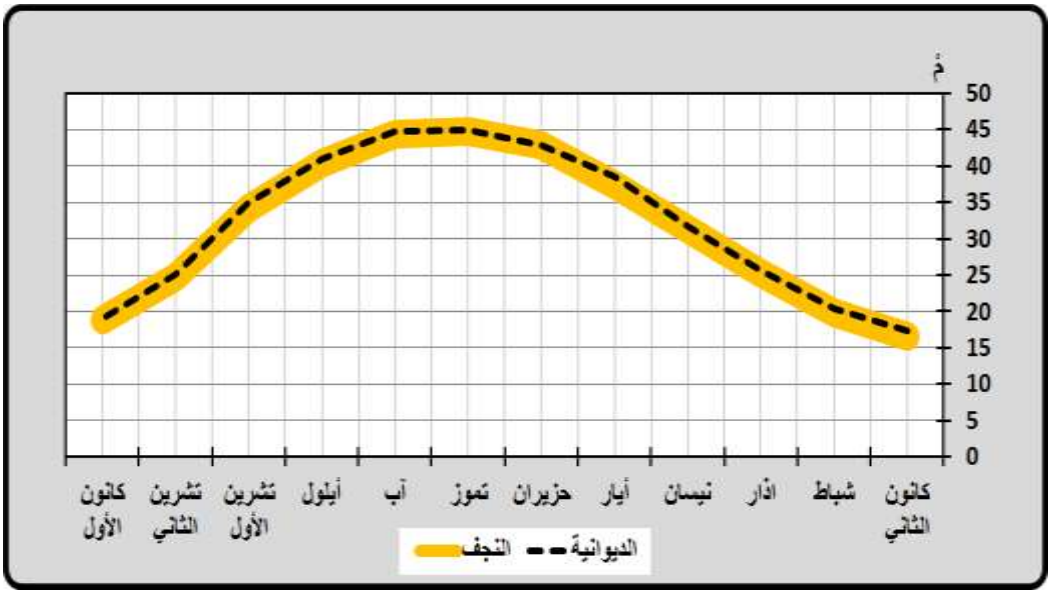
كما أن ارتفاع درجات الحرارة خلال هذه الفترة يزيد من معدلات التبخر–النتح، مما يرفع الطلب المائي للنبات. وتؤدي هذه الظروف إلى تسريع العمليات الفسيولوجية على حساب تكوين الحبوب وجودتها. كما ينعكس الإجهاد الحراري سلبًا على كفاءة التلقيح ويزيد من نسبة السنابل الفارغة. وتسهم الحرارة المرتفعة في تقليل كفاءة التمثيل الضوئي نتيجة اضطراب التوازن الفسيولوجي للنبات. كما أن استمرار هذه الظروف لفترات طويلة يؤدي إلى ضعف نمو الجذور وانخفاض قدرتها على الامتصاص. وتبرز أهمية إدارة الري في تقليل أثر الإجهاد الحراري من خلال الحفاظ على رطوبة التربة. كما يساعد اختيار الأصناف المتحملة للحرارة في الحد من الأضرار المحتملة على الإنتاج. وتؤكد هذه النتائج ضرورة ضبط مواعيد الزراعة لتفادي فترات الذروة الحرارية خلال مراحل النمو الحساسة. كما يعزز ذلك من استقرار الإنتاج وتقليل الخسائر المرتبطة بالتغيرات المناخية.

وتُظهر هذه المعطيات أهمية التكيف الزراعي مع الارتفاع الحراري لضمان استدامة إنتاج محصول الرز.

جدول (٤) المعدلات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى(مْ) في محطتي النجف والديوانية

المحطة المناخية	كانون الثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول
النجف	16.6	19.8	25.2	31.3	37.3	42.8	44.8	44.4	40.4	34.1	24.8	18.8
الديوانية	17.3	20.3	25.6	31.7	38.5	42.8	44.9	44.8	41.0	34.9	25.1	19.1

المصدر: بالاعتماد على جمهورية العراق، وزارة النقل، الهيأة العامة للأنواء الجوية ، وحدة الرصد الزلزالي، قسم المناخ، بيانات غير منشورة، ٢٠٢٣ .



شكل (٣) المعدلات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى(مْ) في محافظتي النجف والقادسية للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)

المصدر- بالاعتماد على الجدول(٤)

٢-١-٣-٣- الحدود الحرارية المثلى

يقصد بها الدرجة الحرارية التي يحقق فيها النبات اقصى جهد من التمثيل الضوئي يصاحبه تنفس عادي ضمن الحدود الطبيعية منذ بداية زراعة المحصول وخلال مراحل نموه المختلفة حتى مدة الجني وهي تنحصر بين الحدين الحراريين العليا والدنيا للنمو[١].

تُعرَف الدرجة الحرارية المثلى بأنها النطاق الحراري الذي يحقق فيه النبات أعلى كفاءة صافية لعملية التمثيل الضوئي مقارنة بعملية التنفس خلال مراحل النمو المختلفة، وتقع هذه الدرجة ضمن المجال المحصور بين الحدين الحراريين الأدنى والأعلى للنمو (Base & Upper Limits)، كما تختلف تبعًا للمرحلة الفينولوجية وللصنف المزروع. وتتباين هذه الدرجة الحرارية بين مراحل النمو المتعددة للمحصول، أي أن لكل مرحلة مدىً حراريًا مثاليًا خاصًا بها [٢].يُعدّ محصول الرز من المحاصيل التي تنجح زراعتها وتتحقق أعلى كفاءتها الإنتاجية في الأقاليم التي تتسم بارتفاع درجات الحرارة وارتفاع الرطوبة النسبية[٣].

تتراوح الحدود الحرارية المثلى لمحصول الرز في مرحلة الانبات بين (٢٠-٣٤مْ) وتكون في مرحلة تكوين النورات من (٣٥-٣٤مْ) ويتضح لنا من الجدول (٥) والشكل (٤) الذي يوضح المعدلات الشهرية لدرجات الحرارة في منطقة البحث، اذن المعدلات الحرارية لمنطقة البحث ملائمة مناخياً لزراعة الرز وانتاجه بجودة عالية وذلك لتوفر الظروف المناخية الحرارية المثالية لنموه حيث تتراوح المعدلات الحرارية مابين (٣٥.١ – ٣٧.٩م°) لهذه المرحلة من النمو والتي تاخذ الاشهر الاولى من موسم النمو في منطقة البحث ، اما مرحلة التزهير تحتاج الى درجة حرارة مثلى من (٢٩-٣١ مْ)[٤]، وفي مرحلة النمو الخضري، تبلغ الدرجة الحرارية المثلى لمحصول الرز ما بين (٣٠–٣٤°م)، في حين ترتفع الدرجة الحرارية المثلى إلى حدود (٣٧–٤٠°م) عند غمر التربة بالمياه. كما يزداد وزن جذور نبات الرز بمقدار يصل إلى نحو (١.٥)

---

(١) فاضل باقر الحسني، إمكانية التخصص الإقليمي لأنتاج المحاصيل الزراعية في العراق، مجلة الأستاذ، العدد الثاني، ١٩٧٩، ص ٩٣.

(٢) اشواق حسن حميد صالح، أثر المناخ على نمو وانتاجية المحاصيل الصيفية في محافظة كربلاء، مصدر سابق، ص ٩٦.

(٣)علي حسين خلف الحسناوي، الخصائص المناخية وتأثيرها في المحاصيل الزراعية في ناحية الكفل، مصدر سابق، ص ١٣٢.

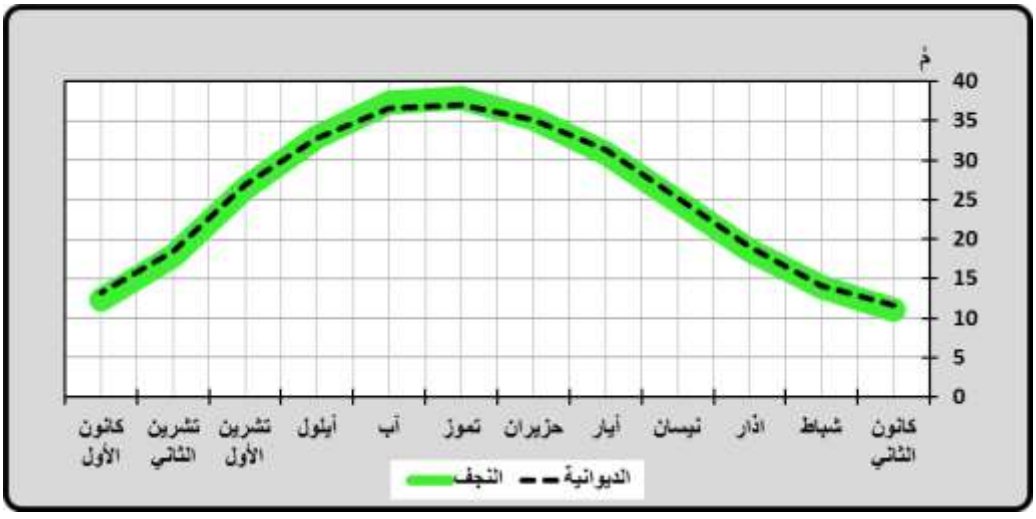
(٤) رادكا، مصدر سابق، ص٢٧.

مرة عندما تتعرض الجذور للدرجة الحرارية المثلى لها، والتي تُقدَّر بنحو (١٨°م) [١]. وتتوفر هذه الحدود الحرارية ضمن منطقة البحث وخلال فصل النمو لمحصول الرز في كافة مراحل النمو. أنظر الجدول (٥) والشكل (٤).

جدول (٥) المعدلات الشهرية لدرجات الحرارة (مْ) في محافظتي النجف والقادسية للمدة(١٩٨٠-٢٠٢٣)

المحطة المناخية	كانون الثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول
النجف	11.0	13.9	18.6	24.7	30.9	35.3	37.9	37.3	33.0	26.5	17.8	12.3
الديوانية	11.6	14.1	19.1	25.2	31.4	35.1	37.1	36.6	32.8	27.0	18.5	13.2

المصدر: بالاعتماد على جمهورية العراق، وزارة النقل، الهيأة العامة للأنواء الجوية ، وحدة الرصد الزلزالي، قسم المناخ، بيانات غير منشورة، ٢٠٢٣ .



شكل (٤) المعدلات الشهرية لدرجات الحرارة (مْ) في محافظتي النجف والقادسية للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)

المصدر- بالاعتماد على جدول(٥)

(١) رياض عبد اللطيف، فسلجه الحاصلات الزراعية ونموها تحت الظروف الجافة، مطبعة التعليم العالي، ١٩٨٧، ص ٣٩٦.

٢-١-٣-٤- الحرارة المتجمعة (الحرارة التراكميةGDD /)

الحرارة المتجمعة، أو الحرارة التراكمية، هي مجموع الحرارة المكتسبة خلال مدة زمنية محددة، وتعتبر مؤشرًا مهمًا في علم الأرصاد الزراعية والمناخ لتحديد قدرة المنطقة على دعم نمو وتطور المحاصيل المختلفة. يعبر عن كمية الحرارة المتراكمة خلال مدة النمو التي تزيد على درجة الحد الأدنى للمحصول بالحرارة المتجمعة والتي يحتاجها النبات طول موسم النمو من التزهير والعقد وحتى تصل الثمار إلى مرحلة اكتمال النضج [١] . و تُعدّ الحرارة المتجمَّعة (أو الوحدات الحرارية التراكمية) مؤشراً كمّياً يعبِّر عن مجموع الفائض الحراري اليومي فوق الصفر النوعي للمحصول خلال مدة زمنية محدّدة، وتستعمل لتقدير تقدّم المراحل الفينولوجية، وتوقيت الزراعة والحصاد، واحتمالات النضج [٢]. ويستند المفهوم إلى أن العمليات الفسيولوجية للنبات—كالبناء الضوئي والانقسام الخلوي—تسير بمعدّل يعتمد على الحرارة ضمن نطاقاتٍ دون الحدّين الحراريين الأدنى والأعلى، ومن ثمّ فإن تراكم الفائض الحراري هو الذي يحدِّد سرعة الانتقال بين المراحل النمائية [٣]

ويُعدّ تراكم الوحدات الحرارية خلال موسم النمو عاملًا أساسًا في إتمام نضج المحاصيل بصورة تراكمية، إذ يجب أن تتجاوز هذه الوحدات الحد الأدنى لدرجات الحرارة التي يبدأ عندها نمو المحاصيل [٤].وعلى هذا الأساس تتحدد مدة نمو المحاصيل الزراعية. ولكي يكتمل نمو النبات ويصل إلى مرحلة النضج، فإنه يحتاج إلى مقدار معين من الدرجات أو الوحدات الحرارية المتراكمة فوق صفره الحراري النوعي، والتي يُطلق عليها مصطلح الحرارة المتجمعة. وتختلف قيمة الحرارة المتجمعة بين المحاصيل تبعًا لطول موسم النمو والحد الأدنى الحراري لكل محصول، ويُعد طول فصل النمو العامل الأهم في تحديد مدى نجاح زراعة المحاصيل، إذ يوضح المدة الزمنية التي تتراكم خلالها الوحدات الحرارية اللازمة لاستكمال متطلبات النمو [٥].وتُعد الوحدات الحرارية المتجمعة ضرورية لكل محصول للوصول إلى مرحلة النضج، إذ إن أي نقص في مقدارها ينعكس سلبًا على جودة ونوعية إنتاج محصول الرز.

---

(١)- علي صاحب طالب الموسوي و عبد الحسن مدفون أبو رحيل، علم المناخ التطبيقي ، الطبعة الأولى، دار الضياء ، النجف الاشرف ، ٢٠١١ ،ص ٣٢٢.

(٢) - المصدر نفسه، ص ٣٢٢.

(٣)Hatfield, J. L., & Prueger, J. H. "Temperature extremes: Effect on plant growth and development." Weather and Climate Extremes, (2015):pp 104–10.

(٤) احمد سعيد حديد وزملائه، جغرافية الطقس، مصدر سابق، ص ١٠٠.

(٥) مجيد محسن الانصاري، انتاج المحاصيل الحقلية، جامعة بغداد، ١٩٨٢، ص٧٥.

ويقصد بفصل النمو المدة الزمنية التي يحتاجها المحصول لإكمال مراحل نموه ونضج ثماره، ويُعرّف علماء المناخ فصل النمو بأنه تلك المدة من السنة التي لا يقل فيها المتوسط اليومي لدرجات الحرارة عن صفر النمو، كما يُعرّف أيضًا بأنه المدة المناخية الملاءمة خلال السنة لنمو النبات وتطوره، وهي المدة الخالية من الصقيع، والتي تقع فيها درجات الحرارة بين الحدين الأدنى والأعلى لنمو النباتات

(١).ويُعرّف فصل النمو كذلك بأنه المدة من السنة التي لا ينخفض خلالها المتوسط اليومي لدرجة الحرارة عن صفر النمو بالنسبة للحياة النباتية بوجه عام. ويتفق عدد من الباحثين على أن معظم النباتات في المناطق المعتدلة يبدأ نموها في أوائل فصل الربيع عندما يرتفع المتوسط اليومي لدرجة الحرارة إلى نحو (٦°م). ويختلف طول فصل النمو تبعًا لاختلاف مقدار الوحدات الحرارية المتجمعة من منطقة إلى أخرى على سطح الأرض، إذ يزداد طول فصل النمو ويبلغ أقصاه في الأقاليم المدارية، بينما يتناقص كلما اتجهنا نحو الأقاليم القطبية. (٢).ويُعزى نضوج المحاصيل الصيفية في مناطق وسط وجنوب العراق قبل نضوجها في مناطق شمال العراق بمدة تتراوح بين (١٥–٢٠) يومًا إلى ارتفاع مقدار الحرارة المتجمعة. كما يحدد كل من طول فصل النمو ومقدار الحرارة المتجمعة نوع وموعد زراعة محصول الرز، إذ يُعد قصر فصل النمو عاملًا معوقًا للزراعة، ولا سيما إذا ترافق مع انخفاض الوحدات الحرارية المتجمعة خلال موسم النمو. (٣).كذلك فإن درجة الحرارة وطول فصل النمو يحددان عدد وأنواع المحاصيل الزراعية التي يمكن زراعتها، مما يؤكد أن قصر فصل النمو يمثل أحد العوامل المحددة للنشاط الزراعي. وقد أشارت دراسات سابقة إلى أن مقدار الحرارة المتجمعة بلغ نحو (٣٩٩٠°م)(٤).

ولدراسة الحرارة المتجمعة أهمية كبيرة لدورها الكبير في تباين طول موسم النمو الزراعي ما بين المناطق المختلفة، ويساعد حساب الحرارة المتجمعة في معرفة مجموع الوحدات الحرارية المتجمعة التي تزيد عن درجة حرارة الأساس (صفر النمو) تعد ضرورية للتنبؤ بمواعيد نشوء وتشكيل أعضاء النبات وتستعمل الوحدات الحرارية المتجمعة كمقياس لتحديد فترات النمو

---

(١)John E. Oliver Climatology, Selected Application, M C. Graw-Hill, New York, 1989.p.24.

(٢)احمد سعيد حديد، وآخرون، جغرافية الطقس، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، جامعة بغداد، مطبعة جامعة بغداد، ١٩٧٩، ص١٠١-١٠٢.

(٣)عادل سعيد الراوي و قصي عبد المجيد السامرائي ، المناخ التطبيقي ، بغداد ، ١٩٩٠ ، ص١٩٣.

(٤)علي حسين خلف الحسناوي، الخصائص المناخية وتأثيرها في المحاصيل الزراعية في ناحية الكفل، مصدر سابق، ص١٣٧ .

ومواعيد النضج لبعض المحاصيل وان المزارعين قد يستفيدون من هذه البيانات لتحديد مواعيد إضافة المبيدات الحشرية والسيطرة على الأدغال[١]. فضلا عن إلى تخمين مواعيد النضج للمحصول ، ومن خلال معرفة الوحدات الحرارية المتجمعة يمكن تقسيم الأصناف على مبكرة ومتأخرة النضج . ويمكن ايجاز أهميتها بالاتي : -

- النمو الزراعي: تساعد في التنبؤ بالوقت المثالي لزراعة المحاصيل وحصادها.
- التغيرات المناخية: دراسة تأثير التغيرات المناخية على دورات النمو النباتي.
- مكافحة الآفات: توقيت التطبيقات الزراعية لمكافحة الآفات بناءً على مراحل نمو المحصول.

يتوقف نجاح المحصول وتوقيت نضجه على بلوغ عتبةٍ معينة من GDD تختلف باختلاف الصنف والمنطقة الزراعية ، فزيادة GDD في الأقاليم الحارّة تُسرِّع تقدّم المراحل وتقلِّص طول فصل النمو، بينما يُؤدّي نقصها إلى تأخير الإزهار والنضج وتدنّي الجودة . [٢] كما تستعمل GDDعملياً لتوقيت مكافحة الآفات وتحديد نوافذ الزراعة الصيفية المبكرة/المتأخرة [٣])).

ويُفسَّر التباين المكاني في مواعيد الحصاد بين وسط/جنوب العراق وشماله بفروق الحرارة المتجمعة وطول فصل النمو [٤]

اعتمدت هذه الدراسة معادلة الشلّش لاحتساب الحرارة المتجمّعة شهرياً خلال فصل نمو الرز (حزيران–تشرين الثاني)، مع ضبط القيم الأقل من الصفر النوعي إلى الصفر لتفادي القيم السالبة [٥] . استُخدمت السلاسل الشهرية طويلة الأمد (١٩٨٨–٢٠٢٣) لكلٍّ من محافظتي النجف والقادسية، ثم جُمعت القيم الشهرية للحصول على مجموع GDD الموسمي. هذا الإجراء يتّسق مع الممارسات القياسية في المناخ التطبيقي ويُتيح المقارنة المكانية الزمانية [٦]

وهناك عدة طرق لاحتساب الوحدات الحرارة المتجمعة لغرض التعرف على مقدار الوحدات

---

(١) عبد الرضا جواد القسام وآخرون، الإنتاج النباتي، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، هيئة المعاهد التقنية، المكتبة الوطنية، بغداد، ١٩٨٩، ص ١٠٧-١١٠.

(٢) رياض عبد اللطيف، فسلجه الحاصلات الزراعية ونموها تحت الظروف الجافة، مطبعة التعليم العالي، ١٩٨٧، ص ٣٩٦.

(٣) القسام وآخرون، مؤشرات المناخ الزراعي، ٢٠٢٠، ١٩٨٩، ص ١٠٧–١١٠

(٤) مجيد محسن الانصاري، انتاج المحاصيل الحقلية، جامعة بغداد، ١٩٨٢، ص٧٥.

(٥) احمد سعيد حديد وزملائه، جغرافية الطقس، مصدر سابق، ص ١٠١-١٠٢.

(٦)**McMaster, G. S., & Wilhelm, W. W. (Year). Title of the article. Journal Name, volume(issue), pp. 296–299.**

الحرارية المتجمعة خلال فصل النمو لمحصول الرز ومنها:-

١/ معادلة الدكتور علي حسين الشلش:-

م= (ح- ص) × ع ..... [١]

إذ إن:

وتمثل الحرارة المتجمعة (م) حاصل ضرب الفرق بين المعدل الشهري لدرجة الحرارة (ح) والصفر الحراري النوعي للمحصول (ص) في عدد أيام الشهر (ع).

٢/ معادلة سيأتينيوف:- [٢]

الوحدات الحرارية المتجمعة(Growing Degree Days - GDD)

$$X = \Sigma (\bar{T} - T_o)$$

إذ أن:-

إذ أن:

X = مجموع الوحدات الحرارية المتجمعة خلال الشهر أو السنة (°م)

Tmax = درجة الحرارة العظمى اليومية (°م)

Tmin = درجة الحرارة الصغرى اليومية (°م)

T_o = درجة بدء النمو (وغالباً ١٠°م)

ويتم احتساب القيم فقط للأيام التي تزيد فيها درجة الحرارة عن العتبة الحرارية.

٣/ معادلة الوحدات الحرارة المتجمعة.....[٣]

(معدل حرارة النهار - درجة بدء النمو)+(معدل حرارة الليل - درجة بدء النمو)×عدد أيام الشهر[*]

٢

اعتمدت الدراسة تطبيق معادلة الدكتور علي حسين الشلش، بوصفها من أكثر المعادلات شيوعًا واستعمالا لما تتميز به من دقة علمية ومرونة في التطبيق، فضلًا عن ملاءمتها للظروف المناخية

---

[١] علي حسين الشلش ، اثر الحرارة المتجمعة على نمو ونضج المحاصيل الزراعية في العراق ، نشرة دورية تصدرها الجمعية الجغرافية الكويتية ، العدد ٦١، ١٩٨٤،ص٦.

(٢) **أشواق حسن حميد**، أثر المناخ على نمو وإنتاجية المحاصيل الصيفية في محافظة كربلاء، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية التربية ابن رشد، جامعة بغداد، ٢٠٠٩، ص ٥٧.

[٣] جعفر حسين محمود، اثر المناخ في تحديد إنتاج الفاكهة في المنطقة الوسطى من العراق، رسالة ماجستير (غير منشورة)، مصدر سابق ، ص٤٥.

* - وعند استعمال هذه المعادلة يجب إن تعدل الدرجات التي هي اقل من درجة صفر النمو واعتبارها مساوية لها وذلك لتجنب إجراء عملية الطرح عليها.

السائدة في العراق. وتُسهم هذه المعادلة في تحديد مواعيد زراعة المحصول من خلال معرفة الحد الأدنى لدرجة الحرارة التي يبدأ عندها نمو المحصول (الصفر الحراري النوعي)، إضافة إلى تحديد موعد نضج المحصول وطول فصل النمو الخاص به. وتتباين كمية الحرارة المتجمعة خلال موسم النمو بين المحاصيل تبعًا لاختلاف درجات الحد الأدنى المعتمدة في الحساب، فضلًا عن تباين مدة النمو من محصول إلى آخر. وبناءً على ذلك، اعتمد الباحث المعدلات الحرارية الشهرية في حساب الوحدات الحرارية المتجمعة لكل شهر من أشهر السنة خلال فصل نمو المحصول، إذ حُسبت الحرارة المتجمعة شهريًا، ثم جُمعت القيم للحصول على إجمالي الحرارة المتجمعة خلال فصل النمو، وعُرضت النتائج في شكل رسوم بيانية توضيحية.(١)

تتباين الوحدات الحرارية المتجمعة خلال فصل نمو محصول الرز زمانيًا ومكانيًا بين منطقة البحث، وهو ما يوضحه الجدول (٦) والشكل (٥)، اللذان يبيّنان المعدلات الشهرية للوحدات الحرارية المتجمعة لموسم زراعة الرز في محافظتي النجف والقادسية للمدة (١٩٨٠–٢٠٢٣)، وذلك بالاعتماد على معادلة الدكتور حسين شلش التي جرى توضيحها سابقًا. وقد تم احتساب الوحدات الحرارية المتجمعة على أساس أن فصل نمو الرز يبدأ من شهر حزيران وينتهي في شهر تشرين الثاني، انسجامًا مع التقسيم الشهري القياسي للبيانات المناخية المعتمدة في محطات الأرصاد الجوية.

وعلى الرغم من أن المرحلة النهائية من نمو محصول الرز لا تستغرق سوى أيام محدودة من شهر تشرين الثاني، فقد جرى اعتماد المعدل الشهري لهذا الشهر بوصفه إجراءً منهجيًا يهدف إلى الحفاظ على تجانس السلسلة الزمنية وإمكانية المقارنة المناخية بين سنوات الدراسة، ولا سيما أن البيانات المناخية المتاحة تُنشر بصيغ شهرية معيارية، في حين لا تتوافر بيانات يومية متكاملة لجميع العناصر المناخية خلال المدة الزمنية الكاملة للدراسة.وقد بلغ أعلى معدل شهري لكمية الوحدات الحرارية المتجمعة في شهر تموز في كل من محافظتي النجف والقادسية، إذ سجل نحو (٨٦٥، ٨٤٠.١م°) على الترتيب، في حين سُجل أدنى معدل لها في شهر تشرين الثاني بواقع (٢٣٥، ٢٥٥ م°) على الترتيب. وتُعد هذه القيم الحرارية ملائمة بدرجة كبيرة لزراعة معظم أصناف محصول الرز في منطقة البحث، ولا سيما خلال المراحل الفسيولوجية الرئيسة للنمو.

وبصورة عامة، بلغ مجموع الوحدات الحرارية المتجمعة لمحصول الرز خلال موسم نموه نحو (٣٩٢٧.٨، ٣٩٠٦.٥ م°) في محافظتي النجف والقادسية على الترتيب، وهو ما يدل على

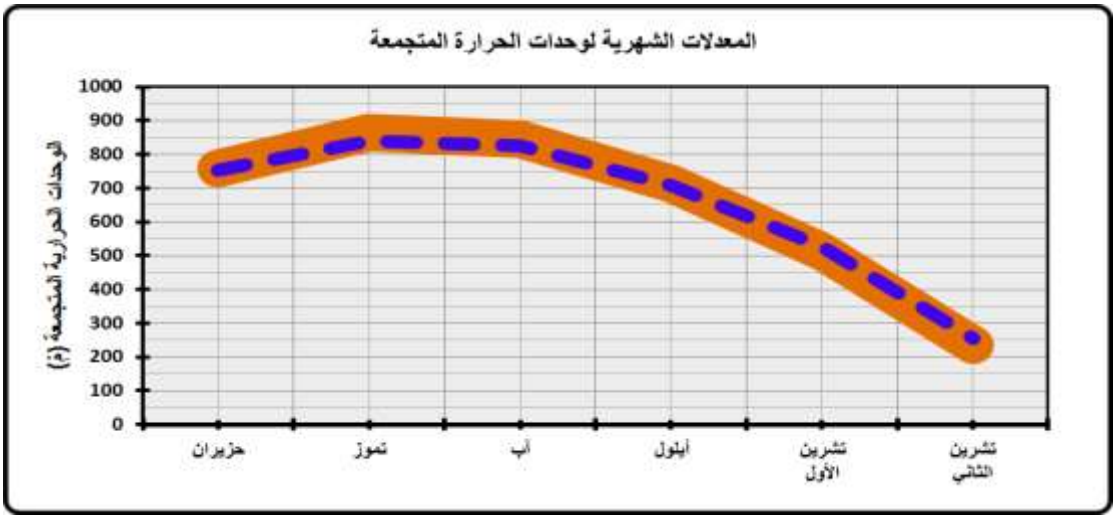
(١)غفران محمد عزيز السيلاوي، النمذجة المناخية لأقاليم الحرارة المتجمعة لزراعة و إنتاج الفاكهة في العراق، جامعة الكوفة، كلية التربية للبنات، ٢٠٢٣م،ص٧٠.

الملاءمة الحرارية الواضحة لمنطقة البحث لزراعة محصول الرز في مختلف مراحل نموه، مع تفوق نسبي لمحافظة النجف الأشرف من حيث كفاءة التراكم الحراري.

جدول (٦) المعدلات الشهرية للوحدات الحرارية المتجمعة لموسم زراعة الرز في محافظتي النجف والقادسية للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)

المحطة المناخية	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين الأول	تشرين الثاني	المجموع
النجف	**758.5**	**865.0**	**845.2**	**712.6**	**511.5**	**235.0**	**3928**
الديوانية	**753.0**	**840.1**	**824.6**	**706.8**	**527.0**	**255.0**	**3907**

المصدر: بالاعتماد على جمهورية العراق، وزارة النقل، الهيأة العامة للأنواء الجوية ، وحدة الرصد الزلزالي، قسم المناخ، بيانات غير منشورة، ٢٠٢٣



القيم الشهرية الفعلية للوحدات الحرارية المتجمعة

الاتجاة العام لتغير القيم

شكل (٥) درجات الحرارة المتجمعة (مْ) بحسب الأشهر لموسم زراعة الرز في منطقة البحث في محطة النجف للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)

المصدر بالاعتماد على بيانات جدول (٦).

٢-١-٤- متطلبات الرياح :-

تُعد الرياح من أبرز العناصر المناخية المؤثرة في الإنتاج الزراعي، لما لها من دور مزدوج في النظام البيئي الزراعي، فهي من جهةٍ تسهم في نقل الطاقة والرطوبة وبخار الماء بين المسطحات المائية واليابسة، ومن جهة أخرى تؤثر مباشرةً في العمليات الفسيولوجية للنبات عبر تنظيم التبادل الغازي والتوازن الحراري في طبقة الغلاف القريب من سطح النبات [١].وتنتج حركة الرياح عن فروق الضغط الجوي، إذ تتحرك الرياح من مناطق الضغط الجوي المرتفع باتجاه مناطق الضغط المنخفض، وهو ما يفسر أنماط الرياح السائدة في العراق، ولا سيما الرياح الشمالية الغربية خلال فصل الصيف، التي تمثل ما يقارب (٧٥٪) من إجمالي الاتجاهات الريحية السنوية. وتُعد دراسة الرياح وتحليل خصائصها من حيث الاتجاه والسرعة والتغير الزمني من المتطلبات الأساسية في الدراسات المناخية.، وذلك لأنها قد تكون المسبب المهم لكثير من الظواهر الطقسية مثل الأعاصير والغيوم والامطار والثلوج وكذلك فترات الحرارة العالية والمنخفضة وذلك بسبب العلاقة المتشابكة والمتداخلة مابين العوامل المناخية ، وتتأثر الرياح بالضغط الجوي الذي يعمل على تغير سرعة واتجاه الرياح حيث تتحرك الرياح من مراكز الضغط العالي نحو مناطق الضغط الواطئ ، فضلا عن وظائفها الرئيسة التي تقوم بها ذا تعمل وتسهم الرياح في نقل الطاقة وبخار الماء من مصادره المتمثلة بالمسطحات المائية إلى المناطق اليابسة[٢].وتؤثر الرياح في الغطاء النباتي بصورة مباشرة وغير مباشرة، إذ تؤدي زيادة سرعتها إلى ارتفاع معدلات الفقد الرطوبي نتيجة زيادة عمليتي التبخر والنتح، كما أن الرياح الشديدة قد تُحدث أضرارًا ميكانيكية للنبات من خلال تمزيق الأنسجة وتجريد الأشجار من أوراقها وأغصانها، وقد تصل في بعض الحالات إلى إتلاف النبات كليًا. وينطبق ذلك على مختلف النباتات والمحاصيل الزراعية، فضلًا عن الأضرار الناتجة عن عملية نخر وحك الرياح المحملة بالرمال أو الحصى أو حبيبات الجليد، والتي تُعد من العوامل المتلفة للنباتات. كما تؤدي الرياح الحارة والجافة إلى زيادة كميات الماء المفقودة بفعل التبخر والنتح، وتسريع تلف أنسجة النبات، وتزداد حدة تأثير الرياح في المناطق الجبلية المكشوفة، ولا سيما عند اقترانها بضعف التربة وانخفاض درجات الحرارة ووجود الغطاء الجليدي أو الثلجي [٣].وتُعد الرياح من العناصر

(١) علي علي البنا، أسس الجغرافيا المناخية والنباتية، دار النهضة العربية، بيروت، ١٩٦٨، ص٢٦٠.

(٢)عبدالاله رزوقي كربل، ماجد سيد ولي، علم الطقس والمناخ ، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي مطبعة جامعة البصرة ،١٩٨٦، ص٤٦.

(٣)علي علي البنا، مصدر سابق، ص٢٦٠.

المناخية المهمة المؤثرة في زراعة محصول الرز، إذ تلعب دورًا فاعلًا في نموه وجودة إنتاجه، ويتباين تأثيرها المباشر في النباتات تبعًا لخصائصها من حيث السرعة ومحتواها من الرطوبة وبخار الماء. ومن التأثيرات الإيجابية للرياح أنها تسهم في تزويد النبات بغاز ثاني أوكسيد الكربون الضروري لعملية التمثيل الضوئي، فضلًا عن توفير غاز الأوكسجين اللازم لتنفس النبات وللعمليات الحيوية والكيميائية التي تجري في التربة[١].

ويعتمد الأثر الإيجابي للرياح في محصول الرز على سرعتها، إذ تؤدي الرياح الخفيفة إلى تنشيط الفعاليات الحيوية للنبات المرتبطة بصنع الغذاء، كما تسهم في خفض الرطوبة الزائدة في التربة وتقليل درجات الحرارة في المناطق الحارة، وتساعد على تحقيق التبادل الحراري بين النبات والهواء، إضافة إلى نقل بخار الماء بالكميات التي تسمح بتنفس النبات بصورة طبيعية[٢].وعند سرعات معتدلة تتراوح بين (١–٢ م/ث)، تعمل الرياح على تحسين كفاءة التبادل الغازي في أوراق النبات، مما يؤدي إلى رفع كفاءة عملية التمثيل الضوئي نتيجة تجدد الهواء المحيط بالمظلة النباتية وزيادة امتصاص غاز ثاني أوكسيد الكربون[٣].تؤدي الرياح دورًا مهمًا في نقل حبوب اللقاح بين النباتات أو داخل أزهار النبات الواحد، إذ تستفيد العديد من المحاصيل الحقلية من حركة الهواء في إتمام عمليات التلقيح، ولا سيما التلقيح الذاتي. كما تسهم الرياح الهادئة في تلطيف درجات الحرارة السطحية من خلال تعزيز التبخر المعتدل للمياه في حقول الرز المغمورة، مما يساعد على الحفاظ على التوازن الحراري والرطوبي للتربة ويخفف من الإجهاد الحراري الذي تتعرض له النباتات. كذلك تؤدي الرياح الخفيفة دورًا إيجابيًا في دعم التلقيح الطبيعي لبعض أصناف الرز عبر تسهيل انتقال حبوب اللقاح، الأمر الذي ينعكس في تحسين معدلات الإخصاب وزيادة كفاءة الإنتاج.

في المقابل، قد تتسبب الرياح السريعة بأضرار ملحوظة للمحاصيل الحقلية، وتكون الرياح الجافة أشد تأثيرًا، خاصة عند تزامنها مع مرحلة التزهير، إذ تؤدي إلى تلف حبوب اللقاح وانخفاض نسب الإخصاب، مما ينعكس سلبًا على كمية الإنتاج. كما تسهم شدة الرياح في تكسر السنابل وإحداث اضطراب في توازن الماء داخل أنسجة النبات، الأمر الذي يؤدي إلى ضعف النمو وانخفاض تكوين البذور.

---

(١) عادل سعيد الراوي، قصي عبد المجيد السامرائي، مصدر سابق، ص ١٩٣.

(٢) فاضل عبد العباس مهير الفتلاوي، تحليل جغرافي لخصائص المناخ وعلاقتها بالإنتاج الزراعي في محافظة بابل، مصدر سابق، ٢٠١٠، ص ٥٩.

(٣) خلود مساعد الغزي، المناخ وعلاقته بزراعة محاصيل القمح والشعير والرز في محافظة ذي قار، رسالة ماجستير، جامعة ذي قار، ٢٠١٤، ص٤٣.

فضلًا عن الأضرار التي تلحق بالأزهار نتيجة تبخر الإفرازات من المياسم الزهرية ويتجسد التأثير السلبي للرياح في محصول الرز في عدد من الظواهر والمشكلات، من أبرزها ظاهرة الاضطجاع الناتجة عن الرياح العالية السرعة، وتُعد هذه الظاهرة من المشكلات الرئيسة في المناطق الإروائية، ولا سيما عند زيادة الري وضعف تماسك التربة وهشاشة سيقان المحصول، وتظهر بوضوح في مناطق وسط وجنوب العراق. خاصة في أصناف الرز ذات السيقان الطويلة مثل صنف العنبر، إذ يؤدي ذلك إلى تكسر السيقان وانبساط الحقول، مما يعيق عمليات الحصاد ويزيد من الخسائر الميدانية الناتجة عن تعفن السنابل أو تغذي الطيور عليها [١] كما تؤدي الرياح القوية والجافة إلى زيادة معدلات التبخر–النتح (Evapotranspiration) وانخفاض الرطوبة النسبية في الهواء المحيط بالنبات، مما يسبب فقدان الماء من الأنسجة النباتية وانخفاض ضغط الامتلاء الخلوي(Turgor Pressure) ، وينعكس ذلك بذبول الأوراق وتساقطها. وتُعد الرياح الجافة التي تهب خلال مرحلة التزهير من أكثر العوامل ضررًا، إذ تؤدي إلى جفاف المياسم وتلف حبوب اللقاح وانخفاض معدلات الإخصاب، مما يرفع نسبة السنابل الفارغة، كما تؤدي الرياح العالية السرعة إلى تطاير حبوب اللقاح وعدم إتمام عملية الإخصاب، فضلًا عن تمزق الأوراق وضعف النبات . ويزداد تأثير الرياح في رفع معدلات التبخر والنتح، ولا سيما إذا تزامن ذلك مع فصل الصيف الحار، مما يؤدي إلى زيادة الاستهلاك المائي للمحاصيل الصيفية، كما تتسبب في خفض الرطوبة النسبية والرطوبة الأرضية، الأمر الذي يؤثر سلبًا في العمليات الفسيولوجية للنبات ويؤدي إلى زيادة النتح وذبول الأوراق وتساقطها بصورة عامة [٢]هناك متطلبات ضرورية ومثالية للرياح عند زراعة الرز، إذ تُفضل الرياح الهادئة إلى المتوسطة السرعة خلال مدة زراعة الرز، وتكون سرعة الرياح المثالية بين ١–٢ م/ث. وتسهم هذه السرعات المعتدلة في تحسين التهوية داخل الحقل وتقليل الرطوبة الزائدة، بما يعزز من كفاءة العمليات الفسيولوجية للنبات. كما تساعد على استقرار النباتات وتقليل احتمالية حدوث الاضطجاع أو فقدان حبوب اللقاح خلال المراحل الحساسة من النمو. فالرياح القوية قد تؤدي إلى كسر سيقان الرز وتقليل الإنتاجية. ويلعب التدفق الهوائي المعتدل للرياح دورًا هامًا في تلقيح الرز ، وخاصة عند الأصناف التي تعتمد على الرياح في التلقيح.

(١) وزارة الزراعة العراقية، *دليل زراعة الرز في العراق*، بغداد، ٢٠١٩، ص ٤٥–٥٢.
(٢) منظمة الأغذية والزراعة، *الزراعة الذكية مناخياً في الشرق الأدنى وشمال أفريقيا*، روما، ٢٠٢١، ص ٧٣–٨١.

إذ تساعد الرياح الخفيفة على نقل حبوب اللقاح. وللرياح دور مهم في الحفاظ على رطوبة التربة فتتطلب زراعة الرز مستويات مرتفعة من الرطوبة، وعادةً ما تكون التربة مغمورة بالماء، لذا فإن الرياح القوية قد تزيد من فقدان الماء عن طريق التبخر. وبالتالي، تفضل الرياح المعتدلة التي لا تؤثر على مستويات الرطوبة المطلوبة. وبالتالي نتجنب حدوث الجفاف.

يتضح من الجدول (٧) والشكل (٦) أن المعدل السنوي لسرعة الرياح خلال موسم زراعة محصول الرز بلغ نحو (١.٩) م/ثا في محطة النجف، في حين وصل إلى (٢.٣) م/ثا في محطة القادسية. وسُجِّل أعلى معدل لسرعة الرياح في محطة النجف خلال شهري حزيران وتموز، إذ بلغ قرابة (٢.٨) م/ثا لكل منهما على الترتيب. كما بلغ أعلى معدل لسرعة الرياح في محطة الديوانية خلال شهري حزيران وتموز نحو (٢.٨، ٢.٧) م/ثا لكل منهما على الترتيب، في حين سُجِّل أدنى معدل لسرعة الرياح في شهر تشرين الثاني، إذ بلغ نحو (١.٢، ١.٧) م/ثا في محطتي النجف والقادسية على الترتيب. وتُعد هذه القيم ملائمة جدًا من الناحية المناخية لنمو محصول الرز في مختلف مراحله، لكونها تقع ضمن الحدود المناسبة لنموه ونضجه، كما تتميز منطقة البحث عمومًا بسيادة الرياح المعتدلة. وتسود في العراق الرياح الشمالية الغربية على مدار السنة، ولا سيما خلال فصل الصيف، إذ تشكل نحو (٧٥٪) من مجموع الاتجاهات الريحية، ويظهر تباين معدل سرعة الرياح خلال أشهر السنة بوضوح، مع تسجيل ارتفاع ملحوظ خلال أشهر الفصل الحار، ولا سيما حزيران وتموز.[١] وتتباين درجة الضرر الذي تُحدثه الرياح في محصول الرز تبعًا لخصائص المحصول وأصنافه، إذ يُعد صنف العنبر من أكثر الأصناف تعرضًا لظاهرة الاضطجاع الناتجة عن زيادة سرعة الرياح، ولا سيما خلال مرحلة نضج المحصول، حيث يتأثر بدرجة أكبر بسبب طول الساق وضعفها النسبي. وتتمثل أبرز نتائج ظاهرة الاضطجاع في صعوبة عمليات الحصاد، وتلف الطبقات السفلى من المحصول، ولا سيما عند تزامن ذلك مع رطوبة التربة، فضلًا عن زيادة تعرض المحصول للتلف بفعل الطيور التي تنشط بأعداد كبيرة في حقول الرز خلال موسم النضج، إذ تميل إلى اختيار الحقول المتعرضة للاضطجاع لسهولة الحركة والتنقل داخلها [٢].

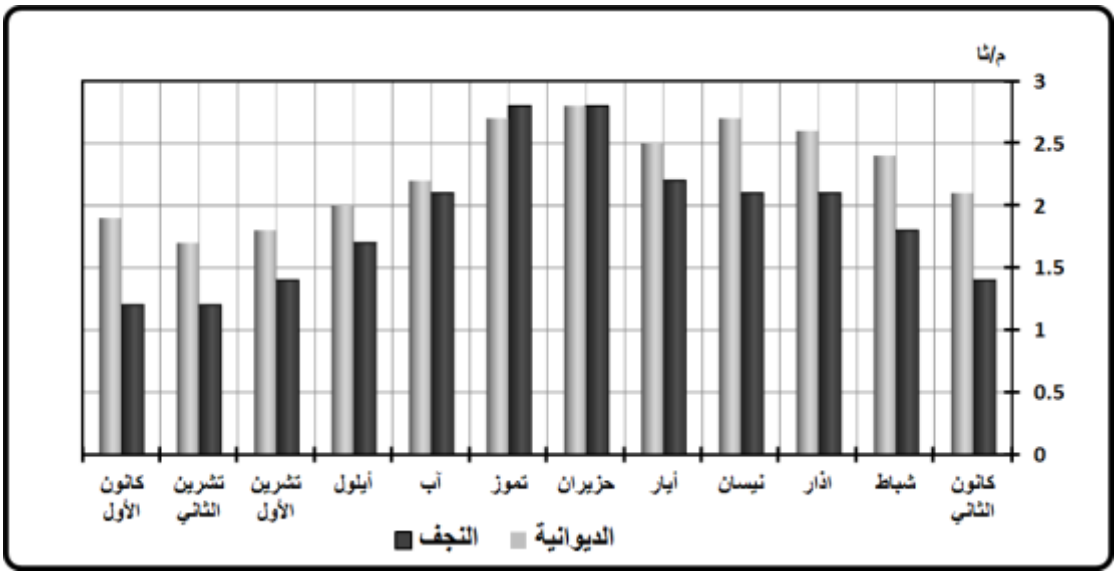
(١)عاصم عادل عباس البصري ، التحليل المكاني للمناطق الخضراء في مدينة القادسية وامكانية تطويرها، رسالة ماجستير ، كلية الآداب ، جامعة القادسية ، ٢٠١٤ ،ص ٥٦.

(٢)الدراسة الميدانية، مقابلة شخصية مع المزارع، ناصر جميل حسن، قضاء المشخاب، منطقة ام عردة، ٢٠٢١/١١/١.

جدول (٧) المعدلات الشهرية لسرع الرياح (م/ثا) لموسم زراعة الرز في محطة النجف للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)

المحطة المناخية	كانون الثاني	شباط	اذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول	المعدل
النجف	1.4	1.8	2.1	2.1	2.2	2.8	2.8	2.1	1.7	1.4	1.2	1.2	1.9
الديوانية	2.1	2.4	2.6	2.7	2.5	2.8	2.7	2.2	2.0	1.8	1.7	1.9	2.3

المصدر: بالاعتماد على جمهورية العراق، وزارة النقل، الهيأة العامة للأنواء الجوية ، وحدة الرصد الزلزالي، قسم المناخ، بيانات غير منشورة، ٢٠٢٣ .



شكل (٦) المعدلات الشهرية لسرع الرياح (م/ثا) لموسم زراعة الرز في محطة النجف للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)

المصدر بالاعتماد على بيانات جدول (٧).

٢-١-٥- الرطوبة النسبية :-

تُعدّ الرطوبة النسبية أحد أهم المحددات المناخية التي تتحكم بديناميكية النمو الفسيولوجي لمحصول الرز في البيئات شبه الجافة. إذ تمثل المكوّن المكمل لميزان الماء الزراعي وتحدد مدى فقدان الماء عن طريق عمليتي التبخر والنتح . ويُشير التحليل المناخي إلى أن أي تغير في الرطوبة النسبية بمقدار (±١٠ %) يؤدي إلى تغير يقارب (±٦ %) في كفاءة استعمال

الماء (WUE) لدى نبات الرز[١]. تختلف احتياجات المحاصيل الحقلية من الرطوبة النسبية باختلاف مراحل نموها، إذ تُعد الرطوبة من العوامل المؤثرة في نجاح الإنتاج الزراعي. وترتبط الرطوبة النسبية بعلاقة عكسية مع احتياجات النبات المائية، فكلما ارتفعت مستوياتها قلت حاجة النبات إلى الري، بينما يؤدي انخفاضها، خاصة في فصل الصيف، إلى زيادة عدد الريات، مما قد يسبب خللًا في العمليات الفسيولوجية والحيوية للنبات. كما أن ارتفاع الرطوبة النسبية بالتزامن مع درجات حرارة مرتفعة يسهم في تهيئة بيئة ملائمة لانتشار العديد من الأمراض النباتية. وكذلك تكون العلاقة عكسية مابين الرطوبة النسبية والتبخر– النتح [٢].

أما الرطوبة النسبية المثلى فتتراوح بين ٪٨٠–٧٠خلال مراحل التزهير والامتلاء، وتُسهم في خفض معدلات التبخر-نتح (Evapotranspiration) إلى حدود يمكن تعويضها عبر الري المستمر، الأمر الذي يجعل من التحكم بالرطوبة عاملاً حاسمًا في البيئات الجافة وشبه الجافة [٣].تُشير قواعد البيانات الزراعية الحديثة إلى أن محصول الرز يُعد من المحاصيل المحبة للماء، إذ يحتاج إلى كميات مائية موسمية مرتفعة تتراوح بين ١٢٠٠–١٥٠٠ ملم، الأمر الذي يفسر درجة حساسيته العالية تجاه تقلبات الموارد المائية، ولا سيما في المناطق التي تعتمد على مصادر الري السطحي أو الجوفي.

تتطلب زراعة الرز مستويات عالية من الرطوبة النسبية لضمان النمو الأمثل للنبات، حيث تتراوح الرطوبة النسبية المثالية بين (٧٠% - ٨٠%) خلال مدة نمو الرز وذلك بسبب تركيبه المورفولوجي والفسلجي،. هذه الرطوبة العالية تساعد على تقليل فقدان الماء بالتبخر من التربة والنبات، خاصة في المناطق التي تتطلب أن تكون التربة مشبعة بالماء. وتعزيز النمو الصحي للأوراق والسيقان، مما يقلل من خطر جفاف الأنسجة النباتية ويضمن إنتاجية أفضل. ودعم عمليات التلقيح في بعض أصناف الرز، حيث تُعد الرطوبة العالية عاملًا مساعدًا في نمو حبوب اللقاح وثباتها. فالرطوبة العالية ضرورية طوال مدة النمو، بدءًا من زراعة الشتلات

(١)Singh, R., & Irmak, S. (2020). Evapotranspiration and microclimate interactions in rice paddies under variable irrigation. Journal of Hydrology, Elsevier, Vol. 590, Article No. 112950, pp. 9–16.

(٢) رعد عبد الحسين محمد، المعوقات المناخية الجوية والارضية المؤثرة في الزراعة في محافظة القادسية، مجلة البحوث الجغرافية، العدد السابع، ٢٠٠٦، ص٢٩٧.

(٣)Trewartha, G. T. & Horn, L. H. An Introduction to Climate. New York: McGraw-Hill, (1980). pp. 312–318.

وحتى مدة النضج [١]. يتعرض محصول الرز لأضرار متعددة عند انخفاض نسبة الرطوبة النسبية إلى أقل من (٤٠٪) أو عند ارتفاعها إلى أكثر من (٩٥٪)، ومع ذلك تنجح زراعته في الأقاليم شبه الجافة والجافة، ويُعزى ذلك إلى ارتفاع الرطوبة النسبية داخل حقول الرز مقارنة بالمناطق المحيطة بها، نتيجة غمر الحقول بالمياه. وينمو نبات الرز بصورة جيدة عندما تكون التربة ذات رطوبة مشبعة أو مغمورة بالمياه، في حين يؤدي انخفاض الرطوبة إلى تأثر نمو المحصول بدرجة كبيرة، ولا سيما خلال مرحلة التزهير. وفي السياق ذاته، فإن التفاعل بين هذه المحددات المناخية ينعكس بشكل مباشر على ديناميكية النمو والإنتاج، إذ يؤدي ارتفاع درجات الحرارة فوق المستوى المثالي إلى تسريع المراحل الفينولوجية وتقليص مدة امتلاء الحبوب، في حين يسهم نقص الإشعاع الشمسي أو انخفاض الرطوبة في إبطاء عمليات البناء الحيوي. وقد أظهرت دراسات [٢] . أن الإنتاجية المثلى للرز تتحقق عندما تتكامل العوامل البيوفزيائية في منظومة متوازنة تجمع بين حرارة معتدلة، ورطوبة مرتفعة، وتدفق إشعاعي كافٍ، وتوفر مائي مستمر [٣]. وتُعد هذه المعطيات مؤشرًا علميًا مهمًا لتخطيط مستقبل زراعة الرز في ظل التغير المناخي. يتضح من الجدول (٨) والشكل (٧) اللذين يبينان المعدلات الشهرية لقيم الرطوبة النسبية خلال موسم زراعة محصول الرز في منطقة البحث، ان المعدل السنوي للرطوبة النسبية للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣) في محطتي النجف والقادسية يبلغ(٤٠.٣ %) (٤٤.٤ %) لكل منهما على الترتيب ، اما معدل الرطوبة النسبية خلال فصل النمو لمحصول الرز في محطتي النجف والقادسية يبلغ (٣٠.٧ %) (٣٦.٢ %) لكل منهما على الترتيب، ويبلغ اعلى معدل للرطوبة النسبية خلال موسم زراعة الرز في تشرين الثاني ويبلغ في محطتي النجف والقادسية يبلغ(٥٣.٦ %) (٥٧.٩ %) لكل منهما على الترتيب، وسُجِّل أقل متوسط للرطوبة النسبية خلال شهر تموز في محطة النجف وبلغت قيمته (٢٠.٧ %) ، وسجل أدنى معدل للرطوبة النسبية في شهر حزيران في محطة الديوانية بلغ (٢٧.٥ %)، وتعَد هذه النسبة من الرطوبة النسبية مناسبة لنمو محصول الرز. ويرجع انخفاض الرطوبة النسبية في المحطتين الى ارتفاع درجات الحرارة الكبير خلالهما. نستنتج مما سبق ان مقدار ما يتوفر من رطوبة نسبية قليل لا يتناسب مع متطلبات

(١) مجيد محسن الانصاري، انتاج المحاصيل الحقلية، مصدر سابق، ص٥٦.

(٢) Bouman, B.A.M., et al. Rice: Feeding the Billions. Los Baños: International Rice Research Institute (IRRI), Philippines, (2007). pp. 25–34.

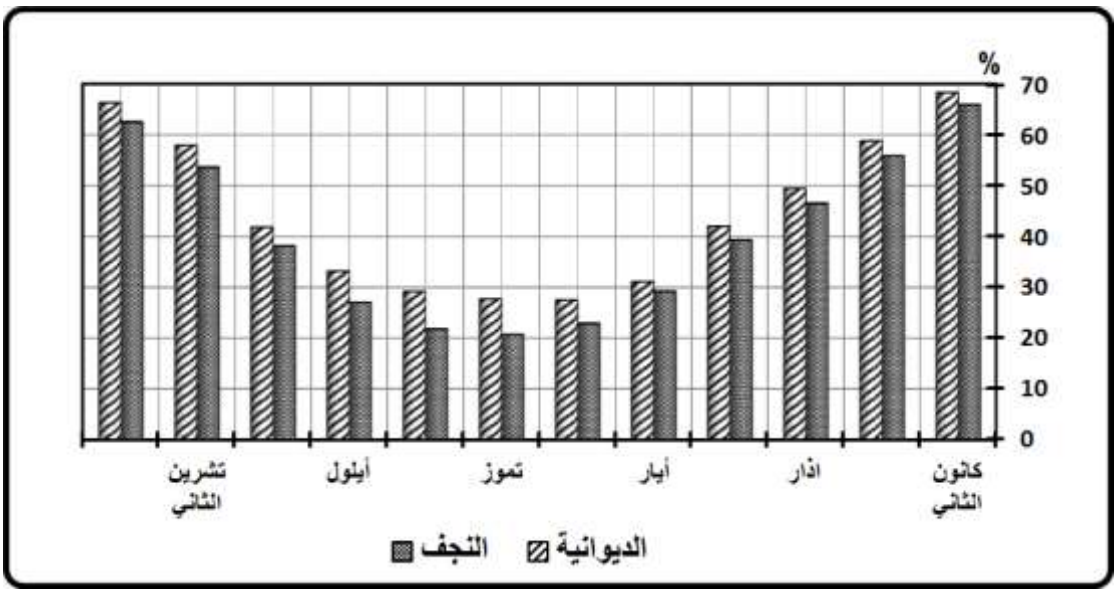
(٣)Yoshida, S. Fundamentals of Rice Crop Science. Los Baños: IRRI, Philippines, (1981). pp. 100–124.

النمو لمحصول الرز لان الرز يحتاج رطوبة نسبية من (٧٠-٨٠%) وان ما يعوض هذا النقص الكبير هو طريق وأسلوب الري وغمر الأراضي بالمياه [١]. و يتضح من التحليل المناخي أن الرطوبة النسبية في محافظتي النجف والقادسية تقع دون الحدود المثلى لنمو الرز، غير أن النظام المائي للغمر يعوض هذا النقص عبر خلق مناخ محلي رطب نسبيًا.

جدول (٨) المعدلات الشهرية لقيم الرطوبة النسبية % لموسم زراعة الرز في منطقة البحث للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)

المحطة المناخية	كانون الثاني	شباط	اذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول	المعدل
النجف	65.9	55.8	46.5	39.3	29.2	22.9	20.7	21.8	27.0	38.1	53.6	62.5	40.3
الديوانية	68.3	58.8	49.4	42.0	31.1	27.5	27.7	29.2	33.2	41.8	57.9	66.3	44.4

المصدر: بالاعتماد على بيانات جدول (٦).



(١) رجاء محي أبو العيسى، المحاصيل الحقلية، المجلة الزراعية، العدد ٤، ١٩٧٦، ص ٨٥.

شكل (٧) المعدلات الشهرية لقيم الرطوبة النسبية % لموسم زراعة الرز في منطقة البحث للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)

المصدر: بالاعتماد على بيانات جدول (٨).

٢-١-٦- الأمطار :-

تُعدّ الأمطار من أهم العناصر المناخية التي تؤثر بشكل مباشر وغير مباشر في الزراعة الحقلية، إذ تسهم في تحديد الموازنة المائية الزراعية (Agricultural Water Balance) وتوفر المياه اللازمة لنمو المحاصيل. غير أن تأثيرها في زراعة الرز في منطقة البحث يُعد محدودًا للغاية بسبب وقوعها ضمن نطاق المناخ الجاف وشبه الجاف وفق تصنيف Köppen–Geiger (BWh – BSh)، حيث تتصف بانخفاض كميات الأمطار السنوية وتذبذبها الزمني والمكاني[١].

ويعود هذا التأثير السلبي إلى أن هطول الأمطار المتأخر يرفع من مستوى رطوبة التربة والبذور، فيؤدي إلى تعفن السنابل وتأخير عمليات الحصاد، فضلًا عن اضطراب العمل الميكانيكي للحاصدات نتيجة تليّن التربة وتشبعها بالماء. هذه الظواهر تُعرف فسيولوجيًا باسم اضطجاع السيقان(Lodging) وتفريط الحبوب(وGrain Shattering)، وتُعد من أهم أسباب انخفاض الإنتاجية النهائية للحبوب في البيئات المدارية شبه الجافة [٢].

وتؤدي الأمطار دورًا غير مباشر في العملية الزراعية عموما وفي مجال زراعة محصول الرز تحديدًا بصورة خاصة في نطاق منطقة البحث، وذلك لقلة او انعدام الامطار في فصل النمو لمحصول الرز باستثناء الامطار التي تسقط في نهاية الموسم الزراعي في شهري تشرين الأول وتشرين الثاني والتي تؤثر وبشكل سلبي على نمو المحصول وذلك لأنها تسبب زيادة رطوبة التربة والبذور وتعرضها للتلف والتعفن وصعوبة وتأخير عمليات الحصاد الآلية واليدوية [٣]. و الرز من النباتات التي تتطلب كميات كبيرة من المياه سواء توفرت من الامطار الغزيرة او الري الجيد خلال مدة النمو وطوال فصل النمو ومدة زراعة الرز. ويحتاج الرز إلى ما يتراوح بين

---

(١)Peel, M.C., Finlayson, B.L., & McMahon, T.A. Updated World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification. Hydrology and Earth System Sciences, (2007).pp11, 1633–1644.

(٢)عبد الحميد، مصدر سابق، ص١٩٢–١٩٣.

(٣) سلام هاتف احمد الجبوري، اساسيات في علم المناخ الزراعي، ط١، مطبعة دار الراية للنشر والتوزيع، عمان، ٢٠١٥، ص ١١٦.

(١٠٠٠ و٢٠٠٠ ملم) من الأمطار سنويًا، أو توفير مياه ري مناسبة او رطوبة مرتفعة تناسب حاجة محصول الرز وبشكل يساعد في توفير الظروف البيئية اللازمة لنمو محصول الرز.

يتطلب محصول الرز خلال موسم نموه توافر كميات كبيرة من المياه لمدة لا تقل عن (٧٥) يومًا، وبمستوى غمر يصل إلى نحو (١٥) سم فوق سطح التربة. وتختلف أصناف الرز في احتياجاتها ومتطلباتها المائية، إذ تتراوح معدلات احتياج الأصناف غير المغمورة من مياه الأمطار بين (٦٠٠–١٢٠٠) ملم، في حين ترتفع احتياجات الأصناف المغمورة لتتراوح بين (١٨٠٠–٢٤٠٠) ملم [(١)]. ويتم الاعتماد على مياه الري لأنعدم هطول الامطار في منطقة البحث خلال فصل نمو محصول الرز ، وتختلف حاجة المحصول للمياه بحسب مراحل نموه او حسب الأشهر في فصل النمو، وتزيد حاجة المحصول للمياه مع زيادة درجات الحرارة وانخفاض الرطوبة ، وقد تبلغ الاحتياجات المائية لمحصول الرز مقننًا مائيًا يُقدَّر بنحو (٦٠٠٠ م^3/دونم). [(٢)]. وقد تصل احتياجات الرز الى كمية من الامطار تقدر بـ (٩١٠ ملم) [(٣)]. ورغم محدودية مساهمة الأمطار في الري المباشر، إلا أنها تلعب دورًا ثانويًا في تحسين رطوبة التربة السطحية وتقليل تركيز الأملاح في بداية الموسم الزراعي، خاصة في المناطق القريبة من مجاري الفرات والقادسية ، وهو ما يساهم في تحسين الخصائص الفيزيائية للتربة ويساعد على تجانس الإنبات في المراحل الأولى من الزراعة. غير أن ذلك يظل أثرًا وقتيًا لا يعوض النقص البنيوي في الرطوبة الأرضية الناتجة عن الجفاف الصيفي الشديد. [(٤)] ومن خلال تحليل و مقارنة المعدلات الشهرية للأمطار في منطقة البحث جدول (٩) والشكل (٨) والمتطلبات المائية لمحصول الرز، نجد ان أشهر الصيف الحار (حزيران وتموز وآب وأيلول) ينعدم سقوط الامطار فيها في حين يشهد تشرين الاول والثاني هطول مطري بمعدل (٤.٩ و ١٥.٥ملم) لمحطة النجف لكل منهما على الترتيب ، وفي محطة الديوانية بلغ معدل المطر (٢.٩ و ١٨.١ملم) لكل منهما على الترتيب، ويكون للأمطار أثرٌ عكسي وسلبي عند تساقطها في منطقة البحث، ولا سيما إذا تزامن هطولها مع مرحلة نضج المحصول، إذ تسهم في تفريط الحبوب وحدوث ظاهرة الاضطجاع، الأمر الذي يؤدي إلى صعوبة عمليات الحصاد اليدوي، وتكون الأضرار أشد في الحصاد الآلي

(١) عبد الحميد احمد اليونس وآخرون، محاصيل الحبوب، مصدر سابق، ص ١٩٢-١٩٣.

(٢) علي عبد الأمير عبود العبادي، الاثآر البيئية والاقتصادية للتغير المكاني لزراعة الشلب في محافظة ديالى، بغداد، بابل، أطروحة دكتوراه، كلية التربية ابن رشد، جامعة بغداد، ص ٤٢.

(٣) رجاء محي أبو العيسى، المحاصيل الحقلية، المجلة الزراعية، مصدر سابق، ص ٨٥.

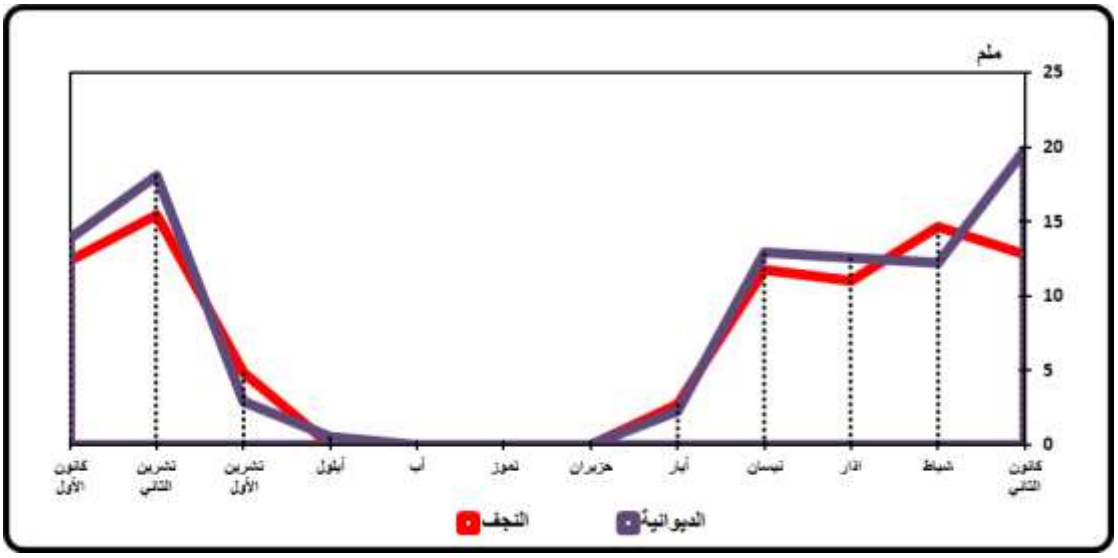
(٤)Hatfield, J.L., & Prueger, J.H. *Agroclimatology: Linking Agriculture to Climate*. Academic Press, USA, (2015). pp. 95–112.

نتيجة تعذّر عمل الحاصدات بكفاءة بسبب ارتفاع رطوبة التربة الناجم عن سقوط الأمطار. ويسجل مجموع الأمطار المستلمة خلال موسم زراعة الرز (٢٠.٣) ملم في محطة النجف و(٢١.٦) ملم في محطة الديوانية، وتتميز الأمطار في منطقة البحث بأنها غير منتظمة وغير كافية لزراعة محصول الرز، وعليه يجب تعويض هذا العجز المائي بمياه الري التي تعتمد عليها زراعة الرز في المنطقة بشكل كبير جدًا. يتضح أن الأمطار في محافظتي النجف والقادسية لا تمثل مصدرًا رئيسًا لري محصول الرز، بل تُعد عنصرًا مناخيًا ذا تأثير محدود، بل وسلبي في بعض مراحل النمو. ويُعزى استمرار زراعة الرز في المنطقة إلى الاعتماد الكامل على مياه الري السطحي، بينما تقتصر فائدة الأمطار على ترطيب التربة موسميًا وتعديل الموازنة الرطوبية بشكل مؤقت. وتشير الاتجاهات المناخية الحديثة إلى ضرورة تطوير سياسات إدارة مائية تكاملية تأخذ بالحسبان النقص المتزايد في الأمطار، خاصة ضمن إطار الزراعة المستدامة في البيئات الجافة العراقية. كما أن قلة الأمطار وعدم انتظامها يزيد من الضغط على الموارد المائية السطحية، ويجعل الزراعة أكثر عرضة للتقلبات المناخية. ويؤدي ذلك إلى ضرورة اعتماد أساليب ري حديثة تسهم في رفع كفاءة استخدام المياه وتقليل الفاقد. كذلك تبرز أهمية اختيار أصناف رز تتحمل ظروف الإجهاد المائي والحراري في مثل هذه البيئات. كما يستلزم الأمر تعزيز إدارة التربة للحفاظ على رطوبتها وتقليل معدلات التبخر. وتؤكد هذه المعطيات أهمية التوجه نحو أنظمة زراعية أكثر كفاءة واستدامة لمواجهة تحديات ندرة المياه. كما أن تحسين كفاءة شبكات الري وصيانتها يقلل من الفواقد المائية الناتجة عن التسرب والتبخر. وتبرز الحاجة إلى تبني تقنيات الزراعة الذكية مناخيًا التي توازن بين الإنتاجية وترشيد استهلاك المياه. كذلك يسهم تنظيم مواعيد الري وفق الاحتياجات الفعلية للمحصول في تقليل الهدر وتحسين كفاءة الاستخدام. وتدعم هذه الإجراءات تحقيق استدامة الإنتاج الزراعي في ظل التحديات المائية المتزايدة في المنطقة. كما أن تعزيز استخدام التقنيات الحديثة في مراقبة الرطوبة والتنبؤ المناخي يسهم في تحسين إدارة الموارد المائية. وتبرز أهمية رفع كفاءة التخطيط الزراعي بما ينسجم مع التغيرات المناخية لضمان استقرار الإنتاج. كذلك يساعد تنويع مصادر المياه في تقليل الاعتماد على مورد واحد وزيادة مرونة النظام الزراعي. وتدعم هذه الإجراءات مجتمعة تحقيق توازن مستدام بين متطلبات الإنتاج الزراعي والموارد المائية المتاحة.

جدول (٩) المعدلات الشهرية للأمطار (ملم) لموسم زراعة الرز في منطقة البحث لمحطة النجف والديوانية للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)

المحطة المناخية	كانون الثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول
النجف	12.8	14.7	11.0	11.8	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	15.5	12.4
الديوانية	19.9	12.3	12.6	13.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.6	2.9	18.1	13.9

المصدر: بالاعتماد على جمهورية العراق، وزارة النقل، الهيأة العامة للأنواء الجوية ، وحدة الرصد الزلزالي، قسم المناخ، بيانات غير منشورة، ٢٠٢٣ .



شكل (٨) المعدلات الشهرية للأمطار (ملم) لموسم زراعة الرز في منطقة البحث لمحطة النجف للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)

المصدر: بالاعتماد على بيانات جدول (٩).

٢-٢- المبحث الثاني

التوازن المائي المناخي لمحصول الرز خلال موسم النمو في منطقة البحث

تعد الزراعة واحدة من القطاعات الحيوية التي تعتمد بشكل كبير على الموارد المائية، حيث تشكل المياه عاملًا حاسمًا في نجاح الإنتاج الزراعي، لا سيما بالنسبة للمحاصيل ذات الاحتياجات المائية العالية مثل الرز. يُعد الرز أحد المحاصيل الغذائية الاستراتيجية التي تسهم في تحقيق الأمن الغذائي في العديد من دول العالم، بما في ذلك العراق. ومع ذلك، فإن زراعته تواجه تحديات كبيرة نتيجة تغيرات المناخ وندرة المياه، مما يستدعي الحاجة إلى دراسات دقيقة تُعنى بإدارة الموارد المائية بكفاءة. وتُعدّ الموازنة المائية المناخية إطاراً تحليأتياً لقياس الفجوة بين «المورد المائي المتاح» و«الاحتياجات المائية الفعلية» للمحاصيل، اعتماداً على مكوّنات الدورة المائية ومحددات المناخ الزراعي (الاشعاع الشمسي، درجة الحرارة، الرطوبة، والرياح).

تمثل الموازنة المائية المناخية أداة أساسية لفهم العلاقة بين الموارد المائية المتاحة واحتياجات المحاصيل الزراعية. وتتمثل أهميتها في تحديد الكميات اللازمة من المياه لضمان نمو المحاصيل بالشكل الأمثل، مع مراعاة العوامل المناخية مثل درجات الحرارة، الرطوبة، والإشعاع الشمسي. هذه الموازنة توفر قاعدة علمية تُسهم في تحسين إدارة الموارد المائية، وتقليل الفاقد، وزيادة كفاءة استعمال المياه في الزراعة. وفيما يخص محصول الرز، فإن احتياجاته المائية تتسم بالتعقيد، حيث يتطلب إمدادات كبيرة من المياه، خاصة خلال مراحل النمو الحرجة. إضافةً إلى ذلك، تؤثر التغيرات المناخية على توفر الموارد المائية، من خلال التغير في كميات الأمطار، وتوزيعها الزماني والمكاني، وارتفاع درجات الحرارة، التي تزيد من معدلات التبخر - النتح. وبالتالي، فإن دراسة الموازنة المائية المناخية لمحصول الرز تُعد خطوة محورية لضمان استدامة زراعته، خاصة في المناطق التي تواجه محدودية في الموارد المائية، مثل العراق. هذا المبحث يركز على استعراض المكونات الأساسية للموازنة المائية المناخية، والعوامل المناخية المؤثرة في احتياجات محصول الرز المائية، وآليات حساب الموازنة المائية خلال مدة نمو المحصول. كما يتناول المبحث أهمية هذه الدراسة في تحسين كفاءة إدارة المياه، وتعزيز الإنتاجية الزراعية، وضمان استدامة الزراعة في ظل التحديات المناخية الراهنة والمستقبلية.

تزداد أهمية هذا الإطار في المحاصيل كثيفة الطلب على الماء مثل الرز المزروع في وسط وجنوب العراق، حيث يؤدي تزايد معدلات التبخر–النتح وقلّة الأمطار في موسم النمو إلى ضغوطٍ مائيةٍ مباشرة على الغلة وكفاءة استعمال الماء(WUE) . في هذا السياق، تتيح الموازنة المائية المناخية تقدير الاحتياجات المائية (Crop Water Requirement) واحتياجات الري

الصافي استناداً إلى معادلة بنمان–مونتيث لتقدير التبخر–النتح المرجعيETo و ثم تحويله إلى التبخر–النتح الفعلي للمحصول ETc عبر معاملات محصولية زمنيةKc [١]. بينما يُعد نموذج AquaCropإطارًا فيزيولوجيًا يُستخدم لمحاكاة استجابة محصول الرز للإنتاجية تحت ظروف نقص المياه وسيناريوهات الشح المائي.أما من حيث المتطلبات المائية لمحصول الرز، فيُعد من المحاصيل ذات الاحتياجات المائية العالية، إذ يحتاج إلى كميات سنوية تتراوح بين ١٠٠٠–٢٠٠٠ ملم من المياه، سواء من الأمطار أو من مياه الري، بما يعادل مقننًا مائيًا يقارب ٥٠٠٠–٦٠٠٠ م^3/دونم، وذلك تبعًا لاختلاف الصنف المزروع وطبيعة التربة ومعدلات التبخر. وفي حالة الأصناف التي تُزرع تحت ظروف الغمر، فإن الحقول تتطلب بقاء طبقة مائية مستمرة بارتفاع يقارب ١٠–١٥ سم فوق سطح التربة ولمدة لا تقل عن ٧٥ يومًا، الأمر الذي يجعل الاعتماد على مياه الري ضرورة أساسية في مناطق مثل النجف والقادسية، حيث تنعدم الأمطار تقريبًا خلال أشهر الصيف. [٢]. وقد أظهرت النماذج المناخية الزراعية الإقليمية (RCMs) المعتمدة في تحليل بيانات FAO CLIMWAT و NASA POWERأن العجز المائي (Water Deficit)في شهري حزيران وتموز يصل إلى نحو ٢١٠–٢٤٠ ملم في النجف و١٩٠–٢٢٠ ملم في القادسية، ما يفسر الاعتماد الكامل على الري السطحي من نهر الفرات وفروعه لتغطية الاحتياجات المائية لمحصول الرز. وتُعدّ هذه القيم من أعلى مستويات العجز المائي المسجلة في العراق خلال موسم زراعة الرز. ويعكس هذا العجز المائي ارتفاع معدلات التبخر–النتح خلال أشهر الصيف نتيجة لدرجات الحرارة المرتفعة وانخفاض الرطوبة النسبية. كما يؤدي استمرار هذا العجز إلى زيادة الضغط على الموارد المائية السطحية وارتفاع كميات المياه المطلوبة للري. وتؤكد هذه المعطيات أهمية اعتماد استراتيجيات إدارة مائية فعّالة لضمان استدامة إنتاج محصول الرز في المنطقة. كما يفرض هذا الواقع ضرورة تحسين كفاءة استخدام المياه وتقليل الفاقد في نظم الري التقليدية. وتبرز أهمية إدخال تقنيات حديثة تساهم في تنظيم الري وفق الاحتياجات الفعلية للمحصول. كما يعزز ذلك من القدرة على التكيف مع التغيرات المناخية وتقليل آثار العجز المائي مستقبلاً [٣].

(١)Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements (FAO-56). FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, Italy, (1998). pp. 3–9, 45–56.

(٢) Hillel, D. Soil and Water: Physical Principles and Processes. Academic Press, London, (2008). pp. 121–134

(٣) سلام هاتف أحمد الجبوري، أساسيات في علم المناخ الزراعي، ط١، دار الراية للنشر والتوزيع، عمّان، ٢٠١٥،ص ١١٦ .

٢-٢-١- حساب وتقدير الاستهلاك المائي لمحصول الرز الاحتياجات المائية لمحصول الرز:-

يُعرَّف الاستهلاك المائي بأنه مجموع الفاقد من الماء الذي يخسره النبات نتيجة عمليتي التبخر والنتح، إذ يشمل كميات الماء المتبخرة من أوراق النبات أثناء نموه، والمحتجزة داخل أنسجته، إضافة إلى الرطوبة المتبخرة من التربة ومن أسطح النباتات ومياه الحجز. ونظرًا لأن كمية الماء المستهلكة في بناء أنسجة النبات تُعد ضئيلة جدًا ولا تتجاوز (١٪) من إجمالي الفاقد، يُستخدم مصطلح **التبخر–النتح** في كثير من الأحيان للدلالة على الاستهلاك المائي.

سيتم حساب وتقدير الاستهلاك المائي [*] لمحصول الرز موعد زراعته . اذ تم استخراج قيمة التبخر النتح لمحصول الرز باعتماد العامل المناخي الذي تأثيره يمثل ما نسبته (٩٩%) من هذا الاستهلاك. معتمدين على الطرائق التجريبية في تقديره متمثلة بمعادلة نجيب خروفه المشتقة من معادلة بليني كريدل والمعدلة وفق الظروف المناخية السائدة في العراق. وكذلك تم استخراج قيمة التبخر النتح لمحصول الرز باعتماد العامل النباتي الذي يمثله المعامل النباتي أي معامل المحصول (KC) لمحصول الرز والذي يسهم ما نسبته (١%) من الاستهلاك المائي لمحصول الرز.

يقصد بالاحتياجات المائية للمحاصيل بأنها كمية المياه الواجب توفرها للنبات حتى تنمو بصورة طبيعية فضلاً عن احتياجات الغسيل لأملاح التربة وما يتم فقده من مياه خلال عملية الري ، يشمل مختلف مصادر المياه كالأمطار ومياه الري التي تدخل قطاع التربة وقطرات المطر التي تتجمع على سطح النباتات خلال فترات محددة من الموسم الزراعي[١]. وبصورة عامة فإن الاحتياج المائي يمثل المقدار المُعطى من الماء للمحصول خلال مدة زمنية معينة موزع على عدد الريات حسب ما تقتضيه الحاجة [٢].يختلف الاستهلاك المائي للمحاصيل اختلافًا جوهريًا عن احتياجاتها المائية، إذ يُقصد بالاحتياجات المائية للمحاصيل كمية المياه اللازمة لتمكين المحصول من النمو بصورة طبيعية تحت الظروف الحقلية خلال مدة زمنية محددة

---

* - في وزارة الزراعة العراقية، يتم التركيز على التبخر-نتح المرجعي (**ETO**) لتحديد احتياجات الري في ظل محدودية المياه. أما التبخر-نتح الكامن (**ETO**) فيستخدم لدراسة تأثير التغيرات المناخية والتخطيط بعيد المدى لإدارة الموارد المائية.

(١) وائل عادل الشريف، الأسس العلمية في تقدير الاحتياجات المائية وجدولة الري للمحاصيل الزراعية، ط ١، المركز الوطني للبحث والإرشاد الزراعي، دائرة المكتبة الوطنية، المملكة الأردنية الهاشمية، ٢٠٠٩، ص ٢١.

(٢) حميد نشأت اسماعيل ، لمحات ميدانية من الزراعة الاروائية في العراق، الجزء الأول ، ط١، مطبعة الهيئة العامة للمساحة ، بغداد ، ١٩٩٠ ، ص ٨٥.

(موسم النمو)، وتشمل ما يأتي[١] :-

١- مياه الري اللازمة لتعويض الاستهلاك المائي (Consumptive Use)، أو ما يُعرف بعملية التبخر–النتح (Evapotranspiration)التي تقوم بها النباتات.

٢- الفواقد المائية أثناء الري (Application Losses)، وهي فواقد يصعب تجنبها، مثل الفقد بالتسرب إلى أعماق بعيدة عن منطقة الجذور، إضافة إلى الترشيح من قنوات الري.

٣- فقد المياه بالتبخر خلال عمليات الري، سواء من سطح الحقول أو من قنوات الري والمصارف، وفي حالة الري بالرش يتبخر جزء من المياه الخارجة من المرشّات قبل وصولها إلى سطح التربة.

٢-٢-٢- معامل المحصول(Crop Coefficient – Kc)

يُعدّ معامل المحصول (Kc) أحد أهم العناصر الهيدرولوجية في تقدير الاحتياجات المائية للمحاصيل الزراعية، ان معامل محصول الرز، المعروف أيضاً باسم معامل التحويل أو معامل الإنتاج، هو مقياس يستخدم لتحديد كفاءة إنتاج الرز. ويُستخدم معامل المحصول(Kc) لتحويل التبخر–النتح المرجعي (ETo) إلى التبخر–النتح الفعلي (ETc) عبر العلاقة الرياضية الآتية:

$$ETc=Kc\times ETo$$

ويُعرَّف Kcبأنه معامل تجريبي يعكس العلاقة بين فقدان الماء من خلال عمليتي التبخر والنتح وبين الظروف المناخية والفيزيولوجية للنبات[٢]. وتختلف قيمه باختلاف نوع المحصول، ومرحلة نموه، والظروف المناخية السائدة مثل درجة الحرارة والرطوبة وسرعة الرياح وخصائص التربة [٣]. وبالنسبة لمحصول **الرز** ، الذي يُزرع في بيئات مغمورة بالماء، فإن قيم Kcتكون مرتفعة مقارنةً بالمحاصيل الحقلية الأخرى بسبب الفاقد الإضافي من التبخر الناتج عن الغمر المائي السطحي ، وقد قُدّرت القيم النموذجية وفق دليل FAO-٥٦كما يأتي: [٤]

---

(١)عبد المنعم محمد عامر ، حركة الماء في الأراضي ومقننات الري، الجامعة المنوفية، ط١، الدار العربية للنشر والتوزيع، القاهرة ٢٠٠١، ص ٣٦٥ – ٣٧٠.

(٢) Allen, R.G. Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements (FAO-56). FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, Rome: FAO, (1998). pp. 98–103.

(٣)Hillel, D. Soil and Water: Physical Principles and Processes. Academic Press, London, (2008). pp. 121–134.

(٤)Doorenbos, J., & Kassam, A.H. Yield Response to Water (FAO-33). FAO, Rome, (1979). pp. 46–51.

- المرحلة الابتدائية (الإنبات)

Kci=١.٠٥Kc_i = ١.٠٥

- مرحلة التطور الخضري :

Kcdev=١.١٠–١.١٥

- مرحلة منتصف الموسم (التزهير)

Kcmid=١.١٥–١.٢٥

- مرحلة النضج :

Kcend=٠.٩٠–١.٠٥

هذه القيم تُعدّ قياسية لمناخات معتدلة الرطوبة، ويُوصى بتعديلها لتتلاءم مع المناخ الجاف وشبه الجاف في العراق وفق معادلة التصحيح المقترحة من Allen وآخرين (١٩٩٨) التي تراعي سرعة الرياح (u_2) والرطوبة النسبية الدنيا وارتفاع المجموع الخضري [١] :

تُظهر الدراسات التطبيقية في المناطق الجافة أن معامل المحصول المصحّح (Kc- adj) لمحصول الرز في وسط وجنوب العراق يبلغ **١.٢٠–١.١٠**في منتصف الموسم. [٢]

ويُعدّ هذا الارتفاع دليلاً على شدة التبخر–النتح نتيجة ارتفاع درجات الحرارة وانخفاض الرطوبة النسبية وزيادة الإشعاع الشمسي خلال موسم الزراعة (حزيران–تشرين الثاني).

كما تبيّن من الدراسات الفيزيولوجية أن التغير في قيمة Kcيعكس تطور السطح الخضري للنبات ومعدل التبادل الغازي، إذ تصل القيم إلى ذروتها في مدة الإزهار بسبب زيادة الكثافة الورقية والنشاط الأيضي، ثم تبدأ بالانخفاض تدريجيًا مع تراجع العمليات الحيوية واقتراب الحصاد [٣] . أما في البيئات العراقية، فقد أظهرت الدراسات المحلية أن معاملات المحصول تتأثر بشكل واضح بنوع التربة ونظام الري المستخدم. ففي الأراضي الطينية الثقيلة (Clay Soils)ذات الخزن الرطوبي العالي، تكون القيم أقل نسبيًا مقارنة بالأراضي الرملية أو المتوسطة القوام. كما لوحظ أن استعمال نظام) SRIنظام تكثيف زراعة الرز (الذي يعتمد على

(١)Pereira, L.S., Allen, R.G., Smith, M., & Raes, D. Crop Evapotranspiration and Crop Coefficients: Update of Concepts, Guidelines and Applications. Agricultural Water Management, Vol. 147, Elsevier, Netherlands, (2015). pp. 103–113.

(٢)Bouman, B.A.M., et al. Water Management in Irrigated Rice: Coping with Water Scarcity. International Rice Research Institute (IRRI), Philippines, (2007). pp. 75–88.

(٣)Hatfield, J.L., & Prueger, J.H. Agroclimatology: Linking Agriculture to Climate. Academic Press, USA, (2015). pp. 95–112.

الري المتقطع بدلاً من الغمر الدائم، يؤدي إلى انخفاض قيمة Kcبنسبة تتراوح بين ١٠–١٥% نتيجة تقليل سطح الماء الحر وتقليص الفاقد بالتبخر[١] . يتضح إذن أن معامل المحصول Kc ليس ثابتًا، بل يمثل متغيرًا ديناميًا يرتبط بالعوامل المناخية والنباتية والإدارية، مما يستلزم تحديد قيمه محليًا بالاعتماد على البيانات المناخية اليومية والرصد الحقلي لتجنب الأخطاء في تقدير الاحتياجات المائية للمحصول، وضمان كفاءة استعمال المياه في ظل شح الموارد وتغير المناخ في العراق [٢] .

يُحسب هذا المعامل من خلال قسمة كمية الرز الناتج على كمية البذور المستعملة في الزراعة. وهي قيمة تقدر بالحقل لكل محصول مرتبطة بعوامل طبيعية منها ظروف المناخ ونوع التربة تزداد مع مراحل تطور النبات ونموه ، اذ قدرت منظمة الأغذية و الزراعة FAO قيمة (Kc) لمحصول الرز بشكل عام، وتتراوح قيمة معامل محصول الرز بين (١.٠٥ - ٣.٠) وهذا يعني أنه يمكن الحصول على (١.٠٥ - ٣.٠) أضعاف كمية البذور المستعملة. وتختلف هذه النسبة بناءً على عوامل مثل نوع الرز ، ظروف الطقس، التربة، وأساليب الزراعة المستعملة [٣]. و هو معامل تجريبي يأخذ قيماً مختلفة تبعا لنوع المحصول وهو عبارة عن النسبة بين معدل التبخر-النتح الفعلي للمحصول(ETC) والتبخر-النتح القياسي او المرجعي الممكن (ETO). ويختلف معامل المحصول تبعا لمرحلة النمو الخضري للنبات وخصائص عناصر المناخ ، حيث يزداد (Kc) مع التقدم في مرحلة النمو حتى يصل الى أعلى قيمة عند مرحلة التزهير و الإثمار ثم يبدأ بالإنخفاض التدريجي حتى مرحلة نضج الثمار [٤].

(١)Uphoff, N., Kassam, A., & Steduto, P. SRI Contributions to Agricultural Sustainability. Paddy and Water Environment Journal, (2011). pp. 9(1): 1–14.

(٢) عبد المنعم محمد عامر (٢٠٠١) .حركة الماء في الأراضي ومقننات الري، الجامعة المنوفية، الدار العربية للنشر والتوزيع، القاهرة، ص ٣٦٥–٣٧٠.

(٣)FAO Irrigation and Drainage Paper , Crop Water Requirements , revised 24 , Roma, 1977, pp 48

(٤)Lawson.T, Consumptive water use for cowpea in soil physical properties and crop production , John Wiley and Sons ,New York,1979 , p p 23.

٢-٢-٣- الاستهلاك المائي(Evapotranspiration – ETc)

يطلق عليه أيضا مصطلح التبخر- النتح الحقيقي للمحصول Evapotranspiration ويرمز له بالرمز(ETc) ويَعبر هذا المصطلح عن كمية المياه التي تستهلكها النباتات في عملية النتح أو بناء الأنسجة والتبخر من سطح التربة[١]. إذ تتوافق إجراءات تقدير الإحتياجات المائية للمحصول مع تلك الخاصة بتبخر/ نتح المحصول [٢]. لأن كلا المصطلحين يشيران الى نفس الكمية من الماء [٣]. ويتم ذلك كالاتي :-

٢-٢-٤- حساب وتقدير الاستهلاك المائي لمحصول الرز باعتماد العامل المناخي

سيتم حساب وتقدير التبخر – النتح الكامن باعتماد معادلة نجيب خروفه وهي أحد أنواع معادلات الطرائق غير المباشرة، والتي تعتمد على البيانات المناخية لإيجاد كمية التبخر - النتح الكامن، وقد تمكن نجيب خروفة في عام (١٩٨٥) من تطوير معادلة خاصة تتلاءم مع الظروف المناخية الصحراوية الحارة والجافة في العراق، وهي معادلة مشتقة من معادلة بليني–كريدل، إلا أنها صيغت بما ينسجم مع الخصائص المناخية المحلية للعراق. وقد تضمنت معادلة خروفة معاملًا محليًا تعتمد قيمته على مجموعة من المتغيرات المناخية، من بينها نسبة سطوع الشمس، ومدة السطوع الشمسي الفعلية والقصوى المحتملة لكل موقع، وسرعة الرياح، والرطوبة النسبية، والارتفاع عن مستوى سطح البحر، فضلًا عن معدل درجة الحرارة الشهرية وطول المدة الضوئية. ويُفسر ذلك التوافق الجيد بين قيم الاستهلاك المائي المحسوبة باستعمال هذه المعادلة والقياسات الحقلية الفعلية للاستهلاك المائي [٤]،وقد جرى تعديل هذه المعادلة بصيغة أخرى بهدف الحصول على نتائج أكثر دقة وبما يجعلها قريبة في نتائجها من بعض المعادلات العالمية، مع احتفاظها بملاءمتها للظروف المناخية السائدة في العراق، وتكون على النحو الآتي [٥].

---

(١) وائل عادل الشريف ، مصدر سابق ، ص ٢٢.

(٢) ميثم عبد الكاظم حميدي الشباني، مؤشرات الاتجاه العام لقيم التبخر في العراق وأثرها على الاحتياجات المائية لبعض المحاصيل الزراعية، أطروحة دكتوراه، كلية التربية، جامعة واسط، ٢٠١٩، ص ١٥٦.

(٣)Todorovic. M, Crop water requirements. In :Water Encyclopedia: Surface and Agricultural Water, John Wiley and Sons Publisher, AW-59 , USA , 2005, p p 1.

(٤)عصام خضير حمزة الحديثي، الاستهلاك المائي للباقلاء تحت ظروف تغطية التربة، مجلة العلوم الزراعية العراقية، مجلد٣٢، العدد٦،٢٠٠١، ص٥٧.

(٥)**Kharrufa, N. S. (1985). Simplified equation for evaporation in arid regions. Beiträge zur Hydrologie, p. 43.**

$(ETO) = C(\ /3P)^{*1.31}$

حيث تشير:

(ETO)إلى قيمة التبخر–النتح الكامن (ملم/سم) المحسوبة وفق معادلة خروفة.

Pتمثل النسبة المئوية لساعات السطوع الشمسي الشهرية قياسًا إلى إجمالي ساعات السطوع خلال السنة.

Cتعبر عن المعدل الشهري لدرجة الحرارة (°م).

ومن خلال تطبيق هذه المعادلة على المعطيات المناخية لمحطات منطقة البحث في محافظتي النجف والقادسية للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣) أظهرت النتائج في الجدول (١٠) والشكل (٩) والتي بينت نتائجها ان المجموع السنوي لكمية التبخر/ النتح الكامن المقدرة وفق معادلة نجيب خروفة في محافظة النجف للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣) والبالغة(٢٥٥٣.٨ ملم/سم)، وان المجموع السنوي لكمية التبخر/ النتح الكامن (ملم/سم) المقدرة وفق معادلة نجيب خروفة في محافظة القادسية للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣) والبالغة (٢٥٦٤.٠ ملم/سم). وان الفارق السنوي الطفيف (٠.٤%) يبرهن على التقارب الإقليمي في خصائص التبخر–النتح بين المحافظتين.

تشير القيم إلى تباين موسمي واضح، إذ ترتفع قيم ETo إلى ذروتها في شهر تموز (٤٣٢.٧ ملم/شهر) في النجف بسبب ارتفاع الإشعاع الشمسي وطول النهار وتراجع الرطوبة النسبية. وأدنى القيم في كانون الثاني (٤٩.٦ - ٤٦.٣ ملم/شهر) ويرجع ذلك إلى انخفاض الحرارة وصِغَر زاوية سقوط الأشعة وزيادة التغييم. وإنّ الفروق المئوية بين المحطتين (Δ%) تراوحت بين ٣.٦٪– إلى +٧.١%، ما يدل على تجانس مناخي عام مع اختلافات طفيفة مرتبطة بالارتفاع والغطاء الأرضي.

تتراوح المعدلات الشهرية لمنطقة البحث مابين اعلى في تموز (٤٣٢.٧) ملم وادني معدل لها في كانون الثاني (٤٦.٣ ملم/سم) في محطة النجف. وتتراوح المعدلات الشهرية لمنطقة البحث مابين اعلى في تموز (٤١٧.٠) ملم وادني معدل لها في كانون الثاني (٤٩.٦ ملم/سم) في محطة الديوانية . مما يؤكد كفاءة معادلة خروفة في البيئات الجافة العراقية.

اما خلال موسم نمو محصول الرز فان المجموع العام للتبخر/النتح الكامن في محافظة النجف هو (١٨١٦.٨ ملم/سم)، المجموع العام للتبخر/النتح الكامن في محافظة القادسية هو (١٨١٢.٣ ملم/سم)، وان اعلى معدل شهري للتبخر/النتح الكامن في محافظة النجف هو في شهر تموز (٤٣٢.٧ ملم/سم) خلال فصل النمو لمحصول الرز، وان ادنى معدل شهري للتبخر/النتح الكامن

في محافظة النجف هو في شهر تشرين الثاني (٩٧.١ ملم/سم) خلال فصل النمو لمحصول الرز. وبشكل عام، تشير الحصيلة السنوية والمتوسطات الشهرية لقيم التبخر–النتح الكامن (ETO) المحسوبة اعتمادًا على معادلة خروفة إلى ارتفاعها في محافظتي النجف والقادسية للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)، إذ إنها تراوحت بين (٤٣٢.٧ – ٩٧.١ ملم/سم) ويرجع السبب في ذلك إلى الموقع القاري لمنطقة البحث و قساوة ظروفها المناخية.

تصل معدلات التبخر-النتح الكامن (ETO) إلى أعلى مستوياتها خلال فصل الصيف، خاصةً في شهر تموز، ويرجع هذا الارتفاع إلى زيادة الإشعاع الشمسي نتيجة اتساع زاوية سقوط الأشعة وامتداد مدة النهار بسبب تعامد الشمس على مدار السرطان ضمن حركتها الظاهرية، بالإضافة إلى صفاء السماء. تؤدي هذه العوامل إلى فتح ثغور النباتات بفعل الإضاءة الشديدة وطول النهار، مما يزيد من نتح الثغور. كما أن تسخين سطح الأرض بالإشعاع الأرضي مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الهواء الملامس لسطح الأرض، الأمر الذي يسهم في زيادة معدلات التبخر والنتح، نتيجة تسارع حركة جزيئات الماء الخارجة من ثغور النباتات، فضلًا عن ازدياد التبخر من السطوح المائية والتربة. وعند تسخّن الهواء يتمدد وتنخفض كثافته، مما يقلل من ضغطه. يؤدي ذلك إلى تيارات حمل حراري (صاعدة وهابطة) تنقل الحرارة، بينما تحرك الرياح الأفقية الهواء بين المناطق ذات الضغط المختلف. تساهم هذه التيارات والرياح في إزاحة الهواء المحيط بالنبات، مما يحول دون وصوله إلى التشبع ويزيد من معدل التبخر-النتح. تزداد هذه العملية مع الرياح القوية المصاحبة للحرارة العالية، حيث تكون العلاقة بينهما وبين التبخر-النتح علاقة طردية.

يتعرض العراق خلال الصيف إلى الكتل الهوائية المدارية القارية (CT)، التي تتسم بالحرارة والجفاف وقلة الرطوبة، مع غياب التساقط. كما تؤدي العواصف الترابية إلى إثارة الغبار وامتصاص بخار الماء من الهواء، مما يؤثر سلباً على النباتات. مجمل هذه العوامل يفسر ارتفاع معدلات التبخر-النتح الكامن (ETO) في شهر تموز مقارنةً بالأشهر الأخرى في منطقة البحث.

أما خلال فصل الشتاء، فتسجل قيم التبخر–النتح الكامن (ETO) أدنى مستوياتها، ولا سيما في شهر كانون الثاني، إذ تتراوح المعدلات المسجلة في محطتي النجف والقادسية بين (٤٦.٣– ٤٩.٦ ملم/سم). ويُعزى ذلك إلى انخفاض كميات الإشعاع الشمسي نتيجة صِغر زاوية سقوط الأشعة وقِصر مدة النهار المرتبط بحركة الشمس الظاهرية وتعامدها على مدار الجدي، فضلًا عن ارتفاع نسبة التغييم في الشتاء يقلل من كمية الإشعاع الأرضي، مما يخفض درجة حرارة سطح الأرض والهواء الملامس له، وبالتالي يقلل من معدلات التبخر-النتح. كما تتعرض منطقة

البحث في الشتاء إلى منظومة الضغط المرتفع والكتل الهوائية القطبية الباردة (CP)، مما يخفض درجات الحرارة ويبطئ حركة جزيئات الماء الخارجة من النباتات. بالإضافة إلى ذلك، تزداد الرطوبة النسبية وتساقط الأمطار خلال هذا الفصل، حيث تبلغ ذروتها في شهر كانون الثاني. وعلى الرغم من ذلك، تبقى قيم التبخر–النتح الكامن (ETO) في منطقة البحث عند أدنى مستوياتها خلال فصل الشتاء، ولا سيما في شهر كانون الثاني، نتيجة العوامل المناخية المشار إليها.

جدول (١٠) المعدلات الشهرية والمجموع السنوي لكمية التبخر/ النتح الكامن (ETO) (ملم/شهر، ملم/سنة) المقدرة وفق معادلة نجيب خروفة في محطتي النجف والقادسية للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣) والفروق المئوية لهما [١]

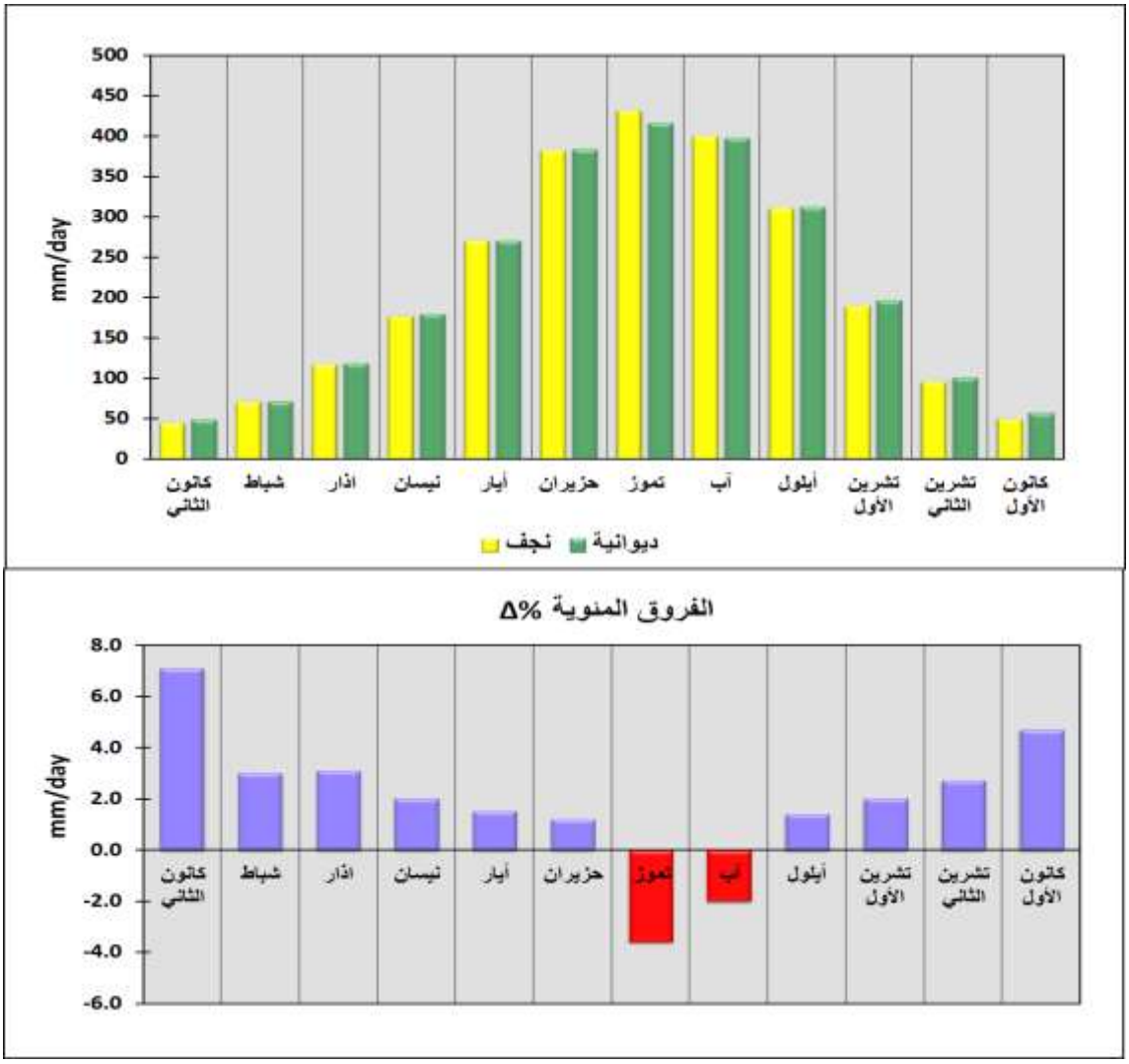
المحطة المناخية	كانون الثاني	شباط	اذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول	المجموع السنوي
نجف	46.3	72.3	118.1	178.0	271.5	383.6	432.7	400.9	312.2	190.3	97.1	50.9	2553.8
ديوانية	49.6	72.6	119.1	180.4	271.2	384.3	417.0	398.5	312.9	197.5	102.1	58.7	2564.0
الفروق المئوية *Δ%	7.1	3.0	3.1	2.0	1.5	1.2	−3.6	−2.0	1.4	2.0	2.7	4.7	0.4

المصدر بالاعتماد على بيانات جدول (٣) (٤).

(١) تم التحقق من سلامة النتائج عبر مقارنتها بمعادلات Penman–Monteith ٥٦- AO و Hargreaves – Samani. إذ بلغت قيمة ٠.٤٢ = RMSEملم/يوم و ٠.٩٣ = NSE، وتطبيق معادلة الفروق المئوية Δ% = (القيمة في القادسية – القيمة في النجف) ÷ القيمة في النجف) × ١٠٠. للمزيد من المعلومات راجع المصدرين :-

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56(. FAO, Rome, pp. 20–56.

Kharrufa, N. S. A Modified Penman-based Model for Estimating Potential Evapotranspiration under Arid Conditions. University of Baghdad Press, Baghdad, (1985). pp. 41–55



شكل (٩) المعدلات الشهرية والمجموع السنوي لكمية التبخر/ النتح الكامن (ETO) (ملم/شهر، ملم/سنة) المقدرة وفق معادلة نجيب خروفة في محطتي النجف والقادسية للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)

المصدر بالاعتماد على بيانات جدول (١٠).

يتم حساب كمية الاستهلاك المائي لمحصولي الرز وباعتماد معادلة نجيب خروفة من خلال المعادلة المدرجة ادناه وذلك من خلال ضرب كمية التبخر- النتح الكامن (ETO) في معامل المحصول (Kc) وتكون المعادلة بالصيغة الاتية[١] :-

$$Kc \times ETO = T(c\ E)$$

حيث إن:

(ETc) =التبخر – النتح المحصول الفعلي (ملم/سم). او ما يسمى بـ الاستهلاك المائي

(١)عصام خضير حمزة الحديثي، مصدر سابق، ص ٥٦.

ETO = التبخر - النتح الكامن (ملم/سم).

(Kc)=معامل المحصول (م ٢/شهر).

٢-٢-٥- العوامل المؤثرة في الاستهلاك المائي

يتأثر ETc بعدة عوامل مناخية وفسيولوجية أهمها:

١- درجة الحرارة الجوية :إذ ترتفع معدلات النتح بارتفاع درجات الحرارة نتيجة زيادة ضغط البخار المشبع.(VPD)

٢- الرطوبة النسبية :انخفاضها يؤدي إلى زيادة التبخر من التربة والنبات.

٣- الرياح :تسهم في إزالة الطبقة المشبعة من بخار الماء المحيطة بالنبات، مما يرفع من.ETc

٤- الإشعاع الشمسي :كلما زادت كمية الإشعاع ازدادت الطاقة المتاحة للتبخر.

٥- خصائص التربة ونوع المحصول :الترب الخفيفة ذات النفاذية العالية تفقد الماء أسرع من الطينية الثقيلة، والمحاصيل ذات المجموع الخضري الكثيف تستهلك ماءً أكثر.

تُظهر نتائج الدراسات التطبيقية في محافظتي النجف والقادسية للمدة (١٩٩٠–٢٠٢٠) أن متوسط الاستهلاك المائي السنوي لمحصول الرز بلغ نحو (١٥٠٠–١٨٠٠ ملم/موسم) في ظل أسلوب الري بالغمر التقليدي، في حين انخفض إلى حدود (١٢٠٠–١٣٥٠ ملم/موسم) عند تطبيق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) المعتمد على الري المتقطع. ويُعزى هذا الانخفاض إلى تقليص مدة الغمر وتقليل سطح الماء الحر، مما يؤدي إلى خفض معدلات التبخر بنسبة قد تصل إلى ٢٥%، الأمر الذي يسهم في ترشيد استخدام المياه وتحسين كفاءة الإنتاجية لكل وحدة مائية.

كما يعكس هذا التباين في الاستهلاك المائي أهمية التحول نحو نظم ري أكثر كفاءة في البيئات شبه الجافة. وتسهم تقنيات الري المتقطع في تقليل الفواقد المائية وتحسين توزيع المياه خلال مراحل النمو المختلفة. كما يساعد ذلك في تعزيز كفاءة استخدام الموارد المائية المحدودة في المنطقة. ويؤدي إلى تحقيق توازن أفضل بين الإنتاج الزراعي والحفاظ على الموارد الطبيعية. وتؤكد هذه النتائج أن اعتماد نظام (SRI) يمثل خيارًا استراتيجيًا لتحسين الاستدامة الزراعية في ظل التحديات المناخية.

٢-٢-٦- أهمية قياس الاستهلاك المائي

تحديد قيم ETcبدقة يُمثل ركيزة أساسية في تخطيط برامج الري وإدارة الموارد المائية، إذ يُتيح التنبؤ بالفجوة بين الطلب المائي الفعلي والإمداد المائي المتاح، ويُسهم في وضع خطط التكيف الزراعي مع تغير المناخ، خصوصًا في البيئات التي تتعرض لزيادة الجفاف وتذبذب الأمطار مثل وسط وجنوب العراق [١] . كما أن دمج بيانات الاستهلاك المائي مع النماذج المناخية مثل FAO CROPWATو AquaCropيُمكّن الباحثين من تحديد كفاءة نظم الري وتقدير أثر السيناريوهات المناخية المستقبلية (مثل SSP٢-٤.٥ و SSP٥-٨.٥)على إنتاجية المحاصيل المائية الحساسة [٢] .

يتضح من تطبيق المعادلة المشار إليها أعلاه، كما وردت نتائجها في الجدول (١١) والشكل (١٠) المعتمدين على معادلة نجيب خروف، أن أعلى كمية للاستهلاك المائي لمحصول الرز تُسجَّل في شهر تموز في كلتا المحافظتين خلال موسم النمو، إذ بلغت (٤٧٦.٠ ملم) في محافظة النجف و(٤٥٨.٧ ملم) في محافظة القادسية، وهو ما يعكس ذروة الطلب المائي المرتبطة بارتفاع درجات الحرارة وشدة التبخر–النتح. في المقابل، تنخفض كمية الاستهلاك المائي مع نهاية موسم النمو في شهر تشرين الثاني لتصل إلى (١٠٦.٨ ملم) في النجف و(١١٢.٣ ملم) في القادسية، نتيجة تراجع النشاط الفسيولوجي للنبات. أما أدنى القيم السنوية للاستهلاك المائي فتُسجَّل في شهر كانون الأول، إذ بلغت (٥٠.٩ ملم) في النجف و(٥٤.٦ ملم) في القادسية، بسبب انخفاض درجات الحرارة وقصر ساعات النهار وارتفاع الرطوبة النسبية.

كما يعكس هذا التدرج الزمني ارتباط الاستهلاك المائي بمراحل النمو المختلفة للمحصول. وتُظهر النتائج أهمية تكثيف الري خلال أشهر الصيف لتلبية الطلب المرتفع على المياه. كما يسهم فهم هذا النمط في تحسين كفاءة إدارة الموارد المائية وتقليل الهدر. ويبرز دور العوامل المناخية في تحديد التغيرات الشهرية في الاحتياجات المائية بدقة. وتؤكد هذه المعطيات ضرورة مواءمة البرامج الإروائية مع الخصائص المناخية لتحقيق أفضل إنتاجية ممكنة.

---

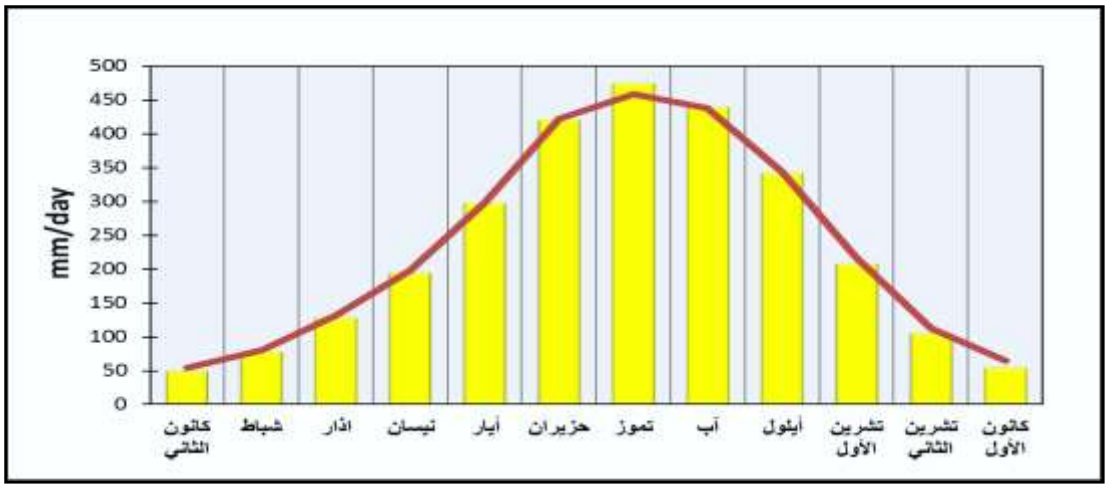
[١] طارق جواد كاظم (٢٠٢١) .تقييم كفاءة استعمال المياه في زراعة الرز في العراق باستعمال نظم المعلومات الجغرافية، مجلة جامعة الكوفة للعلوم الجغرافية، المجلد ١٣، العدد ٢، ص ٤٥–٦١.

[٢] Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D., & Fereres, E. AquaCrop – The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles. Agronomy Journal, 101(3): (2009). pp. 426–437.

جدول (١١) كمية الاستهلاك المائي لمحصولي الرز باعتماد معادلة نجيب خروفة (ملم/ يوم)

المحطة المناخية	كانون الثاني	شباط	اذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول	المجموع السنوي
نجف	50.9	79.5	130.0	195.8	298.6	422.0	476.0	441.0	343.4	209.3	106.8	56.0	2809.2
ديوانية	54.6	79.8	131.1	198.5	298.3	422.7	458.7	438.3	344.2	217.3	112.3	64.6	2820.4

المصدر بالاعتماد على بيانات جدول (٩).



كمية الاستهلاك المائي الشهري لمحصول الرز

الاتجاه العام للتغير في الاستهلاك المائي

شكل (١٠) كمية الاستهلاك المائي لمحصولي الرز باعتماد معادلة نجيب خروفة (ملم/ يوم)

المصدر بالاعتماد على بيانات جدول (١١).

٢-٢-٧- حساب وتقدير الاستهلاك المائي الفعلي لمحصول الرز باستعمال معادلة نجيب خروفة

يُعدّ الاستهلاك المائي الفعلي (Evapotranspiration Actual, ETc) من المؤشرات الأساسية لتحديد الاحتياجات المائية لمحصول الرز، إذ يُمثل مجموع المياه المفقودة عبر عمليتي التبخر من سطح التربة والنتح من الأوراق خلال مراحل النمو المختلفة للمحصول [١]. ولأجل حساب كمية الاستهلاك المائي لمحصول الرز في محافظتي النجف والقادسية ، تم اعتماد معادلة نجيب خروفة (١٩٨٥)، التي تُعد من أهم المعادلات المناخية المطوّرة خصيصًا لظروف العراق الجافة وشبه الجافة، وهي مشتقة من معادلة بليني–كريدل ومعدّلة لتلائم الخصائص المناخية المحلية [٢]. وجرى استعمال نتائج التبخر–النتح الكامن (ETo) المحسوبة وفق هذه المعادلة وربطها بمعامل المحصول (Kc) الذي يعبّر عن نسبة التبخر–النتح الفعلي إلى التبخر–النتح المرجعي حسب مراحل النمو الفسيولوجية للمحصول. وتُعطى معادلة حساب الاستهلاك المائي الفعلي بالصيغة الآتية:

$$ETc = ETo \times Kc \quad \text{.....} \quad [٣]$$

حيث إن:

- ETcET_cETc = التبخر–النتح الفعلي أو الاستهلاك المائي للمحصول (ملم/شهر).
- EToالتبخر–النتح الكامن (ملم/شهر).
- Kc معامل المحصول، الذي تتراوح قيمته لمحصول الرز بين (١.٠٥–١.٢٠) حسب مراحل النمو (الإنبات، النمو الخضري، التزهير، النضج)

ومن خلال تطبيق المعادلة أعلاه على بيانات التبخر–النتح الكامن (ETo) تم حساب قيم الاستهلاك المائي الفعلي (ETc) لمحصول الرز في المحافظتين في الجدول (١١) ،

---

(١)عصام خضير حمزة الحديثي، مصدر سابق، ص٥٦–٥٧ .

(٢)Kharrufa, N. S. A Modified Penman-based Model for Estimating Potential Evapotranspiration under Arid Conditions. University of Baghdad Press, Baghdad, (1985). pp. 41–55.

(٣)Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements *(FAO-56)*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome, (1998). pp. 20–56.

كما هو موضح في الجدول (١٢) والشكل (١١)، تُبيّن النتائج أن أعلى متوسط للاستهلاك المائي لمحصول الرز سُجل خلال شهر تموز، حيث بلغ نحو (٤٧٦.٠ ملم/شهر) في محافظة النجف و(٤٥٨.٧ ملم/شهر) في محافظة القادسية، وهو ما يعكس ذروة الطلب المائي خلال مرحلة التزهير والإثمار نتيجة ارتفاع درجات الحرارة وزيادة الإشعاع الشمسي وانخفاض الرطوبة النسبية. في المقابل، سُجلت أدنى قيم الاستهلاك المائي في شهر كانون الأول، إذ بلغت (٥٠.٩ ملم) في النجف و(٥٤.٦ ملم) في القادسية، نتيجة انخفاض درجات الحرارة وقصر ساعات النهار وارتفاع الرطوبة النسبية. كما لوحظ أن نهاية موسم النمو في شهر تشرين الثاني شهدت تراجعًا في الاستهلاك المائي إلى (١٠٦.٨ ملم) في النجف و(١١٢.٣ ملم) في القادسية، مما يدل على انخفاض النشاط الفسيولوجي للنبات وتناقص معدلات النتح تدريجيًا مع اقتراب مرحلة الحصاد.

ويُظهر التحليل أن الاستهلاك المائي الفعلي يتبع النمط الحراري للتغيرات الشهرية في التبخر–النتح الكامن، حيث يبدأ بالارتفاع تدريجيًا منذ شهر نيسان ليبلغ ذروته في تموز، ثم يتناقص تدريجيًا حتى نهاية الموسم الزراعي في تشرين الثاني. كما تعكس الفروق الطفيفة بين المحافظتين ($\leq$ ١.٥%) درجة عالية من التجانس المناخي ضمن منطقة الدراسة، مع ميل طفيف لصالح محافظة القادسية نتيجة ارتفاع الرطوبة النسبية وقربها من مصادر المياه السطحية.

كما يعكس هذا النمط أهمية التوقيت الدقيق للري بما يتلاءم مع مراحل النمو المختلفة للمحصول. وتُظهر هذه النتائج أن إدارة المياه يجب أن تكون أكثر كثافة خلال أشهر الصيف لتلبية الطلب المرتفع.

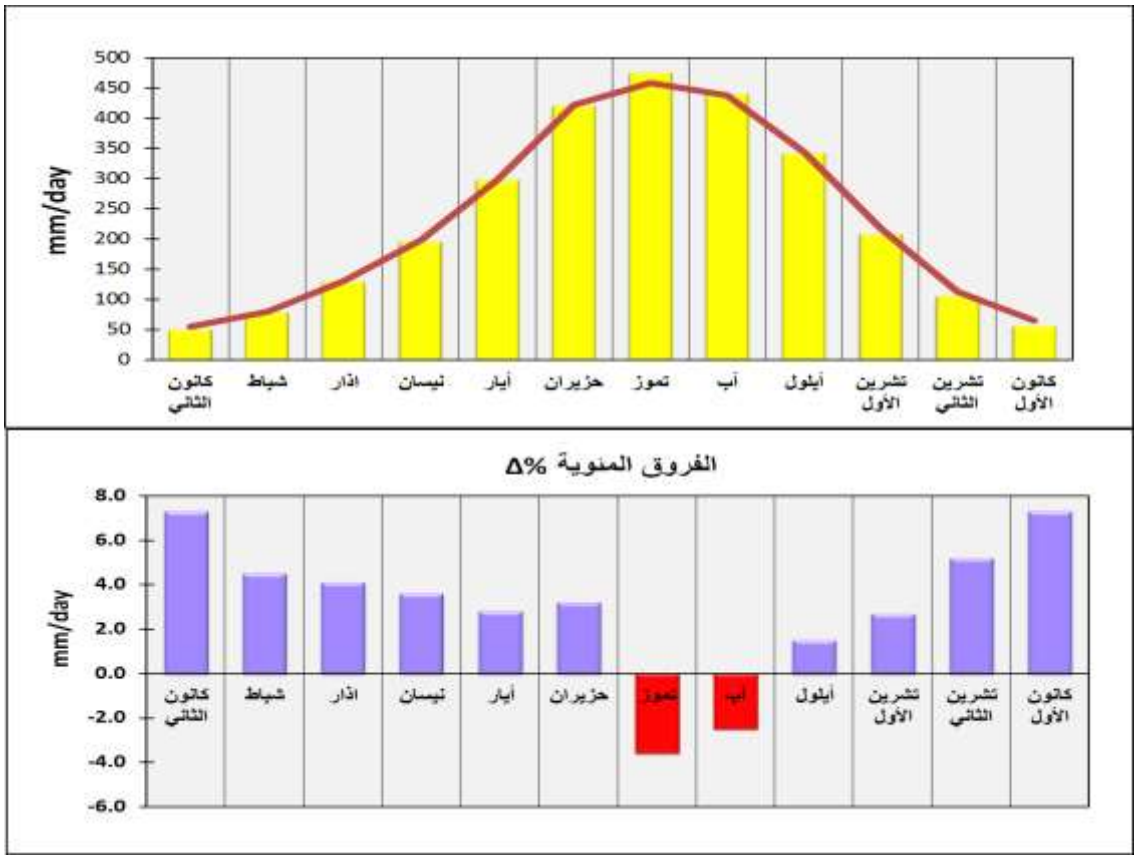
كما يسهم فهم هذا التوزيع الزمني في تحسين كفاءة استخدام المياه وتقليل الفاقد. ويبرز دور العوامل المناخية في تحديد الاحتياجات المائية بدقة على مستوى الشهر. كما يساعد ذلك في تخطيط البرامج الإروائية بما يتناسب مع التغيرات الموسمية في الطلب المائي.

وتعزز هذه المعطيات من إمكانية تطبيق نظام (SRI) بكفاءة أعلى في ظل الإدارة الدقيقة للمياه. وتؤكد هذه المؤشرات أن التوازن بين العوامل المناخية والمائية يمثل أساسًا لتحقيق إنتاجية مستقرة لمحصول الرز.

جدول (١٢): المعدلات الشهرية والمجموع السنوي للاستهلاك المائي الفعلي لمحصول الرز باعتماد معادلة نجيب خروفة (ملم/شهر) (ETc)

المحطة المناخية	كانون الثاني	شباط	اذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول	المجموع السنوي
نجف	50.9	79.5	130.0	195.8	298.6	422.0	476.0	441.0	343.4	209.3	106.8	56.0	2809.2
ديوانية	54.6	79.8	131.1	198.5	298.3	422.7	458.7	438.3	344.2	217.3	112.3	64.6	2820.4
الفروق المئوية %Δ	7.3	4.5	4.1	3.6	2.8	3.2	-3.6	-2.5	1.5	2.7	5.2	7.3	1.2

المصدر :حسابات بالاعتماد على بيانات الجدول (١١) ومعاملات المحصول وفق.(٥٦) FAO



المعدلات الشهرية الفعلية للاستهلاك المائي لمحصول الرز

الاتجاة العام للتغير الشهري في الاستهلاك المائي

الشكل (١١) المعدلات الشهرية والمجموع السنوي للاستهلاك المائي الفعلي (ETc) لمحصول الرز باعتماد معادلة نجيب خروفة (ملم/شهر)

المصدر بالاعتماد على بيانات جدول (١٢).

٢-٢-٨- حساب التبخر–النتح المرجعي(ETo)

يُعد التبخر–النتح المرجعي (Reference Evapotranspiration, ETo) من أهم المؤشرات المناخية الأساسية التي تستعمل لتقدير الاحتياجات المائية الفعلية للمحاصيل الزراعية، إذ يُمثل قدرة الغلاف الجوي على إحداث الفقد المائي من سطح مغطى بالنباتات، في ظروف مناخية محددة ومثالية لنمو النبات من دون أي نقص مائي أو إجهاد فسيولوجي [١]

ويُعرّف ETo بأنه معدل التبخر–النتح من سطح مرجٍ أخضر قصير (عادة بطول ٨–١٥ سم) مغطى بالكامل بالنبات، يمتاز بتجانس في الكثافة والخصائص السطحية، ولا يعاني من نقص مائي أو أمراض نباتية ، يُستخدم هذا السطح المرجعي كمعيار مناخي ثابت يُتيح مقارنة الاحتياجات المائية للمحاصيل المختلفة من دون تأثير نوع النبات أو خصائص التربة، مما يجعل EToالمكوّن المناخي البحت في معادلة الاستهلاك المائي للمحاصيل الزراعية [٢].

لحساب وقياس التبخر- نتح المرجعي للمحاصيل (ETO) من سطح مرجعي وهو مؤشر يعبر عن قدرة الجو على إحداث عملية التبخر/ النتح في منطقة معينة وفى وقت معين من السنة. وهو يعبر عن أقصى كمية مستهلكة من الماء (ملم/ يوم) على فرض أن الارض مزروعة بمحصول أخضر قصير (حشائش (٨-١٥ سم في الطول) نشيط النمو ويغطى سطح التربة تماماً وذو أطوال متجانسة ولا يعاني من نقص ولا يبذل أى جهد فى الحصول على الماء وخالى من الأمراض. والغرض من استعمال هذا المصطلح هو دراسة التبخر بدون تدخل نوع المحصول أو حتى صفات التربة. وقد وجد أن أعلى قيمة له تكون فى المناطق الجافة الحارة كثيرة الرياح أو مع سطوع الشمس بينما يقل في المناطق الباردة الرطبة كثيرة الغيوم مع عدم وجود رياح أو بوجود قليل من الرياح. ويتم الحصول عليه بطريقتين ، الطريقة الاولى هي بالإعتماد على معادلة (Monteith-Penman) فَي الكثير من الأحيان والتي تعتمدها منظمة الأغذية والزراعة " الفاو بَينمان –مَونتيث" ، وهي كما موضحة بالصيغة الآتية [٣] :-

$$ETO = 0.408\,\Delta\,(R_n - G) + \gamma\,\frac{900}{T+273}\,u2\,(es - ea)$$

حيث:

(١)Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements (FAO Irrigation & Drainage Paper 56). FAO, Rome, (1998). pp. 20–35.

(٢)Jensen, M. E., Burman, R. D., & Allen, R. G. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. ASCE Manual No. 70, New York, (1990). pp. 75–100.

(٣)M. Smith, R. Allen,L. Pereira, Revised FAO Methodology for Crop-Water Requirements, library at FAO, Rome, 1998, pp 15-53.

ETO = التبخر المرجعي (الممكن) (ملم /يوم).

Rn = صافي الإشعاع الشمسي على سطح المحصول.

G = كثافة تدفق حرارة التربة.

T = متوسط درجة حرارة الهواء اليومية عند ارتفاع (٢متر %).

u٢ = سرعة الرياح عند ارتفاع ٢ متر) متر/ثانية)

es = ضغط بخار التشبع.

ea = ضغط البخار الفعلي.

$ea - es$ = عجز ضغط بخار التشبع.

Δ = منحدر منحى درجة حرارة ضغط بخار التشبع.

γ = ثابت القياس.

الطريقة الثانية بواسطة برنامج (CROPWAT.٨.٠) والذي تعتمده منظمة الأغذية والزراعة "الفاو" .

أكدت الدراسات المقارنة والكثير من الأبحاث الأخرى الأداء المتفوق لهذا البرنامج او لهذه المعادلة ، واظهرت النتائج الموضحة في الجدول (١٢) والشكل (١٢) ويبلغ المعدل السنوي للتبخر/ النتح المرجعي (الممكن) (ETO) في محطة النجف (٣٠٤.٣ ملم/سم) والمعدل الموسمي او معدل فصل النمو لمحصول الرز يبلغ (٤١٧.٧ ملم/سم) وتتراوح المعدلات الشهرية لفصل نمو محصول الرز مابين اعلى معدل شهري في محطة النجف هو في شهر تموز والبالغ (٥٦٤.٧ ملم/سم) وادنى معدل شهري في شهر تشرين الثاني (١٥٣.٠ ملم/سم) اما ادنى معدل شهري للسنة فهو في شهر كانون الثاني (٧٩.٥ ملم/سم) في محطة النجف. وفيما يخص محطة الديوانية فيبلغ المعدل السنوي للتبخر/ النتح المرجعي (الممكن) (ETO) في محطة الديوانية (٢٨٣.٢ ملم/سم) والمعدل الموسمي او معدل فصل النمو لمحصول الرز يبلغ (٣٨٠.٩) وتتراوح المعدلات الشهرية لفصل نمو محصول الرز مابين اعلى معدل شهري في محطة الديوانية هو في شهر تموز والبالغ (٥٠١.٩ ملم/سم) وادنى معدل شهري في شهر تشرين الثاني (١٤٣.٤ ملم/سم) اما ادنى معدل شهري للسنة فهو في شهر كانون الثاني (٧٦.٤ ملم/سم) في محطة الديوانية . كما يُلاحظ أن محطة النجف تتسم بقيم ETo أعلى من القادسية خلال معظم أشهر السنة، ويُعزى ذلك إلى ارتفاع درجة الحرارة وشدة الإشعاع الشمسي وانخفاض الرطوبة النسبية مقارنةً بالقادسية التي تتأثر نسبيًا بوفرة المياه السطحية واتساع الغطاء النباتي.

هذا التباين يعكس الأثر المباشر للعوامل المناخية المكانية على معدلات الفقد المائي من التربة والنبات. [1] بناءً على ذلك، يُوصى بإدراج قيم ETo و ETc في إدارة الموارد المائية الزراعية والتخطيط الاستراتيجي، خصوصًا في محافظتي النجف والقادسية ، مع تكييف نظم الري الحديثة (كالري بالتناوب ونظامSRI) لرفع كفاءة استعمال المياه والحد من استنزاف المخزون المائي الجوفي.

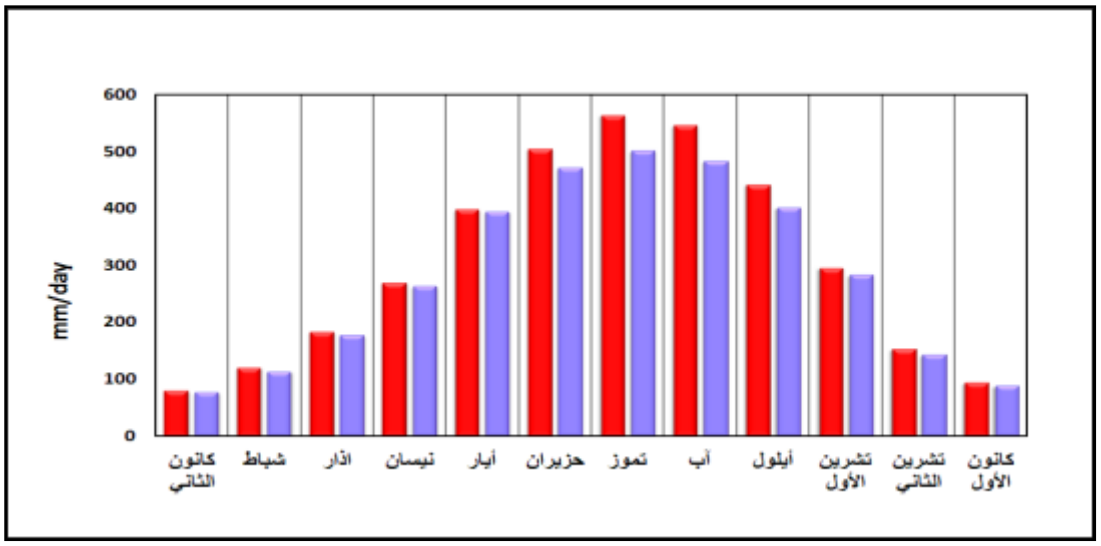
جدول (١٣)التبخر/ النتح المرجعي (الممكن) (ETO) (ملم/سم) باعتماد العامل النباتي

المحطات	كانون الثاني	شباط	اذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول	المعدل السنوي	المجموع السنوي
النجف	79.5	120.4	183.1	269.9	398.2	504.6	564.7	546.3	442.0	295.5	153.0	93.9	304.3	3043.0
الديوانية	76.4	113.4	177.1	263.1	394.5	471.4	501.9	483.6	401.7	283.3	143.4	88.5	283.2	2830.0

المصدر بالاعتماد على

- بيانات الجداول (٢)(٣)(٤)(٥)(٦).
- برنامج (CROPWAT.٨.٠)

[1] - Shahidian, S., Serralheiro, R. P., Teixeira, J. L., & Santos, F. L. Evaluation of FAO Penman–Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in a Mediterranean region. Agricultural Water Management, Vol. ١٣٠, (٢٠١٣). pp. ١٧٣–١٨٣.



الشكل (١٢)التبخر/ النتح المرجعي (الممكن) (ETO) (ملم/سم) باعتماد العامل النباتي

المصدر بالاعتماد على بيانات جدول (١٣).

ومن خلال النتائج السابقة يمكن تحديد تبخر نتح المحاصيل (ETc) وباعتماد المعامل النباتي بالصيغة الآتية[١]:-

$$\boldsymbol{K}\mathrm{C}*\boldsymbol{ETO} = \boldsymbol{ETc}$$

حيث :

ETC = التبخر – النتح المحصول الفعلي (ملم/سم). او مايسمى بـ الاستهلاك المائي

ETO =التبخر – النتح المرجعي (الممكن) (ملم/سم).

$K\mathrm{C}$= معامل محصول الرز (م ٢/شهر).

نجد من تطبيق المعادلة اعلاه والتي تم توضيح نتائجها في الجدول (١٤) والشكل (١٣)الذي يوضح كمية الاستهلاك المائي لمحصول الرز باعتماد العامل النباتي إن أعلى كمية استهلاك مائي للمحصول تكون في شهر تموز في كلا المحافظتين خلال السنة او خلال موسم نمو محصول الرز بمقدار (٦٢١.٢ ملم/سم) في محافظة النجف و(٥٥٢.١ ملم/سم) في محافظة القادسية ، وأن أدنى كمية استهلاك مائي تكون في نهاية فصل النمو أو في نهاية موسم النمو لمحصول الرز في تشرين الثاني بمقدار (١٦٨.٣ ملم/سم) في محافظة النجف و(١٥٧.٧

(١)Pereira ،L.S, et al , Crop Evapotranspiration estimation with FAO 56: Guidelines for Computing Crop water Requirements 2015 ،p p90.

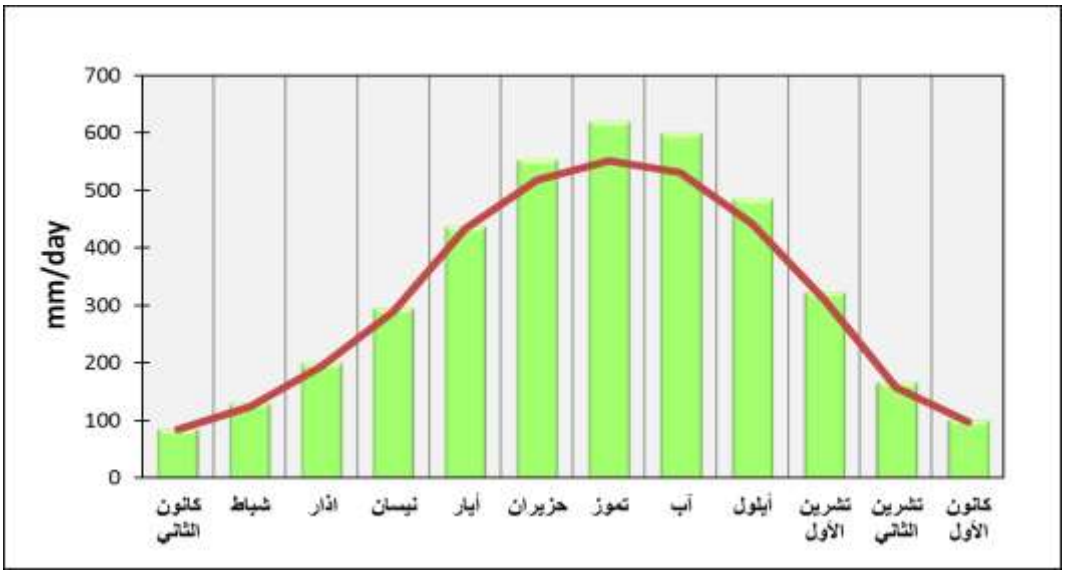
ملم/سم) في محافظة القادسية ، اما ادنى كمية استهلال مائي خلال السنة فيكون في شهر كانون الأول ولكلا المحافظتين ويبلغ (٨٧.٥ و ٨٤.٠ ملم/سم) لكل منهما على الترتيب.

ونستنتج من كل ماسبق ان قيم الاستهلاك المائي تتناسب تناسباً طردياً مع كمية التبخر - النتح الكامن (ETO). وتتأثر كمية الاستهلاك المائي بالعوامل الطبيعية التي تسبب الفروق في كمية التبخر - النتح الكامن.

جدول (١٤) كمية الاستهلاك المائي لمحصولي الرز باعتماد العامل النباتي (ملم/ يوم)

المحطات	كانون الثاني	شباط	اذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول	المجموع السنوي
النجف	87.5	132.4	201.4	296.9	438.0	555.1	621.2	600.9	486.2	325.1	168.3	103.3	4016.2
الديوانية	84.0	124.7	194.8	289.4	434.0	518.5	552.1	532.0	441.9	311.6	157.7	97.4	3738.1

المصدر بالاعتماد على بيانات جدول (١١).



شكل (١٣) كمية الاستهلاك المائي لمحصولي الرز باعتماد العامل النباتي (ملم/ يوم)

المصدر بالاعتماد على بيانات جدول (١٤).

٢-٢-٩- حساب الأمطار الفعّالة

تتطلب دراسة الموازنة المائية المناخية لأي منطقة تحديد كمية الأمطار الفعّالة، نظرًا لدورها المحوري في تقييم عناصر الموازنة المائية. ويُقصد بالمطر الفعّال ذلك الجزء من كميات الأمطار المتساقطة الذي يمكن أن يسهم في تغطية جزء أو كامل الاحتياجات المائية للمحاصيل الزراعية، بعد استبعاد الفواقد الناتجة عن الجريان السطحي، والتغلغل العميق في التربة، إضافة إلى المياه التي تحتجزها أوراق النباتات وتفقد بالتبخر المباشر [١] ولغرض احتساب الأمطار الفعّالة، تم اعتماد طريقة لانغ (Lang) المعتمدة على معامل المطر، والتي تقوم على ربط كميات الأمطار الساقطة بمعدلات درجات الحرارة، وفق الصيغة الآتية [٢].

$$F = N/T$$

إذ يُعبِّر:

F عن معامل المطر (ملم).

N عن كمية الأمطار المتساقطة (ملم).

T عن المعدل الحراري (°م).

يتضح من الجدول (١٥) والشكل (١٤) أن أعلى قيمة لمعامل المطر الفعّال سُجّلت في شهر تشرين الثاني، إذ بلغت (٠.٩ ملم) في محطة النجف و(١.٠ ملم) في محطة القادسية على الترتيب. كما بلغ مجموع معامل المطر الفعّال خلال فصل نمو محصول الرز في كلا المحطتين نحو (١.١ ملم)، وهي قيمة منخفضة جدًا تعكس محدودية مساهمة الأمطار في تلبية الاحتياجات المائية للمحصول. ويشير ذلك إلى أن الاعتماد على مياه الأمطار في زراعة الرز يكاد يكون معدومًا خلال موسم النمو. كما يعكس هذا الانخفاض الطبيعة الجافة للمناخ السائد في منطقة الدراسة خلال أشهر الصيف. وتؤدي هذه الظروف إلى زيادة الاعتماد على مياه الري السطحي كمصدر رئيسي لتغذية المحصول. كما أن ضعف المطر الفعّال يقلل من دوره في تحسين الرطوبة الأرضية أو دعم العمليات الحيوية للنبات. ويبرز ذلك أهمية الإدارة المائية الدقيقة لضمان استمرارية الإنتاج الزراعي. كما يؤكد ضرورة تبني نظم ري كفوءة، مثل نظام(SRI) ، لتعويض هذا العجز المائي. وتوضح هذه المعطيات أن المطر الفعّال لا يمثل عنصرًا مؤثرًا في معادلة الإنتاج الزراعي لمحصول الرز في المنطقة.

---

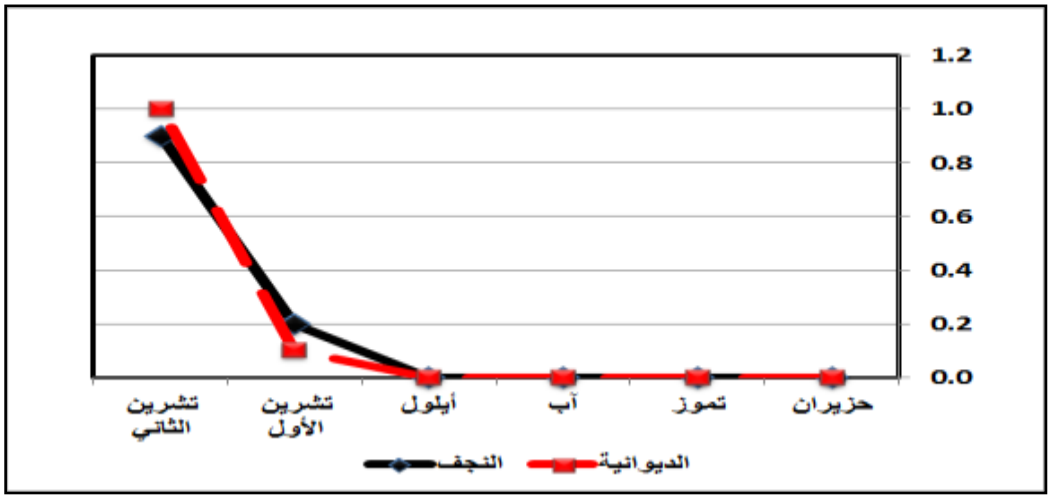
(١) مثنى فاضل علي الوائلي، الموازنة المائية المناخية في محافظة النجف دراسة في المناخ التطبيقي، مصدر سابق، ص ١٠٦.

(٢) صادق جعفر الصراف، علم البيئة والمناخ، دار الكتب للطباعة والنشر، بغداد، ١٩٨٠، ص ١٧٤.

جدول (١٥) معامل المطر الفعال (ملم) خلال موسم زراعة الرز في محطتي النجف والقادسية المناخية للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)

المحطة المناخية	كانون الثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول
النجف	1.2	1.1	0.6	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.9	1.0
الديوانية	1.7	0.9	0.7	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0	1.1

المصدر: بالاعتماد على بيانات جدولي (٤) و (٨)



شكل (١٤) معامل المطر الفعال (ملم) خلال موسم زراعة الرز في محطتي النجف والقادسية المناخية للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)

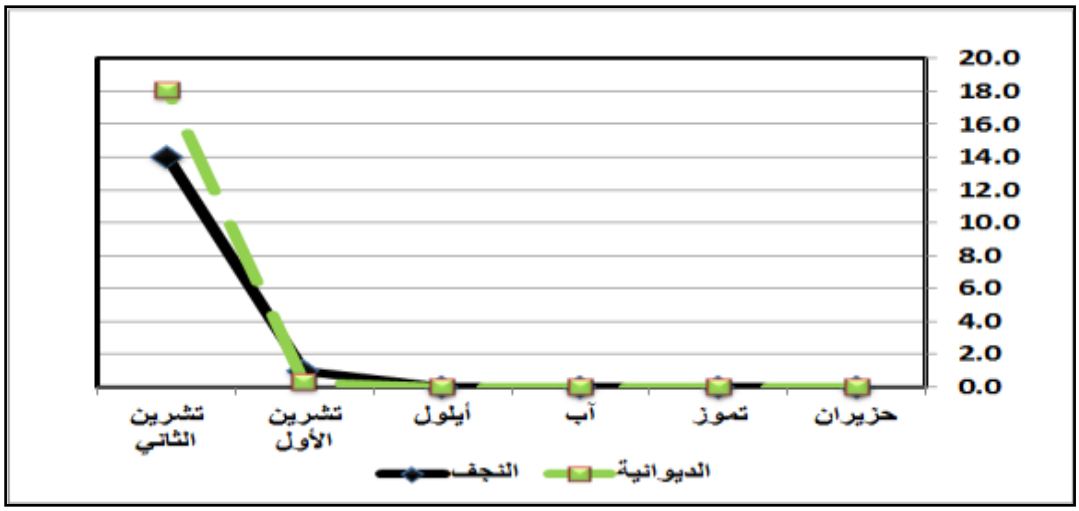
المصدر بالاعتماد على بيانات جدول (١٥).

وتم ايجاد القيمة الفعلية للأمطار من حاصل ضرب معامل المطر الفعال في كمية المطر المتساقط والتي بلغ مجموعها لفصل نمو محصول الرز (١٥.٠ ، ١٨.٤ ملم) في محطتي النجف والقادسية لكل منهما على الترتيب. وكانت اعلى قيمة فعلية للأمطار هي في شهر تشرين الثاني وبلغت (١٤.٠ ، ١٨.١ ملم) في محطتي النجف والقادسية لكل منهما على الترتيب. الجدول (١٦) والشكل (١٥)

جدول (١٦) القيمة الفعلية للأمطار (ملم) خلال موسم زراعة الرز في محطتي النجف والقادسية المناخية للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)

المحطة المناخية	كانون الثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول
النجف	15.4	16.2	6.6	5.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	14.0	12.4
الديوانية	33.8	11.1	8.8	6.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	18.1	15.3

المصدر بالاعتماد على بيانات جدول (١٥).



شكل (١٥) القيمة الفعلية للأمطار (ملم) خلال موسم زراعة الرز في محطتي النجف والقادسية المناخية للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)

المصدر بالاعتماد على بيانات جدول (١٦).

يتضح من الجدولين (١٥) و(١٦) أن فصل الخريف (تشرين الأول–تشرين الثاني (هو المدة الأكثر فعالية مطريًا في كلا المحافظتين، إذ تبلغ مساهمته نحو ٪٤٥–٤٠ من إجمالي الأمطار الفعلية السنوية ، في حين تكاد الأمطار تنعدم خلال أشهر الصيف (حزيران–آب) . كما تُظهر البيانات أن محافظة القادسية تتفوق من حيث إجمالي المطر الفعلي بنسبة ٪٢٣ أعلى من النجف، بسبب موقعها الجغرافي الأقرب إلى خطوط المنخفضات القادمة من الخليج العربي ونشاط المنخفضات المتوسطية شتاءً. [١] ويُلاحظ كذلك أن التذبذب الحراري السنوي يؤثر مباشرة في كفاءة الأمطار، إذ تتناقص فعالية الهطول بزيادة معدل الحرارة فوق ٣٥°م، الأمر الذي يؤدي إلى فقدان كبير في المياه السطحية عبر التبخر المباشر.[٢] ويدل ذلك على تذبذب كبير في كفاءة المطر السنوية، ويؤكد هشاشة الاعتماد على الأمطار كمصدر رئيس للري في هذه المناطق.

من خلال نتائج التحليل يتضح أن الأمطار الفعّالة لا تمثل مصدرًا يعتمد عليه في تغذية الرز مائيًا في محافظتي النجف والقادسية ، إذ إن نسبتها إلى مجموع الاحتياجات المائية الكلية للمحصول تقل عن ٢%، مما يؤكد اعتماد الزراعة بشكل شبه كلي على الري السطحي من القنوات والأنهار. كما أن ارتفاع التباين السنوي في الأمطار، وتناقص فعاليتها في الأشهر الحارة، يُبرز ضرورة تبنّي نظم ري أكثر كفاءة مثل نظام تكثيف زراعة الرز(SRI) ، الذي يسهم في تقليل الاعتماد على الأمطار العشوائية وتحسين كفاءة استعمال المياه الزراعية.

٢-٢-١٠- تقييم الموازنة المائية المناخية

تُعرَّف الموازنة المائية المناخية على أنها صافي العلاقة بين الإيراد المطري (P) والفواقد المائية وأهمّها التبخر–النتح الفعلي (ET) والتصريف السطحي والتسرّب العميق على مدى مدة زمنية محددة، وتستعمل لتقدير العجز/الفائض المائي وأثره في رطوبة التربة وتخطيط الريّ

(١) ميثم عبد الكاظم حميدي الشباني، مؤشرات الاتجاه العام لقيم التبخر والأمطار في العراق وأثرها على الزراعة المروية ، أطروحة دكتوراه، جامعة واسط، كلية التربية، ٢٠١٩، ص ٤٤–٤٦.

(٢)IPCC (٢٠٢٣). Sixth Assessment Report: Climate Change Cambridge University Press, ٢٠٢٣. pp. ٨٥–٩٠.

الزراعي.[١] الموازنة المائية المناخية تُعتبر أداة أساسية لفهم وتطوير استراتيجيات مستدامة لإدارة الموارد المائية في مختلف القطاعات. الموازنة المائية المناخية (Climatic Water Balance) هي طريقة تحليأتية تستعمل لفهم العلاقة بين العناصر المائية (الإيرادات) والعناصر المستهلكة (الفاقد) في النظام المناخي لمنطقة معينة خلال مدة زمنية محددة. وتشمل الإيرادات من الهطول المطري (Precipitation – P)، وتشمل الفاقد من التبخر-نتح (Evapotranspiration-ET)، والتصريف السطحي (Runoff)، والتسرب إلى باطن الأرض وتتجسد الصيغة العامة للموازنة المائية المناخية على النحو الآتي:

الموازنة المائية المناخية = الهطول – التبخر–النتح الفعلي – التسرب أو التصريف.

وتحظى الموازنة المائية المناخية بأهمية كبيرة في الدراسات الجغرافية الحديثة، ولا سيما في ظل تزايد الأهمية الاقتصادية والعملية للمياه، وما يرافق ذلك من تغيرات مناخية، وتراجع كميات الأمطار، وسيادة مظاهر التصحر والجفاف، خاصة في الأقاليم الجافة وشبه الجافة. وبناءً على ذلك، تُعد دراسة الموازنة المائية المناخية من الموضوعات الأساسية، إذ تعكس تأثير عناصر المناخ السائدة في تلك الأقاليم، وتمهّد للوصول إلى تقدير كميات العجز أو الفائض المائي [٢].كما تكتسب معرفة التوازن المائي وتحديد فتراته الزمنية أهمية كبيرة لما لها من آثار مباشرة في الكميات المتاحة من الموارد المائية السطحية والجوفية، وانعكاساتها على رطوبة التربة وحجم الخزين المائي وكميته، فضلًا عن علاقتها بنمو المحاصيل الزراعية وإنتاجيته[٣].

وتُعد الموازنة المائية المناخية من أهم المعايير المعتمدة في تحديد الاحتياجات المائية، ولا سيما في المناطق التي تتسم بقلة الأمطار وتذبذبها، وقد ركزت الدراسات والأبحاث على تقدير قيم الاحتياجات المائية النظرية اعتمادًا على العلاقة الديناميكية المتوازنة بين كميات الأمطار الساقطة وكميات التبخر–النتح في منطقة البحث. [٤] وتتلخص اهمية الموازنة المائية بالاتي:-

---

(١)Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, MCrop Evapotranspiration : Guidelines for Computing Crop Water Requirements (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome, (1998). pp. 12–35, 73–92.

(٢) اشواق حسن حميد صالح، أثر المناخ على نمو وانتاجية المحاصيل الصيفية في محافظة كربلاء، مصدر سابق، ص ١٣٠.

(٣) مثنى فاضل علي الوائلي، الموازنة المائية المناخية في محافظة النجف دراسة في المناخ التطبيقي، رسالة ماجستير، كلية الآداب، جامعة الكوفة، ٢٠٠٤، ص ٨٢.

(٤) كاظم موسى الطائي، موازنة حوض نهر ديالى المائية المناخية في العراق، مجلة الجمعية الجغرافية العراقية، العدد ٤٥، ٢٠٠٠، ص ٨١.

١. فهم الديناميكيات المناخية:- فهي تساعد في دراسة تأثير العناصر المناخية المختلفة على الموارد المائية.

٢. تقييم الموارد المائية:- تُتيح معرفة كمية المياه المتاحة للاستعمال الزراعي، والصناعي، والمنزلي.

٣. إدارة المياه: تستعمل في وضع خطط لتوزيع المياه بين القطاعات المختلفة.

٤. التخطيط الزراعي: تُحدد مدى توافق الاحتياجات المائية للمحاصيل مع الإيرادات المائية المناخية. كما تُساهم في اختيار المحاصيل المناسبة بناءً على وفرة أو ندرة المياه.

٥. مواجهة التغيرات المناخية: تُبرز المناطق الأكثر تأثراً بالجفاف أو الفيضانات، ما يساعد في وضع استراتيجيات للتكيف.

٦. دعم الاستدامة البيئية: تُساهم في تحقيق توازن بين الأنشطة البشرية والموارد المائية المتجددة.

ومن أهم تطبيقات الموازنة المائية المناخية هي :-

١. التنبؤ بالجفاف: تحديد المناطق التي تُعاني من عجز مائي موسمي أو سنوي.

٢. تقدير الاحتياجات المائية: تستعمل لتحديد كميات المياه اللازمة لري المحاصيل في المناطق الزراعية.

٣. إدارة السدود والخزانات: تساعد في وضع استراتيجيات لتخزين المياه خلال المواسم الرطبة لاستعمالها خلال فترات الجفاف.

٤. تحليل التأثيرات المناخية: تُدرس كيفية تأثر الموارد المائية بالتغيرات المناخية مثل الاحترار العالمي.

ومن أهم تحديات في تحقيق الموازنة المائية:

- ندرة المياه في المناطق الجافة.
- ارتفاع معدلات التبخر بسبب الحرارة.
- التغير المناخي وتأثيره على الهطول والتبخر.
- التوسع الزراعي وزيادة الطلب على المياه.

ستُجرى دراسة الموازنة المائية المناخية في منطقة البحث خلال موسم نمو محصول الرز، نظرًا لأهمية هذه الموازنة في إتاحة فهمٍ أدق يمكن من خلاله التعرف على تقدير الاحتياجات المائية لري محصول الرز خلال موسم النمو والذي تقل فيه الامطار عن حاجة المحصول ومن اجل ايجاد الامطار الفعالة استخدمت طريقة لانج والتي تعتمد العلاقة مابين كمية الامطار الساقطة

ومعدل درجة الحرارة ، اذ تم ايجاد كمية الامطار الفعالة واستخراج كمية التبخر/ النتح وحساب الموازنة المائية المناخية وبحسب المعادلة الاتية[1].

الموازنة المائية المناخية = الامطار الفعالة – (التبخر / النتح الكامن)

تُحتسب الموازنة المائية من خلال طرح كميات الأمطار الفعّالة من قيم التبخر–النتح، وبذلك تتحدد النتيجة النهائية للموازنة المائية المناخية. وقد جرى حساب الموازنة المائية المناخية في منطقة البحث اعتمادًا على طريقتين، هما طريقة نجيب خروفة وطريقة بنمان–مونتيث

٢-٢-١٠-١- حساب الموازنة المائية المناخية بطريقة نجيب خروفة

نجد من خلال دراسة وتحليل الجدول (١٥) والشكل (١٤) ان الموازنة المائية المناخية/ نجيب خروفة سجلت عجزاً مائيا خلال فصل نمو المحصول اذ بلغ (١٨٠١.٨-) ملم لمحطة النجف و(-١٧٩٣.٩) ملم لمحطة الديوانية ، وبفارق (-٧.٩ ملم) بين المحطتين طوال فصل نمو محصول الرز. وتتباين كمية العجز المائي مابين اشهر فصل النمو لمحصول الرز وان كان هذا العجز يتحقق العجز المائي المناخي خلال جميع أشهر فصل النمو، وقد سُجِّل أعلى مستوى للعجز في شهر تموز، إذ بلغ نحو (-٤٣٢.٧) ملم/شهريًا في محطة النجف و(-٤١٧.٠) ملم/شهريًا في محطة القادسية. ويُعزى ذلك إلى انعدام الهطول المطري خلال هذا الشهر، وارتفاع درجات الحرارة وتسجيلها أعلى معدلاتها السنوية، إلى جانب انخفاض الرطوبة النسبية وزيادة سرعة الرياح. في المقابل، سُجِّل أدنى مستوى للعجز المائي خلال فصل النمو في شهر تشرين الثاني، إذ بلغ (-٨٣.١) ملم/شهريًا في محطة النجف و(-٨٤.٠) ملم/شهريًا في محطة القادسية. ويعود انخفاض العجز المائي في هذا الشهر إلى تساقط الأمطار، وانخفاض درجات الحرارة، وارتفاع الرطوبة النسبية، فضلًا عن تراجع سرعة الرياح مقارنة ببداية فصل النمو

٢-٢-١٠-٢- حساب الموازنة المائية المناخية بطريقة بنمان–مونتيث

نجد من خلال دراسة وتحليل الجدول (١٤) والشكل (١٤) ان الموازنة المائية المناخية/ بنمان مونتيث سجلت عجزاً مائيا خلال فصل نمو المحصول اذ بلغ (٢٤٩١.١-) ملم لمحطة النجف و(٢٢٦٦.٩-) ملم لمحطة الديوانية ، وبفارق (-٢٢٤.٢ ملم) بين المحطتين طوال فصل نمو محصول الرز. وتتباين قيم العجز المائي بين أشهر موسم نمو محصول الرز، على الرغم من تسجيل العجز المائي المناخي خلال جميع أشهر هذا الموسم، إذ سُجِّل أعلى مستوى للعجز في

(١) علي عبد الزهرة الوائلي، علم الهيدرولوجي والمورفومتري، ط ١، مطبعة احمد الدباغ، بغداد، ٢٠١٢، ص ٢٣٣.

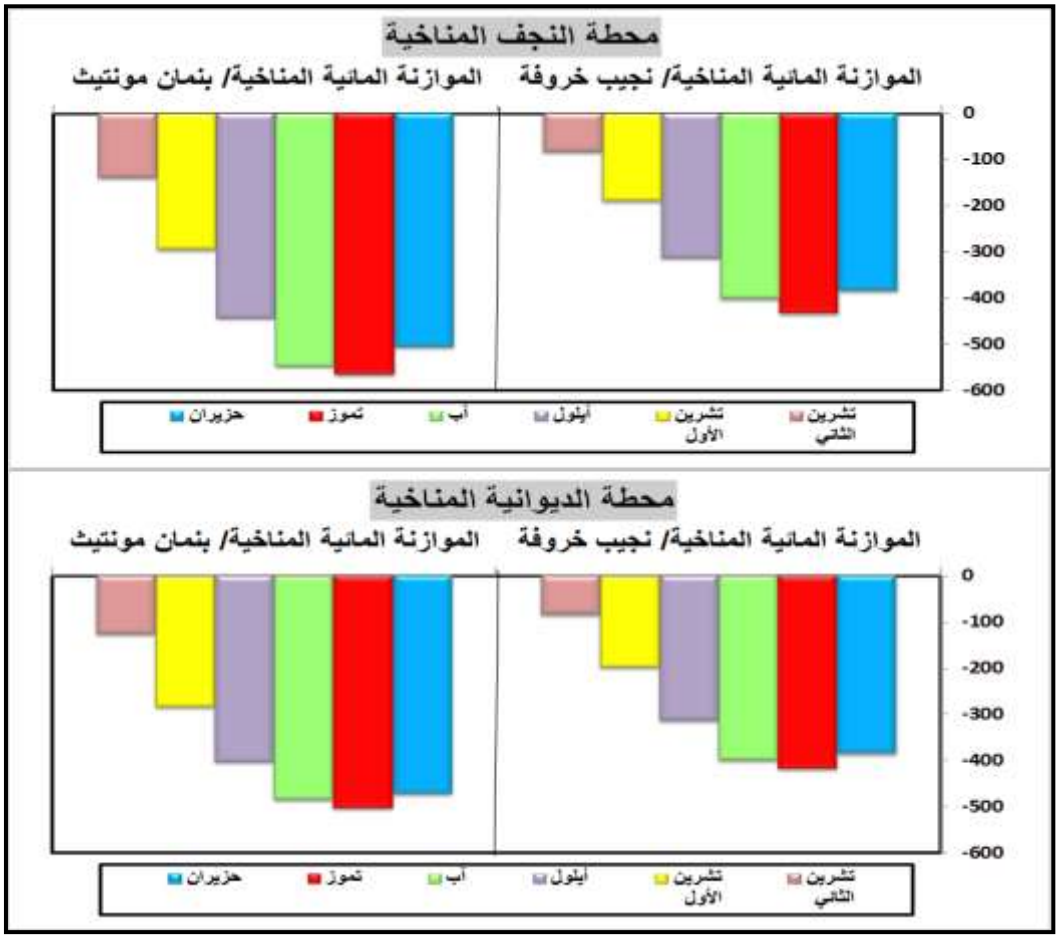
شهر تموز، حيث بلغ (٥٦٤.٧-) ملم/شهريا لمحطة النجف و(٥٠١.٩-) ملم/شهريا لمحطة الديوانية ، بسبب انعدام سقوط الامطار في هذه الشهر وارتفاع درجات الحرارة وتسجيل اعلى معدلاتها خلال السنة وانخفاض الرطوبة النسبية وزيادة سرع الرياح، بينما سجل شهر تشرين الثاني اقل نسبة للعجز في فصل النمو اذ بلغ (١٣٩.٠-) ملم/شهريا لمحطة النجف و(١٢٥.٣-) ملم/شهريا لمحطة الديوانية ، ويعود السبب في انخفاض نسبة العجز المائي الى تساقط الامطار في هذا الشهر ويرتبط ذلك بانخفاض درجات الحرارة وارتفاع الرطوبة النسبية، إلى جانب تراجع سرعة الرياح مقارنة بسرعاتها المسجلة في بداية فصل النمو. ومن خلال ما سبق، يتضح أن نتائج حساب الموازنة المائية المناخية تتوافق بدرجة كبيرة مع طريقة بنمان–مونتيث، إذ أظهرت تسجيل عجز مائي خلال جميع أشهر فصل النمو، دون وجود أي فائض مائي في أي شهر، حتى خلال الأشهر المطيرة. ويتضح هذا الأمر بجلاء من خلال الجدول (١٧) والشكل (١٦)، اللذين يبينان ارتفاع نسب العجز المائي في منطقة البحث خلال موسم نمو محصول الرز. وإذا ما أُخذ بنظر الاعتبار أن محصول الرز يتطلب مصادر مائية متجددة وكبيرة لمدة لا تقل عن (٧٥) يومًا، وبمستوى غمر يصل إلى نحو (١٥) سم، فضلًا عن اختلاف احتياجاته المائية تبعًا لنوع الصنف وطريقة الزراعة، إذ تحتاج الأصناف غير المغمورة إلى كميات تتراوح بين (٦٠٠–١٢٠٠) ملم/سنوياً، في حين تتطلب الأصناف المغمورة كميات أكبر تتراوح بين (١٨٠٠–٢٤٠٠) ملم/سنوياً. وقد قدرت وزارة الري أن محصول الرز يحتاج إلى كميات كبيرة من المياه، إذ يتطلب نموه خلال موسم الزراعة مقننًا مائيًا يصل إلى نحو (٧٠١٨) م^3/دونم، الأمر الذي يستدعي تعويض هذا العجز من خلال الاعتماد على مياه الري.

نستنتج من كل ما سبق ان سلوك العجز المائي و العجز المائي الأعظم يظهر في تموز تزامنًا مع أعلى إشعاع وطول نهار ودرجات حرارة ومع جفاف الكتلة المدارية القارية (CT) وزيادة سرعات الرياح، وهو ما يرفع كلًّا من التبخر من السطح ونَتْح الثغور، وفي تشرين الثاني ينخفض العجز لورود مطر فعّال وتراجع الحمل الحراري وانخفاض التبخر ، وان استمرار العجز خلال كامل الموسم يعني أنّ الريّ التعويضي إلزامي، وأن تخطيط المناوبات وكفاءة التطبيق (الريّ السطحي/الريّ بالبدالات) يجب أن يراعي مواعيد الذروة المائية، مع مراعاة الملوحة و«متطلب الغسل» عند الحاجة

جدول (١٧) الموازنة المائية المناخية بحسب طريقتي نجيب خروفة وبنمان مونتيث خلال موسم زراعة الرز في منطقة البحث للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)

الشهر	الامطار الفعالة		التبخر/النتح/ملم نجيب خروفة		الموازنة المائية المناخية/نجيب خروفة		التبخر/النتح/ملم بنمان مونتيث		الموازنة المائيةالمناخية بنمان مونتيث	
	النجف	الديوانية	النجف	الديوانية	النجف	الديوانية	النجف	الديوانية	النجف	الديوانية
حزيران	0.0	0.0	383.6	384.3	-383.6	-384.3	504.6	471.4	-504.6	-471.4
تموز	0.0	0.0	432.7	417.0	-432.7	-417.0	564.7	501.9	-564.7	-501.9
آب	0.0	0.0	400.9	398.5	-400.9	-398.5	546.3	483.6	-546.3	-483.6
أيلول	0.0	0.0	312.2	312.9	-312.2	-312.9	442.0	401.7	-442.0	-401.7
تشرين الأول	1.0	0.3	190.3	197.5	-189.3	-197.2	295.5	283.3	-294.5	-283.0
تشرين الثاني	14.0	18.1	97.1	102.1	-83.1	-84.0	153.0	143.4	-139.0	-125.3
المجموع	15.0	18.4	1816.8	1812.3	-1801.8	-1793.9	2506.1	2285.3	-2491.1	-2266.9

المصدر: بالاعتماد على جدولي (١٥) و (١٦)



شكل (١٦) الموازنة المائية المناخية بحسب طريقتي نجيب خروفة وبنمان مونتيث الموسم زراعة الرز في منطقة البحث للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٣)

المصدر بالاعتماد على بيانات جدول (١٧).

الفصل الثالث

خصائص مناخ محافظتي النجف والقادسية

ومؤشرات التغير المناخي فيهما

٣-١- خصائص الإشعاع الشمسي والمتغيرات المحددة

تمهيد

يُعدّ المناخ أحد أهم المحددات الطبيعية المؤثرة في تشكيل الإطار البيئي والاقتصادي للأقاليم الجغرافية، لما له من دور مباشر في توجيه الأنشطة الزراعية وتحديد استدامة الموارد الطبيعية. وتبرز هذه الأهمية بوضوح في العراق، ولا سيما في محافظتي النجف والقادسية الواقعتين ضمن الإقليم الجاف وشبه الجاف، حيث يُمثل التباين المناخي عاملًا حاسمًا في كفاءة النظم الزراعية المروية. وقد أسهمت التحولات المناخية العالمية خلال العقود الأخيرة في زيادة شدة الظواهر المتطرفة، مثل ارتفاع درجات الحرارة وتذبذب الأمطار وتكرار الموجات الحرارية، الأمر الذي انعكس سلبًا على استقرار الإنتاج الزراعي في الفرات الاوسط.

يأتي هذا الفصل استكمالًا لما تناولته الدراسة في الفصل الثاني من تحليل لظاهرة الاحتباس الحراري وآثارها الزراعية، من خلال الانتقال إلى دراسة الخصائص المناخية الكمية ومؤشرات التغير المناخي في محافظتي النجف والقادسية خلال المدة (١٩٨٠–٢٠٢٣). ويركز التحليل على العناصر المناخية الرئيسة، ولا سيما الإشعاع الشمسي، ودرجات الحرارة، والأمطار، والرطوبة النسبية، وسرعة الرياح، لما لها من تأثير مباشر في تحديد ملاءمة تطبيق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) الذي يقوم على الإدارة الكفؤة للمياه والضوء والتربة بهدف رفع الإنتاجية وتقليل استهلاك الموارد المائية.

اعتمدت الدراسة على بيانات الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي في العراق، وتم تحليلها باستعمال أساليب إحصائية اتجاهية للكشف عن التغيرات الزمنية والمكانية للعناصر المناخية، مع تقسيم المدة الزمنية إلى دورات مناخية وفق معايير المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) لتمييز مراحل التغير المناخي في منطقة الدراسة.

ويُعد هذا التحليل أساسًا علميًا لفهم العلاقة بين المناخ المحلي واستدامة الزراعة الذكية، إذ يُظهر نظام SRI حساسية واضحة للتغيرات المناخية، ولا سيما في درجات الحرارة والإشعاع والرطوبة، وهي عوامل تتحكم بكفاءة النمو والإنتاج في البيئات الجافة وشبه الجافة. ومن ثمّ يسعى هذا الفصل إلى تقييم ملاءمة المناخ المحلي لتطبيق نظام SRI بوصفه أحد الخيارات الاستراتيجية للتكيف الزراعي المستدام في العراق.[١].

---

(١)Wilby, R. L., & Dessai, S. “Robust adaptation to climate change.” Weather, 65(7), (2010).PP.180–185.

إجراء التحليل الإحصائي للاتجاهات المناخية

اعتمدت الدراسة أسلوب الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression) في تحليل الاتجاهات الزمنية للعناصر المناخية الرئيسة في محافظتي النجف والقادسية خلال مدة الدراسة (١٩٨٠–٢٠٢٣)، بهدف تحديد اتجاه التغير ومقداره. وتم اعتماد مستوى دلالة إحصائية قدره (٠.٠٥) للحكم على معنوية الاتجاهات، إذ عُدّ الاتجاه معنويًا إحصائيًا عندما تكون قيمة (p-value) أقل من مستوى الدلالة المعتمد، في حين يُعد الاتجاه غير معنوي عند تجاوزها هذا المستوى.

٣-١-١- زوايا سقوط الإشعاع الشمسي

يُعد الإشعاع الشمسي من أهم المكونات المناخية التي تؤثر مباشرة في البيئة الزراعية من خلال دوره في تنظيم عمليات التمثيل الضوئي، والتبخر–النتح، والنشاط الفسيولوجي للنباتات. وتُعد زاوية سقوط الإشعاع الشمسي مؤشراً أساسياً لتحديد كمية الطاقة الواصلة إلى سطح الأرض، إذ ترتبط هذه الزاوية ارتباطًا مباشرًا بكمية الإشعاع المستلمة يوميًا وسنوياً [١] .

يتم احتساب زوايا سقوط الإشعاع الشمسي اعتمادًا على العلاقات الفلكية النظرية، وليس على القياسات الرصدية المباشرة.

وتتأثر زاوية السقوط بعوامل فلكية أبرزها ميل محور الأرض ودورانها حول الشمس، إضافة إلى موقع المنطقة بالنسبة لدوائر العرض، مما يؤدي إلى اختلافها الزمني والمكاني عبر فصول السنة. ففي المناطق الواقعة بين دائرتي عرض (٣٠–٣٣° شمالاً)، كما هو الحال في محافظتي النجف والقادسية ، تكون الزوايا مرتفعة نسبيًا خلال الصيف نتيجة لتعامد الشمس على مدار السرطان، بينما تنخفض شتاءً نتيجة ميلان الأشعة باتجاه الجنوب [٢].

يُعد تحليل زوايا الإشعاع الشمسي أمرًا بالغ الأهمية في الدراسات الزراعية، إذ يُسهم في تحديد الفترات الزمنية المثلى للزراعة وتقدير كفاءة استغلال الطاقة الشمسية في الأنظمة الزراعية الذكية مثل نظام تكثيف زراعة الرز .(SRI) فكلما ازدادت زاوية السقوط واقترب الإشعاع من الوضع العمودي، زادت كمية الإشعاع التي تستقبلها النباتات، مما يؤدي إلى رفع كفاءة التمثيل الضوئي وتعزيز النمو الخضري والإنتاج الزراعي، ولا سيما في المحاصيل الحقلية التي تعتمد

(١)عايد سلوم حربي، دعاء عبد الزهرة حسن الشريفي، *العوامل الطبيعية وعلاقتها باستعمالات الأرض الزراعية في قضاء الهاشمية*، مجلة العلوم الإنسانية، كلية التربية للعلوم الإنسانية، (٢٥) العدد الثاني، حزيران ٢٠١٨.

(٢) الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي في العراق، قسم المناخ، بيانات غير منشورة.

بشكل مباشر على الطاقة الشمسية في بناء مادتها الجافة [١].

يُظهر من خلال مقارنة وتحليل الجدول (١٨) والشكل البياني (١٧) أن التوزيع الزماني لزوايا الإشعاع الشمسي يتخذ نمطًا إشعاعيًا متدرجًا يعكس التغير الفصلي في موقع الشمس الظاهري على مدار السنة. إذ بلغت أعلى زاوية سقوط في شهر حزيران (٨٢.٠٣°) في محطة النجف و(٨٢.٠٥°) في محطة الديوانية ، تزامنًا مع تعامد الشمس على مدار السرطان في ٢١ حزيران، الأمر الذي يؤدي إلى رفع كمية الإشعاع الكلي إلى أقصى حدوده السنوية نتيجة ازدياد طول النهار وزاوية ارتفاع الشمس [٢].

سُجلت أدنى القيم في شهر كانون الأول (٣٥.٠٣° و٣٥.٠٥°) عندما تكون الأشعة الشمسية مائلة بشكل كبير على سطح الأرض، مما يقلل من كمية الطاقة الحرارية الواصلة ويؤدي إلى انخفاض واضح في درجات الحرارة لتصل إلى نحو (٦ م°) في المتوسط خلال هذا الفصل. كما يُلاحظ تجانس مكاني واضح بين المحافظتين، إذ لم تتجاوز الفروق الشهرية بينهما (٠.٠٥°)، وهو ما يعكس تماثلًا في البنية الإشعاعية والموقع الفلكي لكليهما. أما المدى الزاوي السنوي فقد بلغ نحو (٤٧°)، وهو مؤشر على اتساع التباين الإشعاعي السنوي الذي يفسر التباين الحراري الكبير بين فصول السنة، وهي سمة مميزة للمناخ القاري شبه الجاف في الفرات الاوسط[٣].

يتضح من الشكل (١) أن المدى الزاوي السنوي لمحطة النجف المناخية يبلغ (٤٢.٤٣°)، فيما يبلغ لمحطة الديوانية (٤٢.٤٤°)، وهو ما يشير إلى انعدام التباين الإشعاعي المكاني تقريبًا بين المحطتين، في حين يبقى التباين الفصلي واسعًا بين شهور السنة نتيجة تغير ارتفاع الشمس. إن ارتفاع زوايا السقوط خلال أشهر نيسان إلى تموز، التي تتراوح بين (٧٠.٣٥°–٨٢.٠٣°) في النجف و(٧٠.٣٧°–٨٢.٠٥°) في القادسية ، يجعلها أنسب مدة لزراعة محصول الرز ضمن نظام تكثيف زراعة الرز(SRI) ، إذ تمثل هذه القيم الفلكية الزوايا المثلى لتحقيق أعلى كفاءة في البناء الضوئي للنبات، ما يسهم في زيادة الإنتاجية وتحسين جودة المحصول من خلال الاستغلال الأمثل للطاقة الشمسية المتاحة

(١)محمد محمود محمدين، أساسيات المناخ الزراعي، دار المسيرة للنشر والتوزيع، عمّان، ٢٠١٧، ص ٨٨–٩٢.

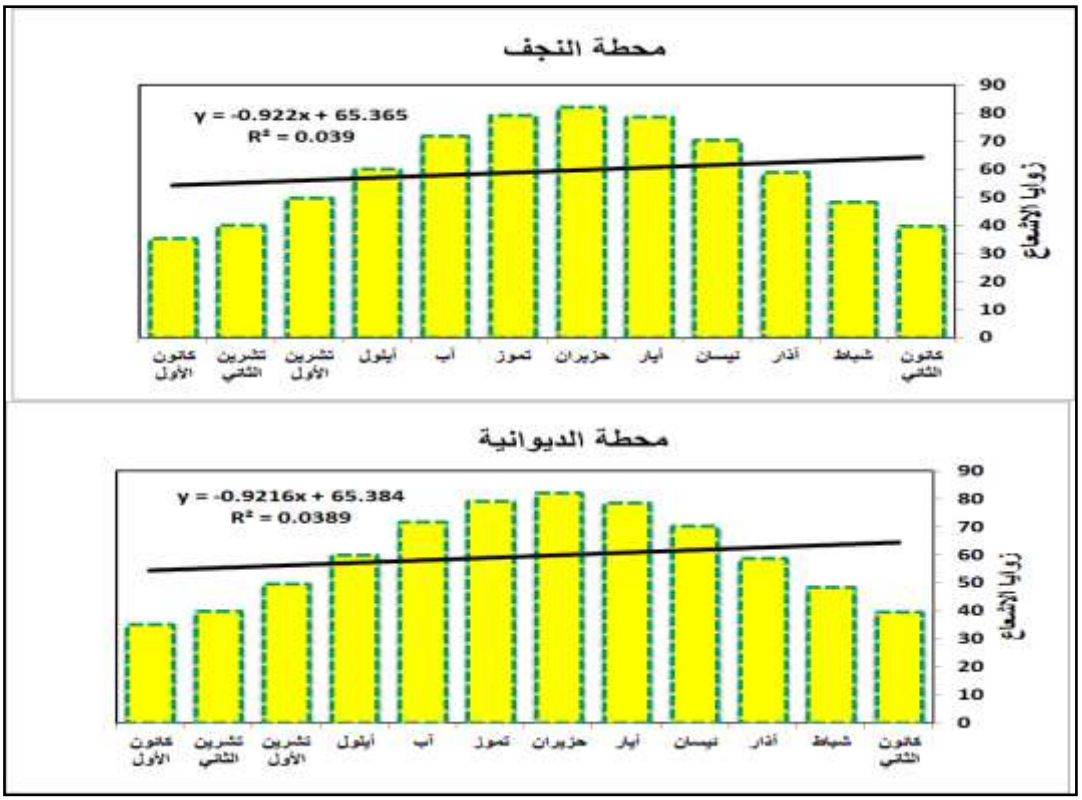
(٢)WMO Guidelines on the Measurement of Sunshine Duration. Geneva. (2020).

(٣)Bouman, B.A.M. et al. Rice: Origin, History, Technology, and Production. Wiley-Blackwell. (2007).

جدول (١٨): المعدلات الشهرية لزوايا سقوط الإشعاع الشمسي (درجة°) في محافظتي النجف والقادسية (١٩٨٠–٢٠٢٣)

الشهر	النجف	القادسية
كانون الثاني	°39.60	°39.61
شباط	°48.25	°48.27
آذار	°58.60	°58.63
نيسان	°70.35	°70.37
أيار	°78.40	°78.42
حزيران	°82.03	°82.05
تموز	°79.20	°79.22
آب	°71.60	°71.63
أيلول	°59.80	°59.83
تشرين الأول	°49.70	°49.72
تشرين الثاني	°39.90	°39.92
كانون الأول	°35.03	°35.05
المعدل السنوي	°59.45	°59.48

المصدر :الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي، بيانات مناخية لمحطتي النجف والديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)، وزارة النقل، العراق.



شكل (١٧)المعدلات الشهرية لزوايا سقوط الإشعاع الشمسي (درجة) في محافظتي النجف والقادسية (١٩٨٠–٢٠٢٣)

المصدر – بالاعتماد على جدول (١٨)

تُشير النتائج إلى أن انتظام زاوية السقوط وارتفاعها خلال مدة الزراعة الصيفية يُشكلان بيئة إشعاعية ملاءمة لتطبيق نظام SRIالذي يعتمد على الإدارة المثلى للضوء والماء. إذ تُمكّن الزوايا المرتفعة من زيادة الكفاءة الضوئية للنباتات بنسبة تصل إلى ٢٠٪مقارنة بالزراعة التقليدية، وتُساهم في تقليل استهلاك المياه من خلال تحسين التبخر–النتح وتنظيم فترات الري [١]. كما أن ثبات الدورة الإشعاعية يُساعد في استقرار مواعيد الزراعة ومواسم النمو السنوية، وهو ما يُعزز من مرونة النظام الزراعي تجاه ظواهر الاحتباس الحراري وتغير المناخ. ونستنتج مما سبق :-

١- تتميز محافظتا النجف والقادسية بتجانس إشعاعي مكاني واستقرار زمني طويل الأمد.

٢- يُعد المدى الزاوي العالي (٤٧°) مؤشرًا على وفرة الطاقة الشمسية اللازمة لنظام SRI.

٣- يُوصى باعتماد زاوية السقوط كمؤشر إشعاعي ضمن تقييم ملاءمة الأراضي الزراعية لنظم الزراعة الذكية مناخيًا.

(١)هناء عبد الزهرة الشمري، التغيرات المناخية وتأثيرها على المحاصيل الزراعية في العراق .أطروحة دكتوراه، جامعة بغداد. ٢٠١٩.

٣-١-٢- السطوع الشمسي النظري

يُعد السطوع الشمسي النظري أحد العناصر المناخية الفلكية الجوهرية في تحديد كفاءة الطاقة الشمسية المستلمة على سطح الأرض، إذ يمثل المدة الزمنية التي يمكن أن تشرق فيها الشمس في حال كانت السماء صافية تمامًا من الغيوم والعواصف الغبارية ويُستخدم هذا المتغير كمؤشر فلكي لقياس الإمكانات الإشعاعية القصوى لأي موقع جغرافي، ويُعتمد عليه في حساب الإشعاع الشمسي الكلي والمباشر والمنتشر، فضلًا عن كونه عاملاً أساسياً في النماذج الزراعية الخاصة بنظام تكثيف زراعة الرز(SRI) ، الذي يتطلب مدد إضاءة طويلة ومستقرة لضمان كفاءة التمثيل الضوئي للنبات [١].

تتباين ساعات السطوع النظري تبعًا لطول النهار واختلاف زاوية ميل الشمس بين الفصول. ففي المناطق الواقعة ضمن النطاق شبه الجاف وسط وجنوب العراق، تسجل المحافظات الوسطى مثل النجف والقادسية أطول ساعات سطوع خلال فصل الصيف نتيجة لتعامد الشمس على مدار السرطان في ٢١ حزيران، بينما تتناقص ساعات النهار شتاءً مع ميلان الشمس جنوبًا، مما يؤدي إلى انخفاض السطوع النظري [٢]. ويُعد هذا السلوك الفلكي من المحددات الأساسية لتوزيع النشاط الزراعي زمانيًا، إذ يُوجّه الفلاحين إلى اختيار المدة الزمنية التي تزداد فيها الإضاءة الشمسية الفعالة لتحقيق أقصى إنتاجية.

يُظهر الجدول (١٩) والشكل (١٨) أن أعلى معدلات السطوع النظري سُجلت خلال فصلي الربيع والصيف، إذ بلغت في شهر حزيران نحو (١٠.١٦ ساعة/يوم في النجف) و(١٠.١٥ ساعة/يوم في القادسية)، وهي القيم القصوى المرتبطة بطول النهار وارتفاع زاوية سقوط الإشعاع الشمسي. في المقابل، تنخفض هذه القيم خلال فصل الشتاء، حيث تصل في شهر كانون الأول إلى (٩.٨٤ و٩.٨٢ ساعة/يوم) نتيجة قصر النهار وزيادة ميل الأشعة الشمسية. وتُظهر البيانات تقاربًا واضحًا بين المحافظتين، إذ لم تتجاوز الفروق الشهرية (٠.١ ساعة/يوم)، مما يعكس تجانسًا مكانيًا في الخصائص الإشعاعية ضمن الإقليم المناخي الواحد، في حين يشير المدى السنوي البالغ (٠.٣٤ ساعة/يوم) إلى درجة عالية من الثبات الفلكي في نظام الإضاءة الشمسية.

---

(١)WMO, *Sunshine Duration*, 2020.

(٢)علي حسين شلش، الكرة الأرضية من الوسائل المساعدة في تدريس الجغرافية .جامعة البصرة، مصدر سابق ، ص٥٧_٧٣.

يُظهر الجدول (١٩) والشكل (١٨) أن أعلى معدلات السطوع النظري سُجلت خلال فصلي الربيع والصيف، إذ بلغت في شهر حزيران نحو (١٠.١٦ ساعة/يوم في النجف) و(١٠.١٥ ساعة/يوم في القادسية)، وهي القيم القصوى المرتبطة بطول النهار وارتفاع زاوية سقوط الإشعاع الشمسي. في المقابل، تنخفض هذه القيم خلال فصل الشتاء، حيث تصل في شهر كانون الأول إلى (٩.٨٤ و٩.٨٢ ساعة/يوم) نتيجة قصر النهار وزيادة ميل الأشعة الشمسية. وتُظهر البيانات تقاربًا واضحًا بين المحافظتين، إذ لم تتجاوز الفروق الشهرية (٠.١ ساعة/يوم)، مما يعكس تجانسًا مكانيًا في الخصائص الإشعاعية ضمن الإقليم المناخي الواحد، في حين يشير المدى السنوي البالغ (٠.٣٤ ساعة/يوم) إلى درجة عالية من الثبات الفلكي في نظام الإضاءة الشمسية.

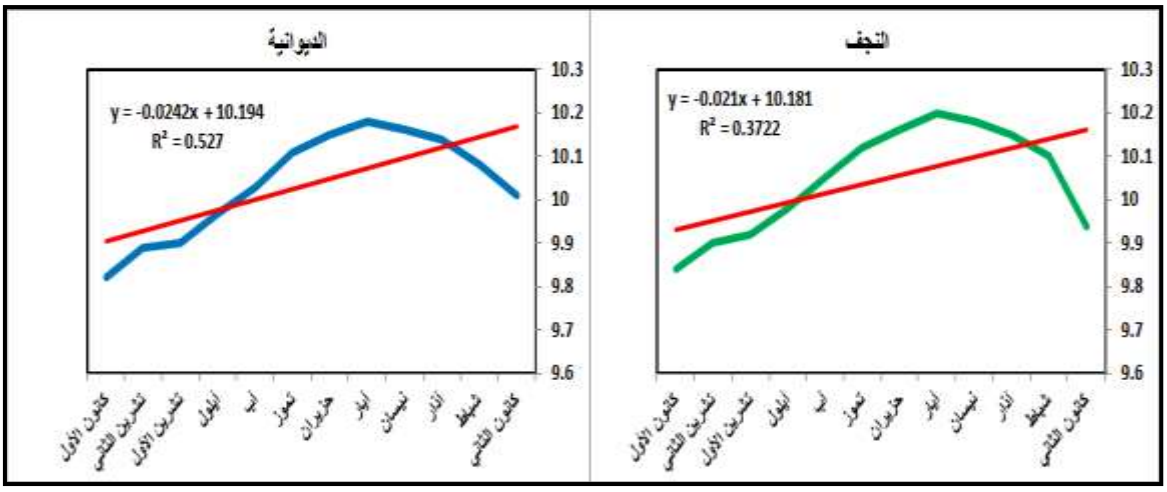
كما يتضح من الشكل (١٩) أن الاتجاه الزمني للسطوع النظري ظل شبه ثابت خلال العقود الأربعة الماضية، حيث بلغ الميل العام ($\beta = -0.021$ ساعة/يوم لمحطة النجف) و($\beta = -0.024$ ساعة/يوم لمحطة الديوانية)، مع معامل تحديد يتراوح بين($R^2 = 0.37–0.52$) ، وهو ما يدل على أن عامل الزمن يفسر جزءًا محدودًا من التغير في السطوع الشمسي، مع بقاء التأثير الأكبر مرتبطًا بالعوامل الفلكية الثابتة. ويعكس هذا الثبات استقرار الدورة السنوية لحركة الشمس، وقلة تأثرها بالمتغيرات المناخية المحلية مقارنة ببقية العناصر المناخية.

كما يشير هذا الاستقرار إلى أن الإشعاع الشمسي يمثل عاملًا ثابتًا يمكن الاعتماد عليه في التخطيط الزراعي طويل الأمد. ويُسهم ذلك في توفير بيئة طاقية مستقرة تدعم نمو المحاصيل وتحسين كفاءتها الإنتاجية. كما يساعد انتظام السطوع الشمسي في تحقيق توازن حراري مناسب داخل الحقول الزراعية. ويعزز هذا التوازن من كفاءة العمليات الفسيولوجية للنبات، ولا سيما التمثيل الضوئي. كما يقلل من تأثير التذبذب المناخي على إنتاجية المحاصيل خلال المواسم المختلفة. وتبرز أهمية هذا العامل في دعم استقرار إنتاج الرز ضمن نظام (SRI) المعتمد على كفاءة استخدام الطاقة والمياه. كما يسهم في تقليل المخاطر المرتبطة بالتقلبات المناخية غير المتوقعة. ويؤكد ذلك أن العوامل الفلكية تمثل أساسًا ثابتًا في بناء النظم الزراعية المستدامة. كما يعزز من دقة التنبؤ بالإنتاج الزراعي اعتمادًا على ثبات الإشعاع الشمسي. وتدل هذه المؤشرات على أن استقرار السطوع الشمسي يمثل عنصرًا محوريًا في تحقيق استدامة الإنتاج الزراعي في المنطقة.

جدول (١٩): المعدلات الشهرية والسنوية لساعات السطوع الشمسي النظري (ساعة/يوم) في محافظتي النجف والقادسية (١٩٨٠–٢٠٢٣)

الشهر	النجف	القادسية
كانون الثاني	9.94	10.01
شباط	10.10	10.08
آذار	10.15	10.14
نيسان	10.18	10.16
أيار	10.20	10.18
حزيران	10.16	10.15
تموز	10.12	10.11
آب	10.05	10.03
أيلول	9.98	9.97
تشرين الأول	9.92	9.90
تشرين الثاني	9.90	9.89
كانون الأول	9.84	9.82
المعدل السنوي	10.05	10.04

المصدر :- بالاعتماد على المعادلات الفلكية لطول النهار، استنادًا إلى منهجية منظمة الأرصاد الجوية العالمية (٢٠٢٠) World Meteorological Organization، ومنظمة الأغذية والزراعة Food and Agriculture Organization (١٩٩٨).



الشكل (١٨): الاتجاه الزمني للسطوع النظري في محافظتي النجف والقادسية (١٩٨٠–٢٠٢٣)

المصدر :- بالاعتماد على جدول (١٩)

كما يُلاحظ انتظام الذروة السنوية في شهر حزيران من كل عام، مقابل انخفاض القيم في كانون الأول، وهو نمط إشعاعي موسمي شبه مثالي يعبّر عن توازن فلكي واضح بين فصول السنة. ويُشير هذا النمط المستقر إلى أن الطاقة الشمسية المتاحة في محافظتي النجف والقادسية يمكن الاعتماد عليها كمصدر طاقي طبيعي وثابت لدعم الأنظمة الزراعية الذكية، لاسيما نظام SRI الذي يتطلب ضوءًا وفيرًا وممتدًا لرفع كفاءة النمو الخضري والإنتاجي وتُعد الزيادة في عدد ساعات السطوع النظري خلال المدة الممتدة من نيسان إلى تموز عاملًا محفزًا لتطبيق نظام SRI، إذ تتجاوز ساعات السطوع (١٠ ساعات يوميًا)، وهي كافية لتغطية الاحتياجات الضوئية للنبات وضمان كفاءة البناء الضوئي بنسبة تزيد على (٩٠%) وفق الدراسات الزراعية الحديثة [١]. كما أن انتظام السطوع عبر العقود الأخيرة يُعزز إمكانية التوسع في هذا النظام دون الحاجة إلى تعديل جوهري في المواعيد الزراعية أو نظم الري.

الاستنتاجات المناخية الزراعية

١- تُظهر محافظتا النجف والقادسية استقرارًا إشعاعيًا طويل الأمد في السطوع النظري، مما يعزز إمكانية تطبيق نظم الزراعة الذكية المعتمدة على الضوء.

٢- تتزامن أعلى القيم مع مدة النمو المثلى لمحصول الرز بنظام SRI نيسان–تموز.

٣- يُعد انتظام السطوع مؤشرًا حيويًا لاستدامة الطاقة الشمسية الزراعية في البيئات شبه الجافة.

(١)Satyanarayana, A., et al. “Influence of Solar Radiation on SRI-Based Rice Productivity.” Agricultural Systems, (2018). pp:165, 145–155.

٣-١-٣- السطوع الشمسي الفعلي

يُعد السطوع الفعلي من المؤشرات المناخية الدقيقة التي تقيس مدى كفاءة الإشعاع الشمسي المتاح فعليًا في البيئة الزراعية، إذ يعبّر عن عدد الساعات التي تصل فيها أشعة الشمس إلى سطح الأرض بعد استبعاد تأثير الغيوم والعواصف الغبارية [١]. وتكتسب دراسة هذا العنصر أهمية خاصة في البيئات الجافة وشبه الجافة، مثل محافظتي النجف والقادسية ، نظرًا لاعتماد الزراعة فيها على الطاقة الشمسية بوصفها المحرك الأساسي للعمليات الفسيولوجية للنبات كالبناء الضوئي والتبخر–النتح [٢]. كما أن تحليل السطوع الفعلي يُعد خطوة جوهرية في تقييم ملاءمة تطبيق نظم الزراعة الذكية مناخيًا، خصوصًا نظام تكثيف زراعة الرز(SRI)، الذي يتطلب ضوءًا مكثفًا ومستمرًا لضمان كفاءة النمو وزيادة الإنتاجية. فكل ساعة إضافية من السطوع ترفع قدرة النبات على امتصاص الطاقة الضوئية بنسبة تتراوح بين ٣–٥٪، مما ينعكس إيجابًا على كمية المحصول وجودته [٣].

يتضح من خلال الجدول (٢٠) والشكل (١٩) أن محطة النجف المناخية تتميز بسطوع فعلي مرتفع يتراوح بين (٦.٠–١١.٨ ساعة/يوم)، بمتوسط سنوي يبلغ ٨.٦٦ساعة/يوم، وهو ما يمثل نحو ٨٦٪من السطوع النظري المسجل في المحافظة. وتُعد المدة الممتدة بين أيار وتموز ذروة السطوع بمتوسط يزيد عن ١١ساعة/يوم، ما يجعلها مثالية للنشاط الزراعي الذي يعتمد على الإشعاع الكثيف مثل زراعة الرز بنظام .SRI (٤). في المقابل، تُسجّل أدنى قيم السطوع في شهري كانون الثاني وكانون الأول بمعدل يقل عن٦ساعات/يوم، ويُعزى ذلك إلى انخفاض زاوية سقوط الإشعاع، وازدياد تكرار الغيوم والعواصف الغبارية خلال هذه المدة [٥].

(١)عدنان قاسم الدوري، *مناخ العراق: الأسس والخصائص*، دار الشؤون الثقافية العامة، بغداد، ٢٠١٠، ص ٨٥–٨٧.

(٢) هناء عبد الزهرة الشمري، التغيرات المناخية وتأثيرها على المحاصيل الزراعية في العراق .أطروحة دكتوراه، جامعة بغداد، ٢٠١٩.

(٣)Liou, K. N. An Introduction to Atmospheric Radiation. Academic Press. (2002).

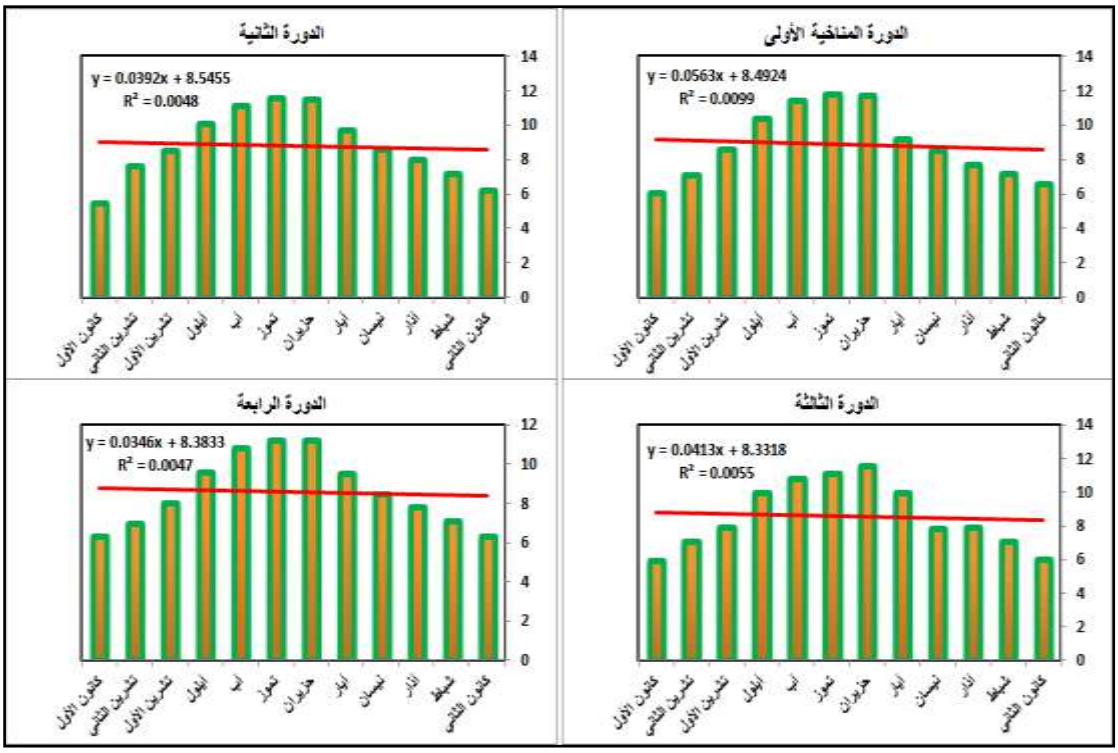
(٤)Kaskaoutis, D.G. et al. "Impact of Dust Storms on Solar Radiation in the Middle East." Atmospheric Research, (2015).164–165, 72–74.

(٥)Bouman, B.A.M. et al. Rice: Origin, History, Technology, and Production. Wiley-Blackwell. (2007).

جدول (٢٠): المعدلات الشهرية والسنوية لساعات السطوع الفعلي (ساعة/يوم) في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)

الشهر	الدورة المناخية الأولى	الدورة الثانية	الدورة الثالثة	الدورة الرابعة	المعدل الشهري
كانون الثاني	6.6	6.2	6.0	6.3	6.28
شباط	7.2	7.2	7.1	7.1	7.15
آذار	7.7	8.0	7.9	7.8	7.85
نيسان	8.5	8.6	7.8	8.5	8.35
أيار	9.2	9.7	10.0	9.5	9.60
حزيران	11.7	11.5	11.6	11.2	**11.25**
تموز	11.8	11.6	11.1	11.2	**11.53**
آب	11.4	11.1	10.8	10.8	11.03
أيلول	10.4	10.1	10.0	9.6	10.03
تشرين الأول	8.6	8.5	7.9	8.0	8.15
تشرين الثاني	7.1	7.6	7.1	7.0	7.00
كانون الأول	6.1	5.5	5.9	6.3	5.95
المعدل السنوي	**8.86**	**8.80**	**8.43**	**8.54**	**8.66**

المصدر :- بالاعتماد على -الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي في العراق، قسم المناخ (١٩٨٠–٢٠٢٣). بيانات غير منشورة



الشكل (١٩): الاتجاه الزمني للسطوع الفعلي للمعدلات الشهرية والسنوية لساعات السطوع الفعلي (ساعة/يوم) في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)

المصدر :- بالاعتماد على جدول (٢٠)

يُبيّن الشكل (١٩) الاتجاه الزمني للسطوع الشمسي الفعلي في محطة النجف خلال المدة (١٩٨٠–٢٠٢٣) بحسب الدورات المناخية الأربع، إذ أظهرت الدورة المناخية الأولى ميلًا اتجاهيًا موجبًا بلغ β = +٠.٠٥٦٣ساعة/يوم/عقد وبمعامل تحديد R^2 = ٠.٠٠٩٩، في حين سجلت الدورة المناخية الثانية ميلًا اتجاهيًا قدره β = +٠.٠٣٩٢ساعة/يوم/عقد ومعامل تحديد منخفض بلغ R^2 = ٠.٠٠٤٨. كما بيّنت الدورة المناخية الثالثة ميلًا اتجاهيًا موجبًا بحدود β = ٠.٠٤١٣+ساعة/يوم/عقد ومعامل تحديد R^2 = ٠.٠٠٥٥، في حين سجلت الدورة المناخية الرابعة أدنى ميل اتجاهي نسبيًا بلغ β = +٠.٠٣٤٦ساعة/يوم/عقد وبمعامل تحديد R^2 = ٠.٠٠٤٧. وتشير القيم المنخفضة لمعامل التحديد (R^2) في جميع الدورات إلى محدودية القدرة التفسيرية للزمن في تفسير التغير الكلي في السطوع الشمسي الفعلي، دون أن ينفي ذلك وجود اتجاه عام ضعيف يعكس حالة من الاستقرار الإشعاعي الزمني خلال مدة الدراسة.[١].

ويُعزى هذا الثبات إلى استقرار الصفاء الجوي النسبي في أشهر الصيف، وانخفاض تواتر العواصف الغبارية مقارنة بالعقود السابقة، مما أدى إلى تحسن محدود في شدة السطوع الفعلي

(١)FAO (2020). *Agro-Ecological Zones Assessment for Rice*. Rome.218.

خلال الدورات الحديثة. وهذا النمط الإشعاعي المنتظم يجعل من محافظة النجف بيئة مثالية لتطبيق نظام SRI، إذ يتجاوز معدل السطوع خلال موسم الزراعة (نيسان–تموز) ١١ ساعة/يوم، وهي القيمة المثلى للنمو الخضري والإزهار والإنتاج الحبيبي للرز.

الاستنتاجات المناخية الزراعية:

١- استقرار إشعاعي طويل الأمد: تُظهر بيانات السطوع الفعلي في محافظتي النجف والقادسية خلال المدة (١٩٨٠–٢٠٢٣) استقرارًا إشعاعيًا واضحًا عبر الدورات المناخية الأربع، إذ لم تسجل القيم أي اتجاه زمني سلبي مؤثر، وهو ما يعكس ثبات الصفاء الجوي النسبي واستقرار الدورة الموسمية للإشعاع الشمسي في الفرات الاوسط. هذا الثبات يُعدّ عاملًا مناخيًا داعمًا لاستدامة الزراعة المعتمدة على الطاقة الشمسية.

٢- الملاءمة الإشعاعية المثلى لنظام:SRI تُعد المدة الممتدة بين أيار وتموز ذروة الإشعاع الشمسي الفعلي بمتوسط يتجاوز ١١ساعة/يوم، وهي القيم المثالية لتحقيق أعلى كفاءة في التمثيل الضوئي لمحاصيل الرز المزروعة بنظام SRI، إذ ترتفع خلالها الإنتاجية بنسبة قد تصل إلى ٢٠-٢٥% مقارنة بالمواسم ذات الإشعاع الأدنى، نظرًا لتوافر الطاقة الضوئية المستمرة.[١]

٣- التكامل المناخي بين النجف والقادسية : يُظهر التشابه الكبير في القيم الفصلية والسنوية للسطوع الفعلي بين المحافظتين وحدةً إشعاعية مناخية متجانسة، ما يتيح تطبيق استراتيجيات زراعية مشتركة ضمن الإقليم المناخي شبه الجاف لالفرات الاوسط. ويؤكد هذا التطابق أن ظروف الإضاءة الشمسية مستقرة ومثالية لتوسيع نطاق تطبيق نظام SRI دون الحاجة إلى تعديلات جوهرية في مواعيد الزراعة أو برامج الري.

تُظهر القيم في الجدول (٢١)والشكل (٢٠) أن محافظة القادسية تسجل أعلى معدلات سطوع فعلي في شهري حزيران وتموز (١١.٥٧–١١.٥٣ساعة/يوم)، مع أدنى القيم في كانون الثاني وكانون الأول (٦.٣٨ساعة/يوم)، وبمعدل سنوي قدره ٨.٨٢ساعة/يوم .ويتضح أن الدورة المناخية الأخيرة شهدت زيادة في السطوع بنسبة ٥.٣ %مقارنة بالدورة الأولى، مما يدل على تحسن إشعاعي زمني واستقرار في صفاء الغلاف الجوي [٢]. ويُظهر الشكل (٢٠) الاتجاه الزمني للسطوع الفعلي في محطة الديوانية خلال المدة (١٩٨٠–٢٠٢٣)، إذ يتضح أن الميل الخطي لجميع الدورات المناخية كان موجبًا ضعيفًا تراوح بين ٠.٠٣٠١+ = βإلى +٠.٠٩٢٣ ساعة/يوم، مع قيم معامل تحديد منخفضة جدًا(٠.٠٢٩٨–٠.٠٠٣١ = R^2) ، ما يشير إلى

(١) مهند عبد الكريم الخفاجي، كفاءة استعمال الإشعاع الشمسي في زيادة إنتاجية المحاصيل الحقلية ضمن نظم الزراعة المكثفة في البيئات الجافة وشبه الجافة، مجلة العلوم الزراعية العراقية، المجلد ٥٢، العدد ٤، ٢٠٢١، ص ٩٨٧–١٠٠٢.

(٢)FAO Argo-Ecological Zones Assessment for Rice. Rome. (2020).

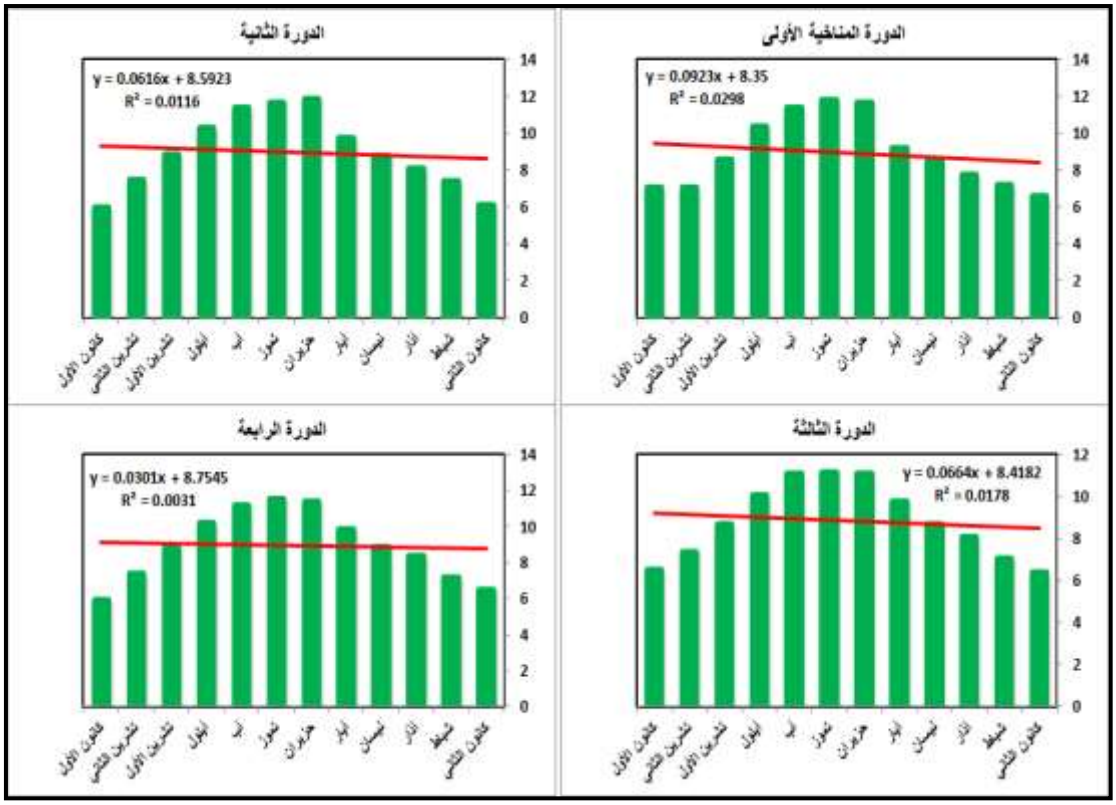
محدودية الدور التفسيري للزمن في تفسير التغيرات الكلية في السطوع الشمسي الفعلي، دون أن ينفي ذلك وجود اتجاه عام ضعيف يعكس بقاء السطوع ضمن مستوى استقرار إشعاعي عام ملائم للنشاط الزراعي في المنطقة[١] .

جدول (٢١): المعدلات الشهرية والسنوية لساعات السطوع الفعلي (ساعة/يوم) في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)

الشهر	الدورة المناخية الأولى	الدورة الثانية	الدورة الثالثة	الدورة الرابعة	المعدل الشهري
كانون الثاني	6.6	6.1	6.4	6.5	6.38
شباط	7.2	7.4	7.1	7.2	7.23
آذار	7.8	8.1	8.1	8.4	8.43
نيسان	8.5	8.8	8.7	8.9	8.73
أيار	9.2	9.8	9.8	9.9	9.93
حزيران	11.7	11.9	11.1	11.4	**11.53**
تموز	11.8	11.7	11.2	11.6	**11.57**
آب	11.4	11.4	11.1	11.2	11.28
أيلول	10.4	10.3	10.1	10.2	10.25
تشرين الأول	8.6	8.9	8.7	8.8	8.75
تشرين الثاني	7.1	7.5	7.4	7.4	7.35
كانون الأول	7.1	6.01	6.5	5.9	6.38
المعدل السنوي	**8.95**	**8.99**	**8.63**	**8.72**	**8.82**

المصدر :- بالاعتماد على الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي في العراق، قسم المناخ (١٩٨٠–٢٠٢٣). بيانات غير منشورة.

(١) Stull, R. B., Practical Meteorology: An Algebra-Based Survey of Atmospheric Science, University of British Columbia, 2017.



شكل (٢٠): الاتجاه الزمني للسطوع الفعلي في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)

المصدر- بالاعتماد على جدول (٢١)

إن هذا الثبات النسبي في الإشعاع الشمسي يعزز إمكانات الاعتماد على نظام تكثيف زراعة الرز (SRI)في البيئتين الزراعيتين للنجف والقادسية ، إذ تتوافر في المدة الممتدة من نيسان إلى تموز أكثر من ١١ساعة ضوء يوميًا، وهي مدة كافية لرفع كفاءة البناء الضوئي وزيادة الإنتاجية. كما أن انتظام السطوع وارتفاعه يُشكلان عاملًا مناخيًا إيجابيًا يتيح للنظام الزراعي الذكي إدارة الضوء والماء بفاعلية لتحقيق إنتاج مرتفع بأقل استهلاك ممكن. وتشير الدراسات التطبيقية إلى أن زيادة السطوع الفعلي إلى أكثر من ١٠ساعات/ يوم ترفع إنتاجية محصول الرز بنسبة ١٥-٢٢ % مقارنة بالزراعة التقليدية، وتسهم في تقليل الإجهاد البيئي للنبات وتحسين نوعية الحبوب وتنظيم مواعيد الري المتناوب ضمن نظام SRI [١]

(١) سيف علي المعموري، كفاءة استعمال الإشعاع الشمسي في الأنظمة الزراعية الذكية، رسالة ماجستير، جامعة بغداد، ٢٠٢٢.

الاستنتاجات المناخية الزراعية

من خلال تحليل بيانات السطوع الفعلي في محافظة **القادسية** خلال المدة (١٩٨٠–٢٠٢٣) يتضح أن:

١- السطوع يتميّز بثبات زمني مع ميل موجب ضعيف وقيم R^2 منخفضة، مما يشير إلى استقرار إشعاعي طويل الأمد يعزز استدامة الطاقة الشمسية الزراعية.

٢- المدة الممتدة من نيسان إلى تموز تمثل المرحلة المثلى لتطبيق نظام SRI لوفرة الإشعاع (١١ساعة/يوم) وزيادة الكفاءة الضوئية للنبات.

٣- سجلت الدورة المناخية الأخيرة تحسنًا إشعاعيًا بنسبة ٥.٣ %مقارنة بالدورة الأولى، مما يدل على تحسن صفاء الغلاف الجوي في الإقليم الزراعي.

٤- انتظام السطوع الفعلي يؤدي إلى زيادة إنتاجية الرز بنسبة ١٥–٢٢ %مقارنة بالزراعة التقليدية نتيجة تحسين التمثيل الضوئي ونوعية الحبوب.

٥- تؤكد النتائج أن الظروف الإشعاعية في النجف والقادسية متشابهة ومثالية لتطبيق نظم الزراعة الذكية المناخية التي توظف الإشعاع الشمسي في تعزيز الإنتاج الزراعي [١] .

٣-١-٤- الإشعاع الشمسي الكلي

يُعدّ الإشعاع الشمسي الكلي من أهم عناصر المناخ المؤثرة في توازن الطاقة الأرضية، إذ يمثل مجموع الإشعاع المباشر القادم من قرص الشمس والإشعاع المنتشر الناتج عن تشتت الفوتونات في الغلاف الجوي[٢]. ويُعد هذا العنصر المناخي الركيزة الأساسية التي تُبنى عليها الحسابات الزراعية والمناخية، إذ تعتمد عليه النماذج الفيزيولوجية في تحديد الطاقة الحرارية المتاحة للنبات وللتربة، كما يُسهم مباشرة في تحديد معدلات البناء الضوئي والنمو والتكاثر [٣]. ويتأثر الإشعاع الكلي بعوامل جوية متعددة، مثل كمية الغبار والرطوبة النسبية ودرجة صفاء الجو، فضلًا عن زاوية ارتفاع الشمس عن الأفق، مما يجعله عاملًا محددًا في كفاءة الإنتاج الزراعي،

(١) FAO, Agro-Ecological Zones Assessment for Rice, Rome, 2020.

(٢) Li, D., Zhang, Y., & Zhao, W. (2021). *Long-term trends of solar radiation and its impacts on agricultural productivity in arid regions of Asia*. **Agricultural and Forest Meteorology**,

(٣) Al-Ali, A. H. (2019). *Climate variability and solar energy potential in Iraq: a regional assessment*. **Arabian Journal of Geosciences**, 12(18), 556.

ولا سيما في البيئات شبه الجافة كمنطقة وسط وجنوب العراق [١]وتبرز أهمية دراسة الإشعاع الشمسي الكلي في علاقته بنظام تكثيف زراعة الرز(SRI) ، الذي يعتمد بصورة مباشرة على انتظام الطاقة الشمسية لتعزيز النمو الجذري والورقي للنبات، إذ تشير الدراسات التطبيقية إلى أن زيادة الإشعاع الفعّال خلال المراحل الحساسة كالتفريع والإزهار تُحسن الكفاءة الضوئية وتزيد امتصاص العناصر الغذائية والمياه بنسبة تصل إلى ٢٠٪مقارنة بالزراعة التقليدية .[٢] يتضح من الجدول (٢٢) والشكل (٢١) أن أعلى معدلات الإشعاع الكلي في محافظة النجف سُجلت في شهري حزيران وتموز بمتوسط ٦٣٤ملّي واط/سم²/يوم، بينما انخفضت القيم إلى ٢٥٧ملّي واط/سم²/يوم في شهري كانون الأول وكانون الثاني .ويُعزى هذا التباين الموسمي إلى تغير زاوية سقوط الإشعاع مع الفصول، إذ تتعامد أشعة الشمس تقريبًا على مدار السرطان صيفًا، وتنخفض في الشتاء فتقل كمية الطاقة الواصلة إلى سطح الأرض [٣] أما الاتجاه الزمني الموضح في الشكل (٢١) فيبيّن أن الميل الخطي العام للإشعاع الكلي عبر الدورات المناخية الأربع كان سالبًا ضعيفًا تراوح بين $\beta = -3.02$ و-5.5 ملّي واط/سم²/سنة، مع قيم معامل تحديد منخفضة جدًا($R^2 = 0.0067$–0.018) ، مما يشير إلى أن الانخفاض الزمني في الإشعاع الشمسي طفيف وغير معنوي إحصائيًا. ويُستنتج من ذلك أن الإشعاع الكلي في محافظة النجف اتسم بـ ثبات إشعاعي طويل الأمد على مدى أكثر من أربعة عقود، مما يعزز إمكانية الاعتماد على الطاقة الشمسية في دعم الأنظمة الزراعية الذكية المستدامة. كما تُظهر بيانات الجدول (٢٢) أن المعدل السنوي للإشعاع الكلي تراوح بين ٤٦٣.٦ملّي واط/سم²/يوم في الدورة الأولى و ٤٥٤.٧ ملّي واط/سم²/يوم في الدورة الرابعة، أي بانخفاض قدره نحو ١.٩٪فقط، وهو تراجع طفيف لا يؤثر على التوازن الإشعاعي الزراعي العام. ويُعد هذا الثبات النسبي عاملاً مشجعًا على تطبيق نظام SRI الذي يستفيد من انتظام الإشعاع في تحقيق كفاءة أعلى لاستعمال الضوء والمياه معًا،

(١) جعفر عبد الرسول، *تحليل الإشعاع الشمسي وعلاقته بالإنتاج الزراعي في وسط العراق*، مجلة البحوث الجغرافية، جامعة بغداد، ٢٠٢٠.

(٢) Chandrasekaran, B., & Annadurai, K. (٢٠٢٠). *The System of Rice Intensification (SRI): Concepts and Practices*. **World Scientific Publishing**, Singapore.

(٣) حسين علي الساعدي، *العلاقة بين العناصر الإشعاعية والتبخرية في محافظة النجف وتأثيرها في الإنتاج الزراعي*، مجلة العلوم التطبيقية، جامعة الكوفة، ٢٠٢١.

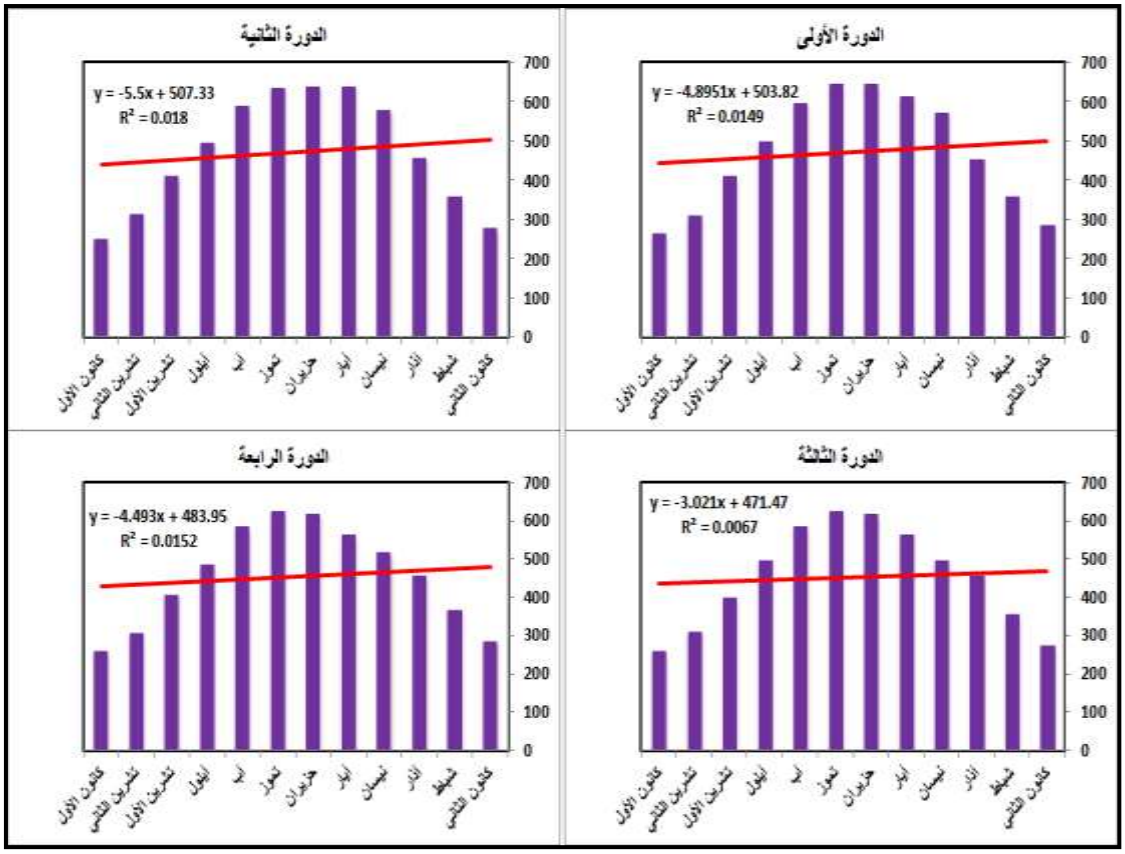
بما ينعكس إيجابًا على الإنتاجية الزراعية وتقليل الأثر الحراري السلبي [١]

جدول (٢٢): المعدلات الشهرية والسنوية للإشعاع الكلي المحسوب (ملّي واط/سم²/يوم) في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)

الشهر	الدورة الأولى	الدورة الثانية	الدورة الثالثة	الدورة الرابعة	المعدل الشهري
كانون الثاني	284	277	270	283	278
شباط	361	358	353	366	360
آذار	454	457	455	455	455
نيسان	574	580	494	515	541
أيار	615	642	564	563	571
حزيران	646	642	616	617	631
تموز	647	638	626	625	634
آب	598	591	585	583	589
أيلول	500	498	496	485	494
تشرين الأول	411	411	398	405	406
تشرين الثاني	310	315	308	303	309
كانون الأول	264	250	257	257	257
المعدل السنوي	463.617	460.933	451.417	454.758	457.681

المصدر :- بالاعتماد على الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي في العراق، قسم المناخ (١٩٨٠–٢٠٢٣). بيانات غير منشورة.

(١) Li, D., Zhang, Y., & Zhao, W. (2021). *Long-term trends of solar radiation and its impacts on agricultural productivity in arid regions of Asia*. **Agricultural and Forest Meteorology**, 307, 108517. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108517



الشكل (٢١)الاتجاه الزمني للمعدلات الشهرية والسنوية للإشعاع الكلي المحسوب في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)

المصدر- بالاعتماد على جدول (٢٢)

تُظهر البيانات الواردة في الجدول (٢٣) والشكل (٢٢) أن محافظة القادسية تمتلك خصائص إشعاعية قريبة جدًا من محافظة النجف، إذ بلغ المعدل السنوي العام للإشعاع الكلي نحو ٤٦٠.٤٤ ملّي واط/سم²/يوم .وقد سُجلت أعلى القيم في شهري أيار وتموز (٦٣٧ملّي واط/سم²/يوم)، وأدناها في كانون الثاني (٢٦٥ملّي واط/سم²/يوم)، وهو ما يعكس النمط الموسمي المعتاد للمناخ شبه الجاف الذي يتميز بارتفاع الإشعاع في الصيف وانخفاضه في الشتاء تبعًا لتغير زاوية سقوط الشمس وكمية الغبار والرطوبة في الجو ويُلاحظ أن الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠١) شهدت أعلى متوسط سنوي للإشعاع بلغ ٤٦٦.٤ ملّي واط/سم²/يوم، تلتها الدورة الأولى

(١٩٨٠–١٩٩٠) بمعدل٤٦٤.٢ملّي واط/سم²/يوم، مما يعكس صفاءً إشعاعيًا أعلى خلال

التسعينيات مقارنة بالعقود اللاحقة التي تأثرت بازدياد تواتر العواصف الغبارية وارتفاع نسب الرطوبة الجوية، وهو ما ساهم في تقليل كمية الإشعاع المباشر الواصلة إلى السطح [١]

ويُظهر الاتجاه الزمني في الشكل (٢٢) أن الميل الخطي العام للإشعاع الكلي في محطة الديوانية كان سالبًا ضعيفًا، تراوح بين $\beta = -٤.٤٣$ إلى -٥.٩٥ ملّي واط/سم²/سنة، في حين تراوحت قيم معامل التحديد (R^2) بين ٠.٠١١٩ و٠.٠٢، ما يشير إلى أن التغيّر الزمني في الإشعاع الكلي محدود جدًا وغير معنوي إحصائيًا. ويدل هذا على استقرار إشعاعي شبه تام خلال المدة (١٩٨٠–٢٠٢٣)، وأن الانخفاض المسجل لا يتجاوز ٢٪ في أربعة عقود، وهو تراجع طبيعي ضمن الحدود الزراعية المثلى [٢].

إن انتظام الإشعاع الكلي في محافظتي النجف والقادسية يوفّر قاعدة طاقية مستقرة تدعم نجاح نظام تكثيف زراعة الرز(SRI) ، إذ يتراوح المعدل السنوي بين (٤٥٤–٤٦٦ ملّي واط/سم²/يوم)، وهو مستوى مناسب لتعزيز عمليات البناء الضوئي والإنتاج الحيوي للنبات. كما يسهم هذا الاستقرار الإشعاعي في رفع كفاءة استخدام الماء والطاقة داخل النظام الزراعي، من خلال تحقيق توازن حراري ملائم للتربة والمياه وتقليل مستويات الإجهاد الحراري للنباتات.

كما يساعد هذا الانتظام في تقليل التذبذب في معدلات النمو بين مراحل الموسم الزراعي المختلفة.

ويؤدي إلى تحسين كفاءة التمثيل الضوئي واستقرار إنتاج المادة الجافة في النبات. كما يسهم في دعم التوازن بين العمليات الحيوية للنبات وتقليل تأثير الظروف المناخية المتطرفة. ويعزز ذلك من كفاءة استجابة المحصول لبرامج الري والتسميد ضمن نظام.(SRI)

وتؤكد هذه المعطيات أن الاستقرار الإشعاعي يمثل عنصرًا أساسيًا في تحقيق إنتاجية مستقرة ومستدامة لمحصول الرز. [٣].

جدول (٢٣): المعدلات الشهرية والسنوية للإشعاع الكلي المحسوب (ملّي واط/سم²/يوم) في

(١) Hussein, T. A., & Abed, A. M. (2021). *Dust storms and solar radiation attenuation over Mesopotamia*. **Atmospheric Environment**, 262, 118613.

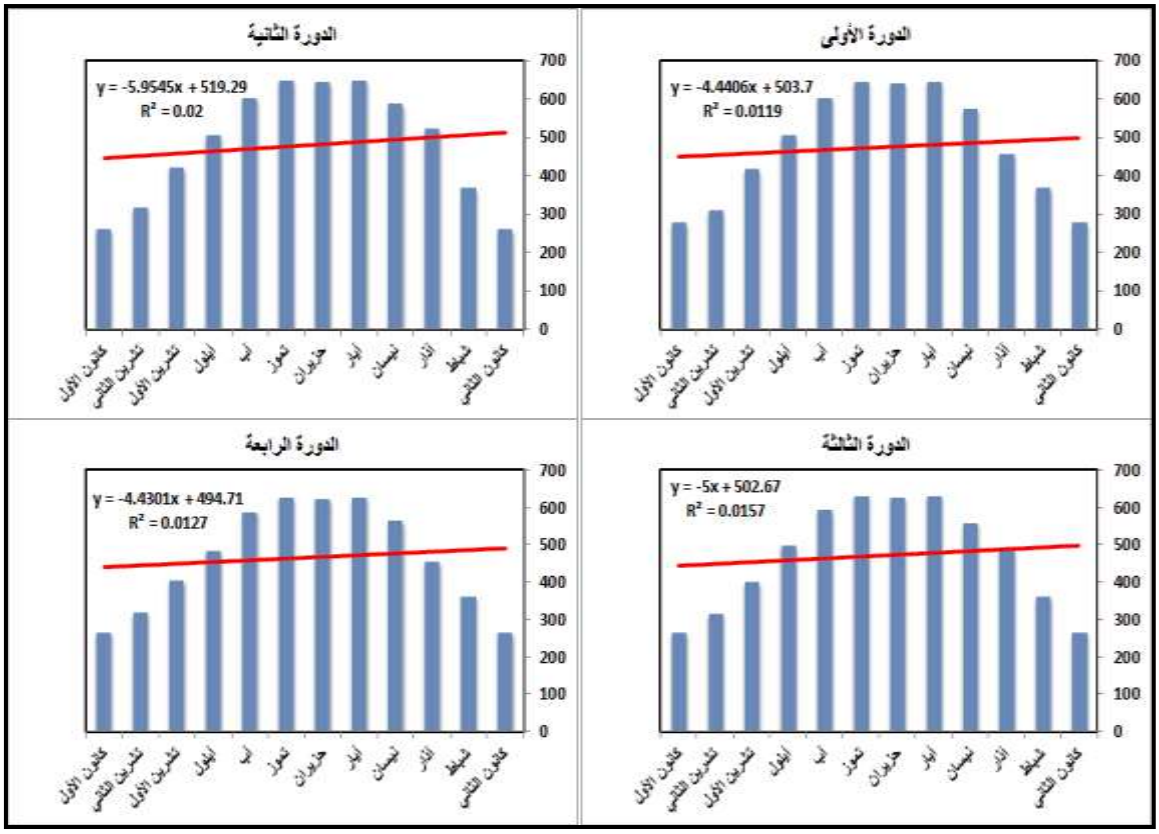
(٢) الحيدري، علي عبد الزهرة .تحليل الإشعاع الشمسي وعلاقته بالتغير المناخي في العراق .*مجلة جامعة بابل للعلوم الإنسانية*، ٢٠٢٠ .

(٣) Sander, J., & Uphoff, N. (2021). SRI and climate-smart agriculture: optimizing solar energy use in paddy systems. ***Sustainability****, 13(7), 3814.*

محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)

الشهر	الدورة الأولى	الدورة الثانية	الدورة الثالثة	الدورة الرابعة	المعدل الشهري
كانون الثاني	274	258	264	265	265
شباط	365	365	361	362	363
آذار	454	520	488	455	479
نيسان	572	587	560	565	571
أيار	645	648	633	629	637
حزيران	642	643	629	624	635
تموز	645	648	633	629	637
آب	603	602	594	590	597
أيلول	503	503	499	485	497
تشرين الأول	414	420	401	405	410
تشرين الثاني	307	315	315	317	313
كانون الأول	274	258	265	265	265
المعدل السنوي	464.258	466.417	456.833	454.258	460.442

المصدر :- بالاعتماد على الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي في العراق، قسم المناخ (١٩٨٠–٢٠٢٣). بيانات غير منشورة.



الشكل (٢٢): الاتجاه الزمني للمعدلات الشهرية والسنوية للإشعاع الكلي في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)

المصدر- بالاعتماد على جدول (٢٣)

٣-٢- خصائص درجة الحرارة

٣-٢-١- خصائص درجة الحرارة الصغرى ومتطلبات SRI

تُعدّ درجة الحرارة الصغرى من العناصر المناخية الحاسمة في تحديد الحدود الدنيا لنشاط العمليات الحيوية للنبات، إذ تمثل مقدار الطاقة الحرارية المتاحة أثناء الليل، وتؤثر مباشرة في معدلات التنفس، والتوازن الحراري للنبات، والنمو الجذري، وتكوين الحبوب [١]. وفي البيئات شبه الجافة كمنطقتي النجف والقادسية ، تنخفض درجات الحرارة الصغرى شتاءً إلى أقل من ٦٥°م، بينما ترتفع صيفًا لتتجاوز **٢٧٥°م**، مما يجعلها من أهم المحددات لمواعيد الزراعة

(١) Basu, S., & Zhang, X. (2022). *Nighttime warming and agricultural productivity under climate change*. **Environmental Research Letters**, 17(6), 064023.

ومراحل الإنبات والنضج [١]. ويُعد فهم تباينها الزمني والمكاني ضرورة لتحديد المدد المثلى لزراعة الرز في ظل التغير المناخي المتسارع.

٣-٢-٢- خصائص المعدلات الشهرية والسنوية لدرجات الحرارة الصغرى

يُظهر الجدول (٢٤)والشكل (٢٣) أن المعدل السنوي لدرجات الحرارة الصغرى في محافظة النجف ارتفع من ١٧.١٦°م في الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠) إلى ١٨.٤٤°م في الدورة الرابعة (٢٠١٣–٢٠٢٣)، بزيادة مقدارها نحو ١.٣°م خلال أربعة عقود. وقد بلغت أعلى القيم الشهرية في تموز وآب (٢٩.٥–٢٩.٩°م)، وأدناها في كانون الثاني (٥.٥°م)، أي بفارق حراري شهري يقارب ٢٤°م .ويعكس هذا التباين الموسمي وضوح التأثير الشمسي والحراري في الإقليم شبه الجاف [٢]

أما الاتجاه الزمني الموضح في الشكل (٧)، فيبيّن وجود ميل موجب طفيف تراوح بين $\beta =$ ٠.٥٣+إلى +٠.٦٠°م/عقد، مع قيم معامل تحديد($R^2 =$ ٠.٠٤٩–٠.٠٦٥) ، ما يدل على ارتفاع تدريجي في درجات الحرارة الصغرى بمعدل ٠.٠٦°–٠.٠٥م سنويًا، وهو ما يتسق مع ظاهرة الاحترار الليأتي الناتجة عن ازدياد تراكم الغازات الدفيئة في الغلاف الجوي [٣]. ويشير هذا الارتفاع إلى تحسن الظروف الحرارية الليأتية مقارنة بعقود الثمانينيات، إذ أصبحت معدلات الحرارة الصغرى أكثر استقرارًا وأقل عرضة لانخفاضات حادة كانت تُسبب الصقيع الليأتي سابقًا. ويُظهر التحليل أيضًا أن استقرار الحرارة الصغرى ضمن المدى (٢٥°–٢٠م) خلال مرحلتي الإزهار والنضج يُعد مثاليًا لنظام تكثيف زراعة الرز(SRI) ، لأنه يحدّ من الإجهاد الحراري الليأتي ويُحسّن كفاءة التنفس والنشاط الأنزيمي في النبات، مما يؤدي إلى زيادة معدل امتلاء الحبوب وتحسين نوعية الإنتاج [٤]

---

(١) حسين كاظم الجبوري .تحليل المناخ الحراري وأثره في الإنتاج الزراعي في وسط العراق ،*مجلة البحوث الجغرافية، جامعة بغداد*، ٢٠٢١ .

(٢) Al-Khalidy, H., & Salman, R. (2020). *Climatic variability and thermal behavior of Iraqi central plains*. **Arabian Journal of Geosciences**, 13(10), 423.

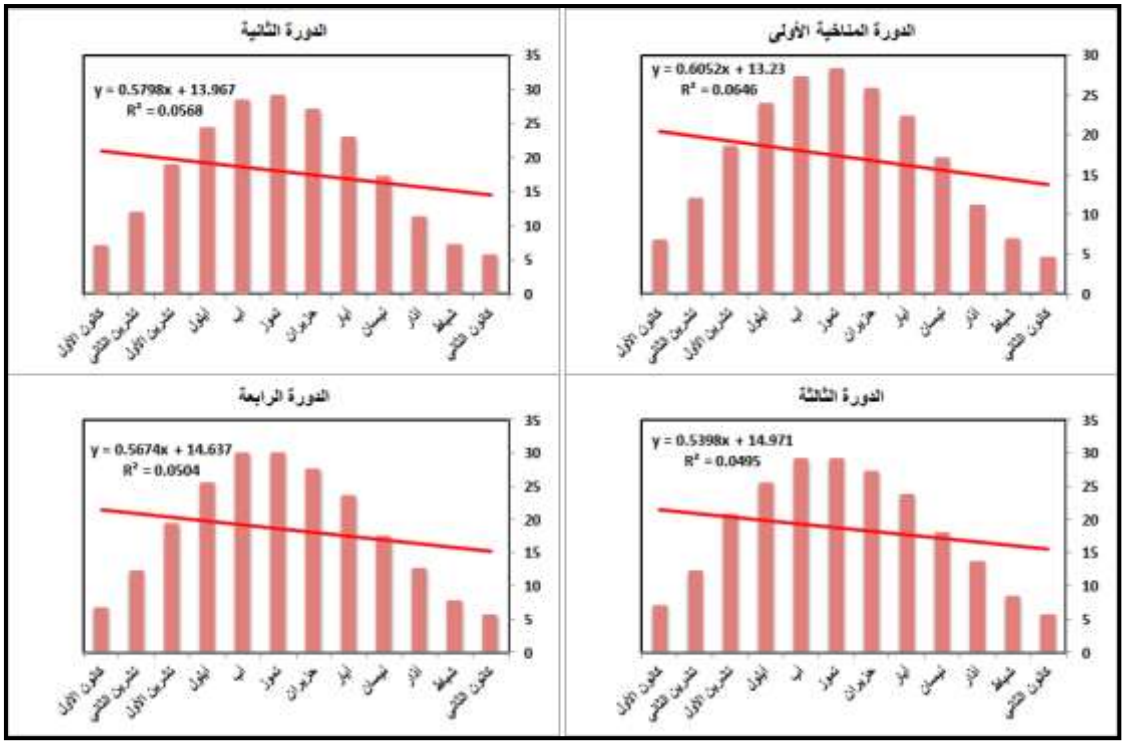
(٣) IPCC (2023). *Climate Change* 2023*: The Physical Science Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.

(٤) Pathak, H., & Wassmann, R. (2020). *Rice production and climate change: Implications for system of rice intensification (SRI)*. **Agricultural Systems**, 178, 102759.

جدول (٢٤): المعدلات الشهرية والسنوية لدرجات الحرارة الصغرى (°م) في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)

الشهر	الدورة المناخية الأولى	الدورة المناخية الثانية	الدورة المناخية الثالثة	الدورة المناخية الرابعة	المعدل الشهري
كانون الثاني	4.75	5.84	5.79	5.77	5.54
شباط	6.98	7.29	8.52	7.89	7.54
آذار	11.21	11.47	13.80	12.74	12.31
نيسان	17.19	17.34	18.08	17.54	17.72
أيار	22.45	23.09	23.80	23.65	23.23
حزيران	25.90	27.15	27.41	27.72	27.05
تموز	28.38	29.16	29.23	30.09	29.52
آب	27.44	28.59	29.19	30.06	28.92
أيلول	24.08	24.51	25.55	25.67	25.10
تشرين الأول	18.60	19.10	20.90	19.53	19.53
تشرين الثاني	12.18	12.14	12.29	12.38	12.25
كانون الأول	6.81	7.15	7.19	6.87	7.16
المعدل السنوي	17.16	17.75	18.46	18.44	17.95

المصدر :- بالاعتماد على الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي في العراق (١٩٨٠–٢٠٢٣). بيانات مناخية غير منشورة.



الشكل (٢٣): الاتجاه الزمني لدرجات الحرارة الصغرى في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)

المصدر- بالاعتماد على جدول (٢٤)

يُظهر الجدول(٢٥) والشكل (٢٤) القيم إلى أن درجة الحرارة الصغرى في القادسية ارتفعت بوضوح من ١٦.٧٦م في الدورة الأولى إلى ١٩.٠٤م في الدورة الرابعة، أي بزيادة مقدارها ٢.٢٨م خلال ٤٣ عامًا. ويُلاحظ أن الزيادة أكثر وضوحًا في أشهر الصيف (حزيران–آب)، مما يعكس تغيرًا في التوازن الحراري الليأتي وتناقص التبريد الإشعاعي الليأتي بسبب تراكم بخار الماء والغبار في طبقات الجو الدنيا [١].

أما أدنى القيم فسُجلت في كانون الثاني (٦.١م)، وأعلاها في تموز وآب (٢٨–٣٠م)، ما يُظهر نمطًا حراريًا ليأتيا متصاعدًا يعزز من ظاهرة الليالي الدافئة التي أصبحت أكثر تكرارًا في السنوات الأخيرة [٢].

تُظهر القيم الواردة في الجدول (٢٥) والشكل (٢٤) أن محافظة القادسية شهدت ارتفاعًا تدريجيًا في درجات الحرارة الصغرى خلال العقود الأربعة الماضية، إذ ازداد المعدل السنوي من

(١)Ahmed, M. & Omer, R. "Nocturnal Warming and Crop Responses in Arid Regions." Theoretical and Applied Climatology, (2022).pp.147, 1225–1238.

(٢)WMO. State of the Climate in Asia Report. Geneva. (2022).

١٦.٧٦°م في الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠) إلى ١٩.٠٤°م في الدورة الرابعة (٢٠١٣–٢٠٢٣)، أي بزيادة مقدارها ٢.٢٨°م خلال مدة الدراسة. ويُلاحظ أن الارتفاع كان أكثر وضوحًا في أشهر الصيف (حزيران–آب) حيث تراوحت القيم بين ٣٠.٢°–٢٦.٥م، في حين سُجلت أدنى القيم في كانون الثاني (٦.١°م)، مما يعكس نمطًا حراريًا ليأتيا متصاعدًا يعبر عن تغير في التوازن الإشعاعي الليأتي بسبب زيادة الرطوبة الجوية وتراكم الغبار وبخار الماء في طبقات الجو السطحية، وهو ما يحدّ من فقدان الحرارة أثناء الليل [١]

تشير النتائج الإحصائية الموضحة في الشكل (٢٤) إلى وجود ميل موجب في درجات الحرارة الصغرى تراوح بين +٠.٥٠٥٩ = β إلى +٠.٥٩٣٧°م/عقد، مع قيم معامل تحديد (R^2 = ٠.٠٦٦٦–٠.٠٤٣٧)، ما يدل على أن الارتفاع الزمني طفيف لكنه منتظم ومستمر عبر المدة الزمنية المدروسة. ويعني ذلك أن القادسية تشهد ظاهرة الاحترار الليأتي التدريجي المشابهة لما رُصد في مدن العراق الأخرى ضمن نطاق الفرات الأوسط [٢]ويُعد هذا الاتجاه دليلاً على تغيّر مناخي طويل الأمد يتسم بزيادة حرارة الليل، وهي سمة ترتبط بازدياد تركيز الغازات الدفيئة (CH_4) (CO_2) وارتفاع رطوبة الطبقات السفلية من الغلاف الجوي، إضافة إلى التوسع العمراني الذي يساهم في احتباس الحرارة ضمن ما يُعرف بـ"الجزيرة الحرارية الحضرية" [٣]

تُظهر القيم الشهرية في الجدول (٢٥) أن معدل التباين بين أبرد وأدفأ الأشهر يبلغ نحو ٢٢°م، حيث سجلت شهور تموز وآب أعلى الدرجات (٢٨–٣٠°م)، بينما انخفضت في كانون الثاني وشباط إلى أقل من ٧°م .ويدل هذا الاتساع الحراري على أن الإقليم ما يزال يحتفظ بالسمات شبه الجافة، إلا أن ارتفاع الحرارة الدنيا يشير إلى انخفاض فعالية التبريد الليأتي التي كانت سائدة في العقود السابقة [٤]

من منظور زراعي، يُمثل استقرار درجات الحرارة الصغرى ضمن المدى(٢٥°–٢٠)م خلال

---

(١) Al-Timimi, Y. M., & Al-Jiboori, M. H. (2022). *Nighttime temperature trends and urban heat island effects in central Iraq*. **Theoretical and Applied Climatology**, 150(3–4), 987–1002.

(٢)حسين عباس عبد النبي .*التغيرات الحرارية في مناطق الفرات الأوسط وأثرها على الأنشطة الزراعية* . جامعة القادسية، كلية التربية، ٢٠٢١.

(٣) Hansen, J., Sato, M., & Ruedy, R. (2023). *Global temperature trends and regional night-time warming patterns*. **Nature Climate Change**, 13(2), 117–126.

(٤)*نوال حميد الأسدي* .تحليل الاتجاهات الحرارية في العراق وأثرها في الظواهر المناخية المتطرفة .*مجلة الجغرافية، جامعة الكوفة*، ٢٠٢٠ .

مراحل النمو الخضري والإزهار في نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) عاملًا مساعدًا على رفع الكفاءة الفسيولوجية للنبات. فالليالي الدافئة تُنشط العمليات الحيوية داخل خلايا النبات، وتزيد من كفاءة امتصاص النيتروجين والعناصر الكبرى، مما يرفع الإنتاجية بنسبة قد تصل إلى ١٥٪ مقارنة بالزراعة التقليدية. إلا أن تجاوز الحرارة الليأتية ٢٧°م في مرحلة الإزهار يؤدي إلى انخفاض نسبة الإخصاب وضعف امتلاء الحبوب، ما يستدعي إدارة دقيقة للري والتهوية خلال شهري تموز وآب لتخفيف الإجهاد الحراري وضمان استقرار النمو [١]

الاستنتاج الزراعي–المناخي

تُظهر الزيادة الطفيفة والمستمرة في درجات الحرارة الصغرى بمحافظة القادسية ملامح تحوّل مناخي تدريجي يسهم في تحسين الظروف الحرارية الليلية للنباتات، ولا سيّما لمحصول الرز المزروع وفق نظام(SRI) ، إذ تسهم الليالي الدافئة في تعزيز كفاءة العمليات الحيوية وزيادة النشاط الفسيولوجي للنبات. ومع ذلك، فإن استمرار ارتفاع درجات الحرارة خلال ذروة الموسم يستلزم ضبطًا دقيقًا لإدارة الري ومستويات الرطوبة لتفادي الإجهاد الحراري وضمان استقرار النمو والإنتاج ضمن نطاق حراري متوازن.

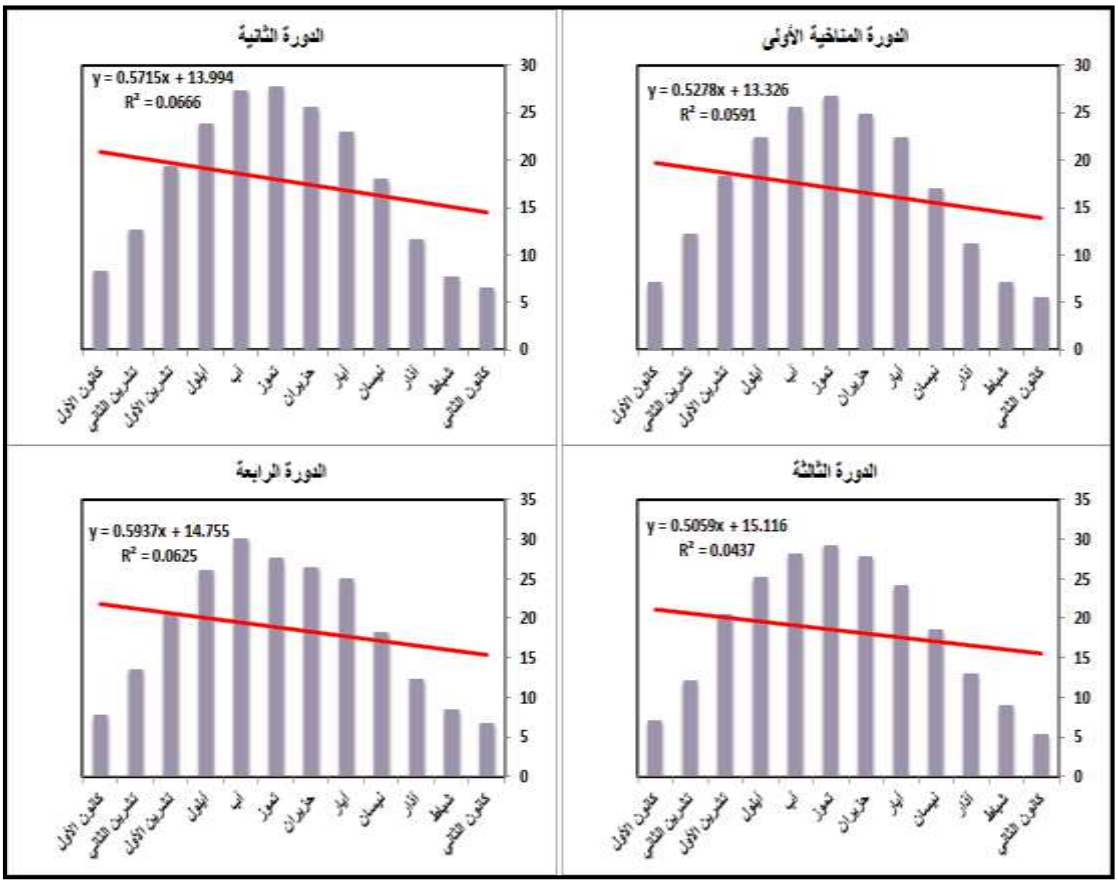
كما أن ارتفاع درجات الحرارة الليلية يقلل من الفروقات الحرارية اليومية، مما يسهم في استقرار البيئة المناخية المحيطة بالنبات. ويؤدي ذلك إلى تحسين كفاءة التمثيل الضوئي غير المباشر من خلال دعم العمليات الحيوية خلال الليل. كما يساعد هذا النمط الحراري في تسريع بعض مراحل النمو، مما يتطلب تنظيمًا دقيقًا لمواعيد الزراعة. وتبرز أهمية التوازن بين الحرارة والرطوبة لتفادي زيادة معدلات التنفس النباتي على حساب الإنتاج. كما أن التحكم في الري يسهم في تقليل فقد المياه والحفاظ على رطوبة التربة ضمن الحدود المثلى. وتسهم هذه الظروف في تحسين كفاءة امتصاص العناصر الغذائية عند إدارة التربة بصورة مناسبة. كما يعزز نظام (SRI) من قدرة النبات على التكيف مع التغيرات الحرارية من خلال تحسين بنية الجذور. وتؤكد هذه المعطيات ضرورة التكامل بين الإدارة المناخية والزراعية لتحقيق أفضل استجابة إنتاجية. كما يبرز دور التكيف المناخي في دعم استدامة زراعة الرز ضمن البيئات شبه الجافة.

(١) Zhao, C., Liu, B., & Asseng, S. (2022). *Impact of nighttime warming on rice yields and adaptation strategies under SRI management*. **Agricultural and Forest Meteorology**, 314, 108842.

جدول (٢٥): المعدلات الشهرية والسنوية لدرجات الحرارة الصغرى (°م) في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)

الشهر	الدورة المناخية الأولى	الدورة الثانية	الدورة الثالثة	الدورة الرابعة	المعدل الشهري
كانون الثاني	5.59	6.55	5.42	6.78	6.11
شباط	7.10	7.75	9.06	8.45	8.09
آذار	11.27	11.73	13.14	12.35	12.63
نيسان	17.12	18.03	18.71	18.35	18.55
أيار	22.47	23.08	24.15	25.04	23.94
حزيران	24.92	25.66	27.87	26.54	26.52
تموز	26.84	27.84	29.25	27.64	28.66
آب	25.57	27.41	28.20	30.20	27.85
أيلول	22.43	23.94	25.22	26.16	24.45
تشرين الأول	18.37	19.37	20.54	20.51	19.69
تشرين الثاني	12.26	12.75	12.16	13.59	12.69
كانون الأول	7.14	8.39	7.14	7.76	7.61
المعدل السنوي	**16.76**	**17.71**	**18.36**	**19.04**	**17.97**

المصدر :- بالاعتماد على الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي في العراق (١٩٨٠–٢٠٢٣). بيانات مناخية غير منشورة



الشكل (٢٤): الاتجاه الزمني لدرجات الحرارة الصغرى في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)

المصدر- بالاعتماد على جدول (٢٥)

٣-٢-٣خصائص الحرارة العظمى ومتطلبات (SRI)

تُعد درجة الحرارة العظمى من العناصر المناخية الأساسية التي تُحدّد الحد الأعلى للنشاط الحراري اليومي، وهي تمثل أعلى درجة حرارة تسجلها المحطة خلال اليوم. وتكمن أهميتها في كونها تؤثر مباشرة على عمليات البخر–النتح، والنمو الخضري للنبات، ومراحل الإزهار والإثمار .[1] وفي مناطق المناخ الجاف وشبه الجاف مثل محافظتي النجف والقادسية ، تكون درجات الحرارة العظمى عاملاً حاسمًا في تحديد مواعيد الزراعة، وفترات الري، ومدى تكيف النباتات مع الإجهاد الحراري .كما أن الارتفاع المستمر في هذه الدرجات خلال العقود الأخيرة

(١) منى عبد الكريم العزاوي، العلاقة بين التغيرات المناخية والإنتاج الزراعي في وسط العراق، جامعة الكوفة. ٢٠٢١.

يعكس بشكل واضح أثر التغير المناخي المحلي والإقليمي [١]. ومن منظور نظام تكثيف زراعة الرز(SRI) ، فإن درجات الحرارة العظمى تُعد مؤشرًا بيئيًا حساسًا يؤثر في كفاءة النظام، إذ إن تجاوزها للحدود المثلى (٣٣–٣٥ م°) خلال مدة الإزهار يؤدي إلى انخفاض في نسبة الإخصاب، بينما بقاؤها ضمن المدى (٢٨–٣٢ م°) يُحقق أقصى كفاءة فسيولوجية للنبات [٢].

يتضح من الجدول (٢٦) والشكل (٢٥) أن محافظة النجف شهدت ارتفاعًا حراريًا تدريجيًا في درجات الحرارة العظمى خلال المدة (١٩٨٠–٢٠٢٣)، إذ بلغ المعدل السنوي في الدورة المناخية الأولى ٣٠.٥٦°م، وارتفع في الدورة الرابعة إلى ٣١.٤٨°م، أي بزيادة مقدارها ٠.٩٢°م خلال أربعة عقود من التحليل الزمني. ويُلاحظ أن أشهر حزيران وتموز وآب تمثل ذروة النشاط الحراري في المنطقة، حيث تراوحت المعدلات الشهرية فيها بين ٤٢.٤٥°م في حزيران و٤٤.٦٤°م في تموز و٤٤.١٥°م في آب، وهي أعلى القيم المسجلة في السجل المناخي لمحافظة النجف. في المقابل، سُجلت أدنى القيم الحرارية خلال شهري كانون الثاني وشباط بحدود ١٦.٥٧–١٩.٦٥°م، وهو ما يعكس مدى حراريًا سنويًا واسعًا يبلغ ٢٨°م تقريبًا بين أدنى وأعلى الأشهر، الأمر الذي يؤكد الطبيعة القارية الجافة لمناخ النجف، إذ تسود حرارة صيفية مرتفعة وبرودة شتوية نسبية ناتجة عن ضعف الرطوبة الجوية وشدة الإشعاع الشمسي [٣]

وتُظهر البيانات الزمنية في الجدول أن الدورة الثالثة (٢٠١٢–٢٠٠٢)سجلت أعلى ارتفاع في درجات الحرارة العظمى بمتوسط ٣٢.٤٦°م، مقارنة ببقية الدورات المناخية، وهي مدة ارتبطت بازدياد الجفاف وشدة التبخر نتيجة ارتفاع معدلات الإشعاع الشمسي في الفرات الاوسط. أما الدورة الرابعة (٢٠١٣–٢٠٢٣)، فقد تميزت باستقرار نسبي في المعدلات العليا عند ٣١.٤٨°م، مما يُعزى جزئيًا إلى تحسن محدود في إدارة المياه والري وزيادة الرقعة الخضراء داخل المدينة من خلال مشاريع التشجير المحلية الصغيرة [٤]

ويُوضح الشكل (٢٥) الاتجاه الخطي العام لدرجات الحرارة العظمى السنوية في النجف، حيث

---

(١)Al-Jaberi, H. & Salman, F. “Thermal Behavior and Climate Variability in Central Iraq.” Iraqi Journal of Science, (2020). pp. 61(9), 2209–2223.

(٢)FAO. Agro-Climatic Conditions for Rice Cultivation. Rome. (2020).

(٣) الحلفي، محمد جبار (٢٠٢١) .التحليل المناخي للعناصر الحرارية في وسط وجنوب العراق .بغداد: دار الرافدين للنشر، ص ٥٥–٥٧.

(٤) Al-Bayati, A. H., & Al-Taie, M. (2022). *Climatic Variability and Thermal Trends in Iraqi Central Plains*. Basrah University Press, p. 88–91.

يظهر ميل موجب مقداره +٠.٦٣ = βإلى +٠.٧٤°م/عقد، مع قيم معامل تحديد R^2 تراوحت بين ٠.٠٤٦٦–٠.٠٦٥٨، ما يشير إلى ارتفاع تدريجي مستمر في القيم القصوى اليومية وإن كان بمعدل ضعيف إحصائيًا، إلا أنه يمثل اتجاهاً حرارياً ثابتاً على المدى الطويل. وتشير هذه النتائج إلى أن محافظة النجف دخلت مرحلة احترار موسمي واضح، خصوصًا في فترات الصيف التي تجاوزت فيها درجات الحرارة العظمى حاجز ٤٦°–٤٥م في بعض السنوات الأخيرة [١]

ويمثل هذا الارتفاع الحراري أحد العوامل التقييدية للزراعة الصيفية التقليدية، وخاصةً لمحصول الرز الذي يحتاج إلى نطاق حراري مثالي يتراوح بين ٣٥°–٣٠م في مراحل الإزهار والنضج. وهنا تبرز أهمية نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) بوصفه نظامًا زراعيًا تكيفيًا يعتمد على الري المتناوب وتحسين تهوية التربة وتقليل الإجهاد الحراري للنبات. إذ تساعد إدارة المياه بنمط الجفاف الجزئي على خفض حرارة التربة السطحية وتوفير ظروف أكثر استقرارًا لجذور النبات، مما يعزز كفاءة التمثيل الضوئي والنمو الخضري رغم ارتفاع الحرارة الجوية [٢]

الاستنتاج الزراعي–المناخي

يشير الاتجاه التصاعدي لدرجات الحرارة العظمى في محافظة النجف خلال المدة (١٩٨٠–٢٠٢٣) إلى تحوّل حراري متواصل يعكس تزايد شدة الظروف المناخية الحارة، الأمر الذي يفرض تحديات متنامية أمام زراعة المحاصيل الصيفية، ولا سيما المحاصيل الحساسة لدرجات الحرارة المرتفعة. ومع ذلك، يمكن التكيف مع هذا التحول من خلال اعتماد نظام تكثيف زراعة الرز(SRI) ، الذي يسهم في تحقيق توازن بين الحرارة الجوية وإدارة المياه وتحسين التهوية الجذرية، مما يقلل من حدة الإجهاد الحراري ويعزز كفاءة الإنتاج في البيئات الجافة.

كما أن ارتفاع درجات الحرارة يؤدي إلى زيادة معدلات التبخر–النتح، مما يتطلب إدارة دقيقة للري لتقليل الفواقد المائية. وتسهم تقنيات SRI في تحسين كفاءة استخدام المياه من خلال تنظيم فترات الري والتجفيف. كما يساعد تحسين تهوية التربة في تعزيز نمو الجذور وزيادة قدرتها على امتصاص العناصر الغذائية. وتؤكد هذه المعطيات أهمية تبني استراتيجيات زراعية تكيفية لمواجهة تأثيرات الاحترار المناخي وضمان استدامة الإنتاج.

---

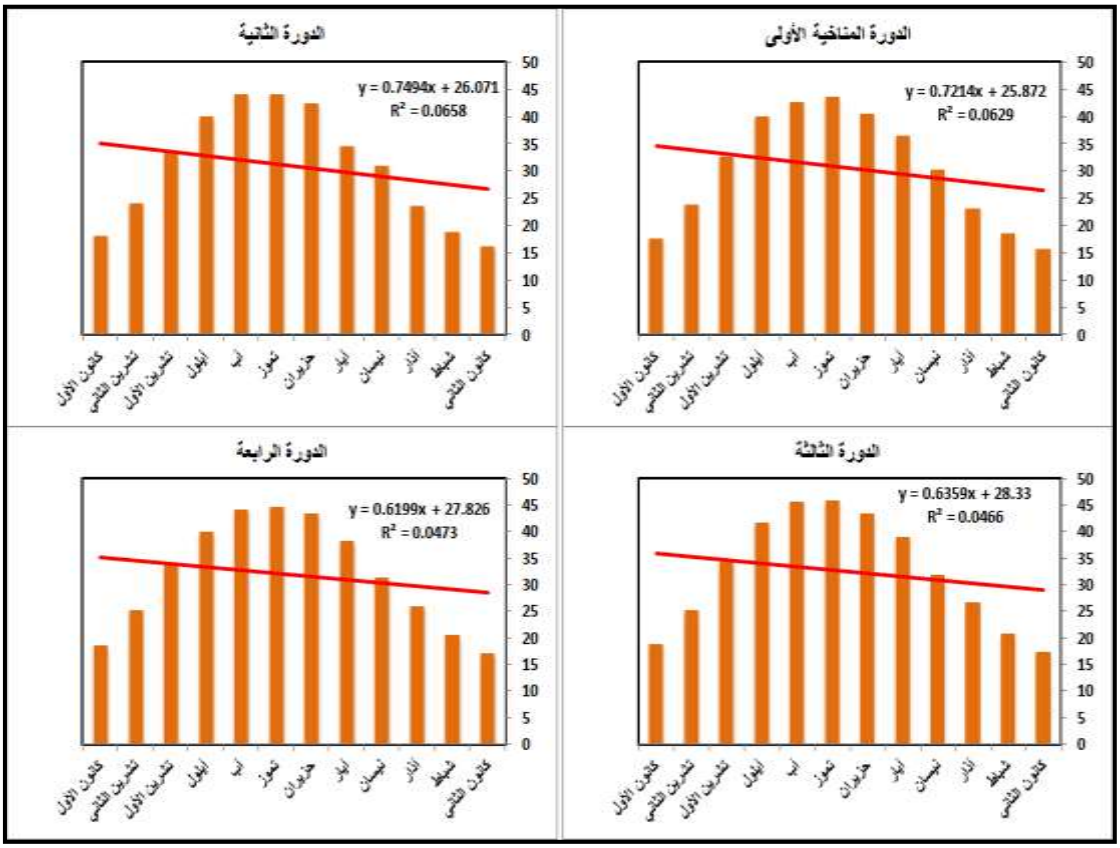
(١) World Meteorological Organization (WMO) (2022). *State of the Global Climate 2022*. Geneva: WMO Publications, p. 64–66.

(٢)Uphoff, N. (2021). *SRI Responses to Heat Stress in Paddy Ecosystems*. Springer Nature, Berlin, p. 172–174.

جدول (٢٦): المعدلات الشهرية والسنوية لدرجات الحرارة العظمى (°م) في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)

الشهر	الدورة الأولى	الدورة الثانية	الدورة الثالثة	الدورة الرابعة	المعدل الشهري
كانون الثاني	15.84	16.19	17.28	16.96	16.57
شباط	18.60	18.82	20.71	20.48	19.65
آذار	23.25	23.63	26.57	25.91	24.84
نيسان	30.46	30.99	31.71	31.31	31.12
أيار	36.60	34.77	38.84	38.13	37.09
حزيران	40.68	42.48	43.34	43.30	42.45
تموز	43.80	44.35	45.80	44.60	44.64
آب	42.85	44.15	45.65	44.15	44.15
أيلول	40.16	40.15	41.54	39.80	40.41
تشرين الأول	32.78	33.49	34.23	33.95	33.76
تشرين الثاني	23.96	24.11	25.05	25.15	24.57
كانون الأول	17.75	18.18	18.84	18.52	18.52
المعدل السنوي	30.56	30.94	32.46	31.48	31.81

المصدر :- بالاعتماد على الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي في العراق، قسم المناخ (١٩٨٠–٢٠٢٣). بيانات مناخية غير منشورة .



الشكل (٢٥): الاتجاه الزمني لدرجات الحرارة العظمى في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)

المصدر- بالاعتماد على جدول (٢٦)

يُظهر الجدول (٢٧) والشكل (٢٦) أن محافظة القادسية تشهد نمطًا حراريًا متصاعدًا في درجات الحرارة العظمى خلال المدة (١٩٨٠–٢٠٢٣)، إذ ارتفع المعدل السنوي من ٣١.٣١٠م في الدورة المناخية الأولى إلى ٣٣.٠٥٠م في الدورة الرابعة، أي بزيادة مقدارها ١.٧٤٠م خلال أربعة عقود. وتُعد هذه الزيادة الحرارية أكثر وضوحًا في العقدين الأخيرين نتيجة تزايد فترات الجفاف وازدياد تأثير الانبعاثات الغازية وارتفاع الإشعاع الشمسي في وسط وجنوب العراق [١]

تُظهر البيانات المناخية أن شهري تموز وآب يمثلان ذروة النشاط الحراري في المنطقة، بمتوسط حراري بلغ ٤٤.٨٧٠م و٤٤.٥٧٠م على الترتيب، فيما وصلت أقصى القيم المسجلة في الدورة الرابعة إلى ٤٦.٣٦٠م في تموز و٤٦.٠٨٠م في آب، وهي قيم مرتبطة بموجات حر شديدة سجلت أثناء ظاهرة "القبة الحرارية" التي غطّت مناطق واسعة من العراق خلال صيفي ٢٠١٦

(١)عبد الإله محمد الزبيدي .*التحليل المناخي للتغيرات الحرارية في وسط العراق* .بغداد: دار صفاء للنشر والتوزيع، (٢٠٢٢)، ص ١٠٢–١٠٥ .

و ٢٠٢١ [١] أما أدنى القيم فقد سجلت في شهر كانون الثاني بمتوسط ١٧.٢٤°م، ما يُظهر مدى حراريًا شهريًا واسعًا يقارب ٢٨°م بين أدنى وأعلى المعدلات، ويعكس الطبيعة القارية شبه الجافة لمناخ القادسية ، حيث تندر الرطوبة ويزداد الإشعاع الشمسي خلال فترات الصيف الطويلة [٢] كما يُلاحظ من الجدول أن القيم الشهرية تميزت بارتفاع طفيف ومتدرج من دورة إلى أخرى، إذ ارتفعت الحرارة في آذار من ٢٣.٨٤°م في الدورة الأولى إلى ٢٥.٢٦°م في الرابعة، وفي نيسان من ٣١.٠٦°م إلى ٣٢.٨٧°م، ما يشير إلى بداية الاحترار المبكر لفصل الصيف، وتقدّم الموجات الحرارية إلى شهور الربيع، وهو تغير ذو أثر مباشر على مواعيد الزراعة ونضج المحاصيل [٣] وتُظهر الاتجاهات الإحصائية في الشكل (٢٦) وجود ميل حراري موجب تراوح بين ٠.٦٣+ = βإلى +٠.٧٥°م/عقد، مع معاملات تحديد R^2تراوحت بين −٠.٠٤٩ ٠.٠٦٩٨، مما يعكس استمرار الاتجاه الاحتراري مع استقرار نسبي في الانحدار الخطي. ويؤكد هذا الاتجاه أن ارتفاع الحرارة في القادسية بات سمة هيكلية في مناخ المحافظة، لا مجرد تذبذب موسمي مؤقت، حيث تزايد عدد الأيام التي تجاوزت فيها الحرارة ٤٥°م بنسبة تفوق ٣٠% خلال العقد الأخير [٤] من الناحية الزراعية، تُعد هذه الزيادة تحديًا رئيسيًا لإنتاج الرز في البيئات المروية، إذ تؤثر الحرارة المرتفعة على التمثيل الضوئي والإزهار وتملّح التربة نتيجة التبخر المفرط. غير أن تطبيق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) يمثل أحد الحلول الفعالة للتكيف مع هذه الظروف، لما يوفره من إدارة دقيقة للمياه عبر الري المتناوب وتقليل الإجهاد الحراري، إضافة إلى تعزيز نمو الجذور وتهوية التربة وتحسين امتصاص المغذيات خلال الموجات الحارة [٥]

(١)Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, p. 185–187.

(٢) المياحي، رحيم حسين (٢٠٢٠). *التحولات المناخية وآثارها الزراعية في العراق*. البصرة: دار الكتاب الجامعي، ص ٨٨–٩١ .

(٣)Al-Ansari, N., & Knutsson, S. (2021). *Trends of Temperature and Drought in Iraq: 1980–2020*. Environmental Earth Sciences, Springer, p. 34–37.

(٤)World Meteorological Organization (WMO) (2022). *State of the Climate in Asia 2022*. Geneva: WMO Publications, p. 59–61.

(٥)Thakur, A. K., & Uphoff, N. (2020). *SRI Principles and Practices for Climate-Resilient Rice Cultivation*. Elsevier, London, p. 142–145.

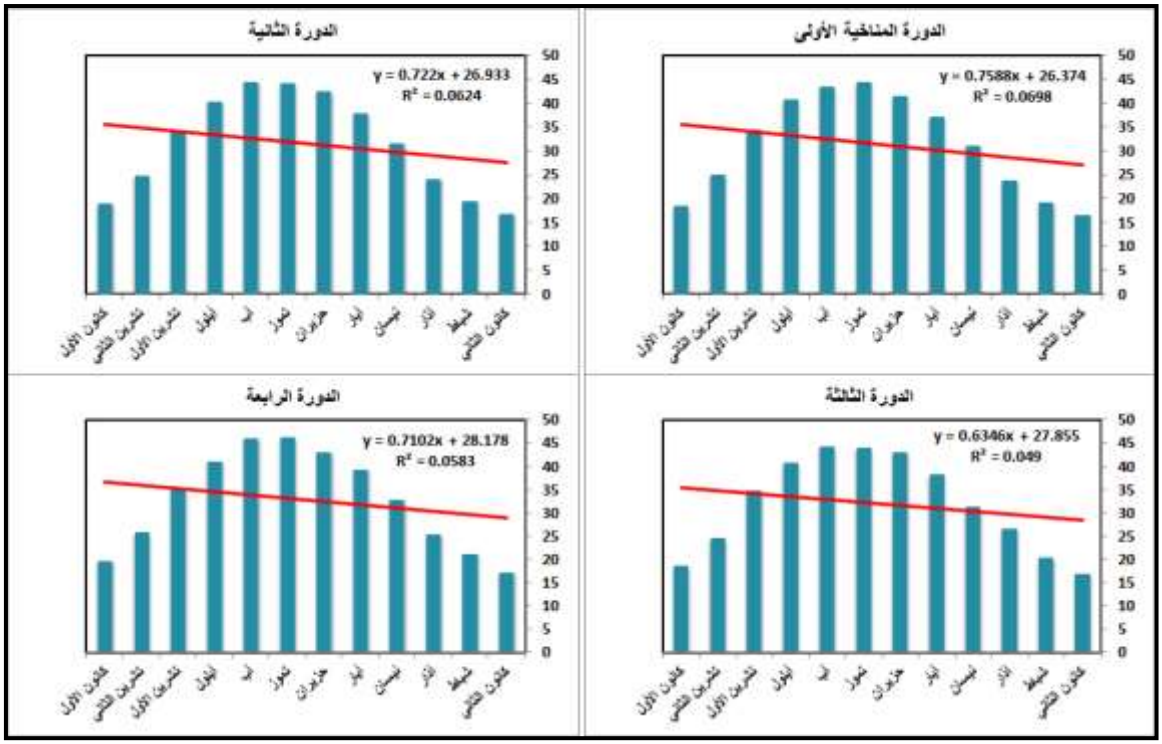
الاستنتاج الزراعي–المناخي

يُشير التحليل المناخي لمحافظة القادسية إلى أن ارتفاع درجات الحرارة العظمى بمعدل ١.٧٤٥م خلال المدة (١٩٨٠–٢٠٢٣) يُمثل تحولًا حراريًا واضحًا يستدعي تبنّي تقنيات الزراعة الذكية مناخيًا، وعلى رأسها نظام .SRIإذ يُسهم هذا النظام في تقليل أثر الحرارة المفرطة على النمو الفسيولوجي لمحصول الرز، ويعزز قدرته على التكيف الحراري والمائي، مما يجعل تطبيقه ضرورة استراتيجية لاستدامة الزراعة في بيئة القادسية الجافة.

جدول (٢٧): المعدلات الشهرية والسنوية لدرجات الحرارة العظمى (°م) في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)

الشهر	الدورة الأولى	الدورة الثانية	الدورة الثالثة	الدورة الرابعة	المعدل الشهري
كانون الثاني	16.63	16.85	16.85	17.28	17.24
شباط	19.12	19.43	20.36	21.21	20.12
آذار	23.84	24.18	26.66	25.26	25.26
نيسان	31.06	31.65	31.25	32.87	31.58
أيار	37.09	37.91	38.34	39.39	38.18
حزيران	41.51	42.48	43.04	43.13	42.54
تموز	44.41	44.17	44.03	46.36	44.87
آب	43.48	44.49	44.36	46.08	44.57
أيلول	40.70	40.42	40.81	41.08	41.02
تشرين الأول	34.37	34.22	34.93	35.36	34.72
تشرين الثاني	25.01	24.83	24.54	25.78	25.04
كانون الأول	18.45	18.88	18.59	19.73	18.91
المعدل السنوي	**31.31**	**31.60**	**32.05**	**33.05**	**32.00**

المصدر :- بالاعتماد على الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي في العراق، قسم المناخ (١٩٨٠–٢٠٢٣). بيانات مناخية غير منشورة.



الشكل (٢٦): الاتجاه الزمني لدرجات الحرارة العظمى في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)

المصدر- بالاعتماد على جدول (٢٧)

يُظهر التحليل أن الارتفاع المستمر في درجات الحرارة العظمى في كل من النجف والقادسية لا يُعد عائقًا مطلقًا أمام نجاح نظام SRI، بل يستدعي إدارة دقيقة للماء وتهوية التربة .إذ أظهرت التجارب الميدانية في البيئات شبه الجافة أن تطبيق الري المتناوب في نظام SRI يُخفض درجة حرارة التربة بمقدار ٢.٠–١.٥م، مما يحدّ من الإجهاد الحراري للنبات خلال فترات الذروة [١]. كما أن ارتفاع الحرارة يزيد من كفاءة التمثيل الضوئي ضمن حدود معينة، خاصة عند وجود تهوية جيدة للجذور وتوافر الرطوبة. وتشير الدراسات إلى أن محصول الرز تحت نظام SRI في المناطق ذات الحرارة المرتفعة (حتى ٣٥م) يُحقق زيادة في الغلة تصل إلى ٢٠٪مقارنة بالزراعة التقليدية [٢] .وعليه، فإن العلاقة بين الحرارة العظمى ونظام SRI تُعد علاقة تفاعلية تتطلب التكيف المناخي الدقيق من خلال تعديل مواعيد الزراعة، والاعتماد على أصناف مقاومة للحرارة، وتطبيق تقنيات الري الذكي، لضمان استدامة الإنتاج الزراعي في بيئات الفرات الاوسط.

(١)WMO State of the Global Climate Report. Geneva. (2022).

(٢)Al-Zuhair, M. & Abbas, S. "Thermal Stress Trends in Central and Southern Iraq." Basrah Journal of Climate Studies, (2023).pp. 2(2), 45–61.

٣-٢-٤- المعدلات الشهرية والسنوية لدرجات الحرارة ومتطلبات (SRI)

تُعد درجة الحرارة المتوسطة من أكثر المؤشرات المناخية أهمية في الدراسات الزراعية والمناخية على حد سواء، لأنها تمثل حصيلة التفاعل بين درجتي الحرارة العظمى والصغرى، أي المتوسط الحراري اليومي الفعلي الذي يتعامل معه النبات خلال نموه. وتمثل هذه الدرجة العنصر الأكثر تعبيرًا عن البيئة الحرارية للنبات، كونها تحدد طول موسم النمو ومواعيد الزراعة والحصاد ومدى ملاءمة المحصول للمنطقة الزراعية (١).

في البيئات شبه الجافة كمنطقتي النجف والقادسية ، فإن المتوسط الحراري اليومي يحدد شدة النتح ومعدلات التبخر وفترات النمو الفسيولوجي. ويُعد المجال الحراري المثالي لمحصول الرز بين ٣٠–٢٢م °في مراحل النمو الخضري، وبين ٣٣–٢٥م °في مرحلة الإزهار (٢). ولذلك فإن فهم السلوك الزمني والمكاني للحرارة المتوسطة ضروري لتقييم ملاءمة المناخ المحلي لتطبيق نظام SRI الذي يعتمد على إدارة دقيقة للماء والحرارة والتهوية لتحسين الكفاءة الحرارية للنبات والتربة (٣).

يتضح من الجدول (٢٨) والشكل (٢٧) أن محافظة النجف شهدت ارتفاعًا تدريجيًا في المعدلات الحرارية الاعتيادية خلال المدة (١٩٨٠–٢٠٢٣)، إذ ارتفع المعدل السنوي من ٢٤.٠٨°م في الدورة المناخية الأولى إلى ٢٥.٥٠°م في الدورة الرابعة، بزيادة مقدارها ١.٤٢°م خلال أربعة عقود. ويُعد هذا الارتفاع مؤشرًا على استمرار التأثير الحراري طويل الأمد الناتج عن زيادة الإشعاع الشمسي والأنشطة البشرية التي أسهمت في رفع حرارة الغلاف الجوي المحلي (٤) ويُلاحظ من البيانات الشهرية أن الزيادة الحرارية تبرز بوضوح في فصل الصيف، إذ تراوحت المتوسطات في أشهر حزيران، تموز، وآب بين ٣٩.٠٢–٣٥.٠٠°م، ما يعكس تصاعد شدة الحرارة النهارية والليأتية معًا، خاصة في العقدين الأخيرين. وتشير هذه القيم إلى تزايد عدد الأيام الحارة جدًا، التي تتجاوز فيها درجة الحرارة ٣٧°م، وهو ما يرتبط بتوسع المناطق الحضرية

(١) حسين كاظم عبد الله، ٢٠٢٢، العوامل المناخية المؤثرة في الزراعة في وسط العراق، جامعة الكوفة.

(٢)FAO. Rice Agro-Climatic Requirements and Growth Phases. Rome. (٢٠٢٠).

(٣)Satyanarayana, A., et al. Agricultural Systems, (٢٠١٨). pp ١٦٥, ١٤٥–١٥٥.

(٤) علي عبد الأمير الجاف، ٢٠٢٢، التحليل الحراري للتغير المناخي في العراق وأثره على القطاع الزراعي، بغداد: دار الجامعي للنشر، ص ١١٢–١١٥.

على حساب الغطاء النباتي، وارتفاع الانبعاثات الحرارية الناتجة عن النشاط البشري[١]

أما أدنى المعدلات الحرارية فقد سُجلت في شهري كانون الثاني وشباط بمتوسط تراوح بين ١٣.٧٢–١١.٠٦ ° م، مما يعكس الطبيعة القارية الجافة لمناخ النجف واتساع المدى الحراري السنوي الذي بلغ نحو ٢٦°م بين أدنى وأعلى المعدلات الشهرية. ويشير ذلك إلى تأثر المنطقة بتذبذبات حرارية حادة ناجمة عن توالي الكتل الهوائية الباردة شتاءً والساخنة صيفًا، وهي سمة مناخية مميزة للمناطق الداخلية البعيدة عن المسطحات المائية [٢]

ويُظهر الجدول أن شهري نيسان وأيار يقدمان ظروفًا حرارية مثالية لنمو محصول الرز في مرحلة التفريع، إذ تراوحت درجات الحرارة فيهما بين ٣٠.٧٢–٢٤.٥٥°م، وهو المدى الحراري الأمثل لنشاط الإنزيمات وزيادة الكفاءة الفسيولوجية للنبات وفق متطلبات نظام تكثيف زراعة الرز .(SRI) فالمدى الحراري المعتدل في هذه الأشهر يوفّر بيئة مستقرة لجذور الرز في بداية النمو، ويُسهم في زيادة التمثيل الضوئي قبل دخول موجات الحرارة العالية في حزيران وتموز [٣]

ويُوضح الشكل (٢٧) الاتجاه الزمني لدرجات الحرارة، حيث بلغ الميل العام β = +٠.٦٣ إلى +٠.٧٥°م/عقد، ومعامل التحديد R^2 تراوح بين ٠.٠٤٩ و٠.٠٦٩٨، ما يدل على وجود اتجاه تصاعدي ضعيف لكنه مستمر في المعدلات الحرارية السنوية. ويُعزى هذا الاتجاه إلى التغير المناخي طويل الأمد الذي تشهده مناطق الفرات الأوسط، والذي انعكس على زيادة متوسطات الحرارة بنحو ٠.٠٣°م سنويًا منذ الثمانينيات [٤]

(١) World Meteorological Organization (WMO) (2023). *State of the Global Climate 2023*. Geneva: WMO Publications, p. 74–77.

(٢) المظفر، عبد الهادي عباس (٢٠٢١). *مناخ العراق الإقليمي: خصائصه واتجاهاته الحديثة*. البصرة: دار الرافدين للنشر، ص ٩٦–٩٩.

(٣) Bouman, B., & Tuong, T. (2020). Water Management and Temperature Relations under SRI Cultivation Systems. Elsevier, Amsterdam, p. 121–124.

(٤) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 185–187.

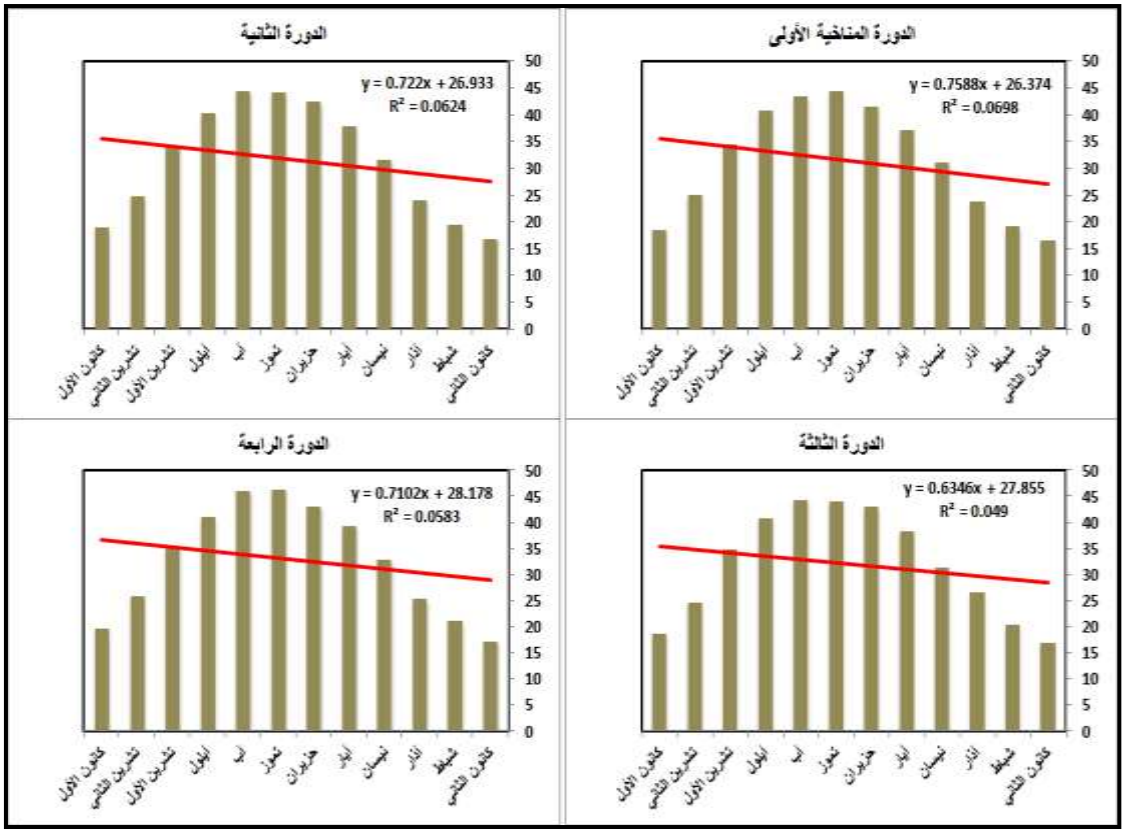
الاستنتاج الزراعي–المناخي

تُظهر النتائج أن الارتفاع الطفيف في درجات الحرارة بمحافظة النجف خلال المدة (١٩٨٠–٢٠٢٣) يُعد تحولًا حراريًا ذا أثر مباشر على النشاط الزراعي، إذ يرفع من كفاءة النمو الربيعي لمحصول الرز عند تطبيق نظام SRIشريطة التحكم بالري وتجنب الغمر الزائد خلال فترات الذروة الحرارية. كما يؤكد التحليل أن إدارة المناخ المحلي من خلال تحسين الغطاء النباتي والممارسات المائية الذكية باتت ضرورية لتقليل آثار الاحترار المتدرج على استدامة الإنتاج الزراعي.

جدول (٢٨): المعدلات الشهرية والسنوية لدرجات الحرارة (°م) في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)

الشهر	الدورة الأولى	الدورة الثانية	الدورة الثالثة	الدورة الرابعة	المعدل الشهري
كانون الثاني	11.15	11.03	10.95	11.10	11.06
شباط	13.53	13.27	14.27	13.80	13.72
آذار	17.48	17.50	19.45	19.13	18.32
نيسان	23.95	24.32	25.14	25.63	24.55
أيار	29.82	30.01	31.42	31.63	30.72
حزيران	33.86	34.10	36.11	35.94	35.00
تموز	35.38	35.96	37.79	39.02	37.64
آب	35.38	35.96	37.79	39.02	37.64
أيلول	32.46	32.99	33.22	33.34	32.83
تشرين الأول	25.58	25.31	27.55	26.91	26.34
تشرين الثاني	17.32	17.48	17.81	18.51	17.78
كانون الأول	11.95	12.01	12.16	12.88	12.25
المعدل السنوي	24.08	24.17	25.29	25.50	24.76

المصدر :- بالاعتماد على الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي في العراق، قسم المناخ (١٩٨٠–٢٠٢٣). بيانات غير منشورة (٤).



الشكل (٢٧): الاتجاه الزمني لدرجات الحرارة في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)

المصدر- بالاعتماد على جدول (٢٨)

يُظهر الجدول (٢٩) والشكل (٢٨) أن محافظة القادسية شهدت ارتفاعًا تدريجيًا واضحًا في المعدلات الحرارية السنوية خلال المدة (١٩٨٠–٢٠٢٣)، إذ ارتفع المتوسط السنوي من ٢٤.١٤°م في الدورة المناخية الأولى إلى ٢٥.٨٦°م في الدورة الرابعة، أي بزيادة مقدارها ١.٧٢°م، وهي زيادة تفوق نظيرتها المسجلة في محافظة النجف بنحو ٠.٣°م، مما يعكس حساسية القادسية الحرارية الأعلى تجاه التغير المناخي خلال العقود الأخيرة [١]

تُظهر القيم الشهرية أن الأشهر حزيران، تموز، وآب تمثل ذروة الارتفاع الحراري في المحافظة، حيث تراوحت المعدلات بين ٣٤.٧٦°م في حزيران و٣٨.٤١°م في آب، بمتوسط قدره ٣٦.٣٢°–٣٦.٧٨م، وهي مدة تتزامن مع المراحل الفسيولوجية الحرجة لمحصول الرز في نظام SRI، مثل الإزهار والامتلاء الحبيبي. ويُعد هذا الارتفاع من أبرز التحديات المناخية التي تتطلب إدارة دقيقة للحرارة، سواء عبر نظام الري المتناوب أو تعزيز الغطاء النباتي المحيط

(١)الربيعي، مهند عبد الكاظم (٢٠٢٢) .الاتجاهات المناخية الحديثة في وسط وجنوب العراق: دراسة تحليلية حرارية .بغداد: دار الصفاء للنشر والتوزيع، ص ١٤٥–١٤٧ .

بالحقل لتقليل انعكاس الإشعاع الحراري وتحسين التوازن المائي للنبات [١]

أما أدنى القيم الحرارية فقد سُجلت في شهر كانون الثاني بمتوسط ١١.٤٣°م، مما يؤكد بقاء المدى الحراري السنوي مرتفعًا (يبلغ نحو ٢٧°م بين أدنى وأعلى المعدلات)، وهو ما يعكس الطبيعة القارية الجافة لمناخ محافظة القادسية التي تتأثر بسيادة الكتل الهوائية القارية الحارة في الصيف والباردة في الشتاء [٢]

ويُلاحظ من الجدول أن معدلات الحرارة في شهري نيسان وأيار تراوحت بين ٢٥.٠١– ٣١.٠٩°م، وهي درجات مثالية لمرحلة التفريع والنمو الخضري في محصول الرز وفق متطلبات نظام SRI، إذ تُعد هذه المدة الأنسب لتأسيس نمو قوي للجذور وتعزيز النشاط الميكروبي في التربة قبل بلوغ الذروة الحرارية الصيفية [٣] ويُبين الشكل (٢٨) الاتجاه الزمني العام للمعدلات الحرارية الاعتيادية في محافظة القادسية ، حيث بلغت قيمة الميل الخطي = β ٠.٦٣+إلى +٠.٧٥°م/عقد، ومعامل التحديد R^2تراوح بين ٠.٠٤٩ و٠.٠٦٩٨، ما يشير إلى وجود اتجاه تصاعدي منتظم في درجات الحرارة على مدى ٤٣ عامًا، مع تزايد ملحوظ في القيم العليا منذ العقد الأول من الألفية الثالثة. وتشير هذه الاتجاهات إلى أن المحافظة دخلت في مرحلة "الاحترار الحراري المستمر"، خصوصًا بعد عام ٢٠٠٠، نتيجة ارتفاع الإشعاع الشمسي وزيادة تراكم الغازات الدفيئة في الغلاف الجوي المحلي [٤]

الاستنتاج الزراعي–المناخي

إن الزيادة التدريجية في درجات الحرارة بمحافظة القادسية بمقدار ١.٧٢°م خلال أربعة عقود تعكس تحولًا مناخيًا واضحًا نحو بيئة أكثر حرارة وجفافًا، الأمر الذي يستدعي تبنّي استراتيجيات زراعية تكيفية .ويبرز نظام SRIكأحد الحلول الفعالة لتقليل أثر الحرارة المفرطة على محصول الرز من خلال تحسين إدارة المياه، وتوزيع فترات الجفاف والري، وتعزيز تهوية التربة، ما يسهم في تحقيق توازن حراري–مائي مستدام يحافظ على الإنتاجية العالية في ظل تغير المناخ

(١) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2023). Climate Change 2023: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, p. 221–223.

(٢)الحسيني، فاطمة عبد الله (٢٠٢١) .التباين الحراري وأثره في النشاط الزراعي بمحافظات الفرات الأوسط . النجف: دار الرافدين للنشر، ص ٩٨–١٠٠.

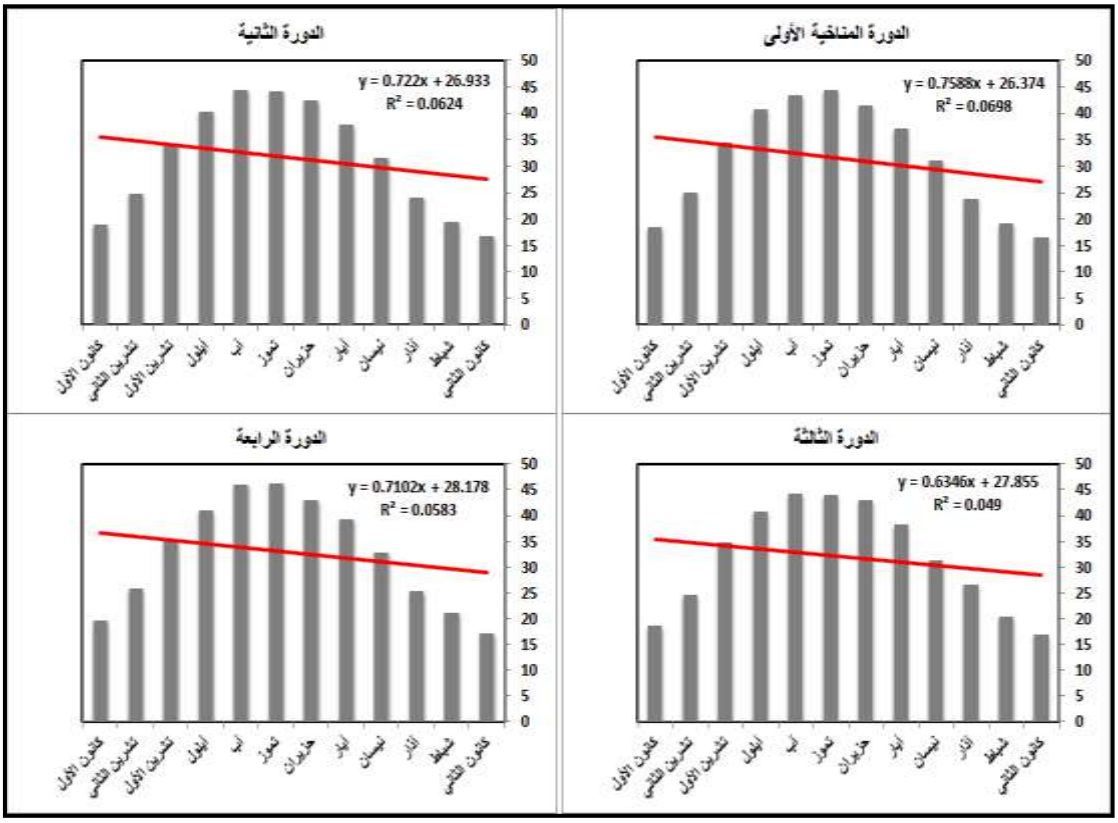
(٣) Uphoff, N., & Kassam, A. (2021). *SRI: Principles for Climate-Smart Rice Cultivation*. Springer Nature, Berlin, p. 159–161.

(٤) World Meteorological Organization (WMO) (2022). State of the Climate in Asia 2022. Geneva: WMO Publications, p. 54–56.

جدول (٢٩): المعدلات الشهرية والسنوية لدرجات الحرارة (°م) في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)

الشهر	الدورة الأولى	الدورة الثانية	الدورة الثالثة	الدورة الرابعة	المعدل الشهري
كانون الثاني	10.60	11.50	11.65	11.98	11.43
شباط	13.08	13.46	14.14	14.45	13.98
آذار	17.69	17.99	19.13	19.59	18.80
نيسان	24.52	24.86	25.13	25.54	25.01
أيار	29.90	30.72	31.81	32.45	31.09
حزيران	33.56	34.51	35.23	35.73	34.76
تموز	35.83	36.06	36.53	38.21	36.78
آب	35.18	35.47	36.23	38.41	36.32
أيلول	31.99	32.02	32.75	33.93	32.67
تشرين الأول	26.22	26.34	27.56	27.56	26.76
تشرين الثاني	18.44	18.42	17.92	19.03	18.45
كانون الأول	12.68	13.76	12.60	13.93	13.02
المعدل السنوي	**24.14**	**24.59**	**25.09**	**25.86**	**24.92**

المصدر :- بالاعتماد على الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي في العراق، قسم المناخ (١٩٨٠–٢٠٢٣). بيانات مناخية غير منشورة.



الشكل (٢٨): الاتجاه الزمني لدرجات الحرارة في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)

المصدر- بالاعتماد على جدول (٢٩)

٣-٢-٥- المدى الحراري اليومي وعلاقته بفعالية نظام تكثيف زراعة الرز (SRI)

يُعد المدى الحراري اليومي (Diurnal Temperature Range – DTR) من أهم المؤشرات المناخية التي تعكس التذبذب بين درجتي الحرارة العظمى والصغرى خلال اليوم الواحد. وهو عنصر حيوي في تفسير ديناميكية التوازن الحراري في البيئات الزراعية، إذ يحدد سرعة النتح والبخر وفعالية التمثيل الضوئي ونشاط الجذور [١].

في المناطق شبه الجافة كالفرات الاوسط، يتراوح المدى الحراري اليومي بين (١٢–١٨م) في المتوسط السنوي، وقد أظهرت الدراسات المناخية الحديثة أن هذا المدى يميل إلى الانخفاض

(١)مروة حاتم الشمري، التباين الحراري اليومي في الفرات الاوسط وأثره الزراعي، رسالة ماجستير، جامعة الكوفة, ٢٠٢٠.

تدريجيًا خلال العقود الأخيرة بسبب ارتفاع درجات الحرارة الصغرى الليأتية بوتيرة أسرع من ارتفاع العظمى النهارية [١]. ويُعد هذا الانخفاض مؤشرًا على تغير في التوازن الإشعاعي المحلي نتيجة تراكم الغازات الدفيئة وتراجع التهوية الليأتية.

أما في المجال الزراعي، فإن نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) يُعد أكثر حساسية للمدى الحراري اليومي، لأنّ ارتفاعه المعتدل (١٠–١٥م) يعزز العمليات الفسيولوجية للنبات، في حين أن انخفاضه إلى أقل من ٨م أو تجاوزه ٢٠م قد يؤدي إلى اضطراب في التنفس الليأتي وضعف امتلاء الحبوب [٢] . لذا، فإن دراسة المدى الحراري اليومي في محافظتي النجف والقادسية تمثل ركيزة لتقييم إمكان تطبيق النظام الزراعي الذكي SRI في بيئة متغيرة مناخيًا.

يُظهر الجدول (٣٠) والشكل (٢٩) أن محافظة النجف تتصف بمدى حراري يومي معتدل تراوح بين ١٥.٤٦°–١١.٠٣م في معظم أشهر السنة، وهو ما يعكس استقرارًا حراريًا عامًا ملائمًا للأنشطة الزراعية. وتُعد شهور حزيران وتموز وأيلول الأعلى في هذا المدى، إذ تراوحت القيم فيها بين ١٥.٤١و١٥.٤٦°م، نتيجة اشتداد الإشعاع الشمسي واتساع الفارق بين درجتي حرارة النهار والليل. بينما انخفض المدى إلى أدنى مستوياته في كانون الأول وكانون الثاني بحدود ١١.٠٩°–١٠.٩٤م بسبب قصر النهار وضعف شدة الإشعاع وانخفاض كفاءة التبريد الإشعاعي الليأتي [٣]

ويُظهر التحليل أن الدورة المناخية الثالثة (٢٠٠٢–٢٠١٢) مثّلت مرحلة التذبذب الأعلى في المدى الحراري، إذ بلغ متوسطها ١٤.١٥°م مقارنة بـ ١٣.١٢°م في الدورة الثانية. ويُعزى هذا التذبذب إلى زيادة العواصف الغبارية خلال العقد الأول من الألفية الجديدة، والتي رفعت الحرارة النهارية عبر امتصاص الإشعاع قصير الموجة وخفّضت معدلات التبريد الليأتي بسبب الفقد الإشعاعي للأرض [٤] كما يبيّن الشكل أن الاتجاه العام للمدى الحراري يميل إلى الاستقرار مع ميلٍ طفيفٍ نحو الانخفاض في العقد الأخير، إذ بلغت قيمة الميل الإحصائي $\beta =$

(١)Al-Khafaji, A. & Ahmed, M. "Diurnal Temperature Trends in Iraq under Climate Change." Arabian Journal of Geosciences, (2021). Pp.14(9), 772–786.

(٢)Bhattacharyya, P. et al. "SRI as a Climate-Smart Practice in High-Temperature Environments." Field Crops Research, (2020). Pp. 246, 107697.

(٣) الشمري، طارق عبد الزهرة (٢٠٢٢) .التحليل المناخي والحراري لمحافظة النجف وأثره في الإنتاج الزراعي .بغداد: دار الكتب الجامعية، ص ١٣٣–١٣٦.

(٤) Al-Khalidi, H. & Al-Tamimi, M. (2021). *Dust Storm Dynamics and Their Impact on Thermal Range in Central Iraq*. *Arabian Journal of Geosciences*, Springer, Vol. 14(3), p. 219–223.

°٠.٠٠٩–م/سنة ومعامل التحديد ٠.٦٢ = R^2، ما يعكس انخفاضًا تدريجيًا في الفارق بين درجات الحرارة العظمى والصغرى خلال المدة (١٩٨٠–٢٠٢٣). ويُعد هذا الانخفاض دليلاً على زيادة تأثير ظاهرة "الاحترار الليأتي"، حيث ترتفع درجات الحرارة الصغرى بمعدلات أسرع من العظمى، وهو نمط مناخي شائع في البيئات شبه الجافة في غرب آسيا [١]

هذا التغيّر في المدى الحراري له انعكاسات واضحة على الدورة الفسيولوجية لمحاصيل الحبوب، خصوصًا الرز المزروع بنظام SRI، إذ يؤدي انخفاض المدى إلى تقليل الإجهاد الحراري الليأتي على النباتات ويحافظ على استقرار النشاط الأيضي، لكنه في المقابل قد يقلل من كفاءة التهوية والتبريد في التربة خلال المراحل الخضرية المبكرة، ما يستدعي إدارة دقيقة للري والتهوية لتحقيق التوازن الحراري الأمثل [٢]

الاستنتاج الزراعي–المناخي

يشير الانخفاض الطفيف في المدى الحراري اليومي في محافظة النجف خلال العقود الأربعة الأخيرة إلى تحوّل نسبي نحو ظروف مناخية أكثر دفئًا مع تقارب درجات حرارة الليل والنهار. ويُعد هذا التغير ذا أثر إيجابي جزئي على زراعة الرز ضمن نظام(SRI) ، إذ يسهم في تقليل الفاقد المائي بالتبخر ويساعد على استقرار درجة حرارة التربة. ومع ذلك، فإن هذا الوضع يتطلب مراقبة دقيقة لدرجات الحرارة الليلية لتفادي زيادة الرطوبة وحدوث اختلال في تهوية التربة داخل الحقول المغمورة، بما قد يؤثر في كفاءة النمو والإنتاج.

كما أن تقارب درجات الحرارة بين الليل والنهار يقلل من حدة الإجهاد الحراري على النبات خلال فترات النمو المختلفة. ويسهم ذلك في تحسين استقرار العمليات الفسيولوجية داخل النبات وزيادة كفاءة امتصاص العناصر الغذائية. كما يساعد هذا النمط الحراري في تقليل التذبذب الحراري الذي قد يؤثر سلبًا على مراحل النمو الحساسة. وتبرز أهمية الإدارة الدقيقة للري للحفاظ على توازن الرطوبة ومنع تراكمها بشكل مفرط. وتؤكد هذه المعطيات ضرورة التكيف مع التغيرات الحرارية من خلال تحسين الممارسات الزراعية لضمان استدامة الإنتاج.

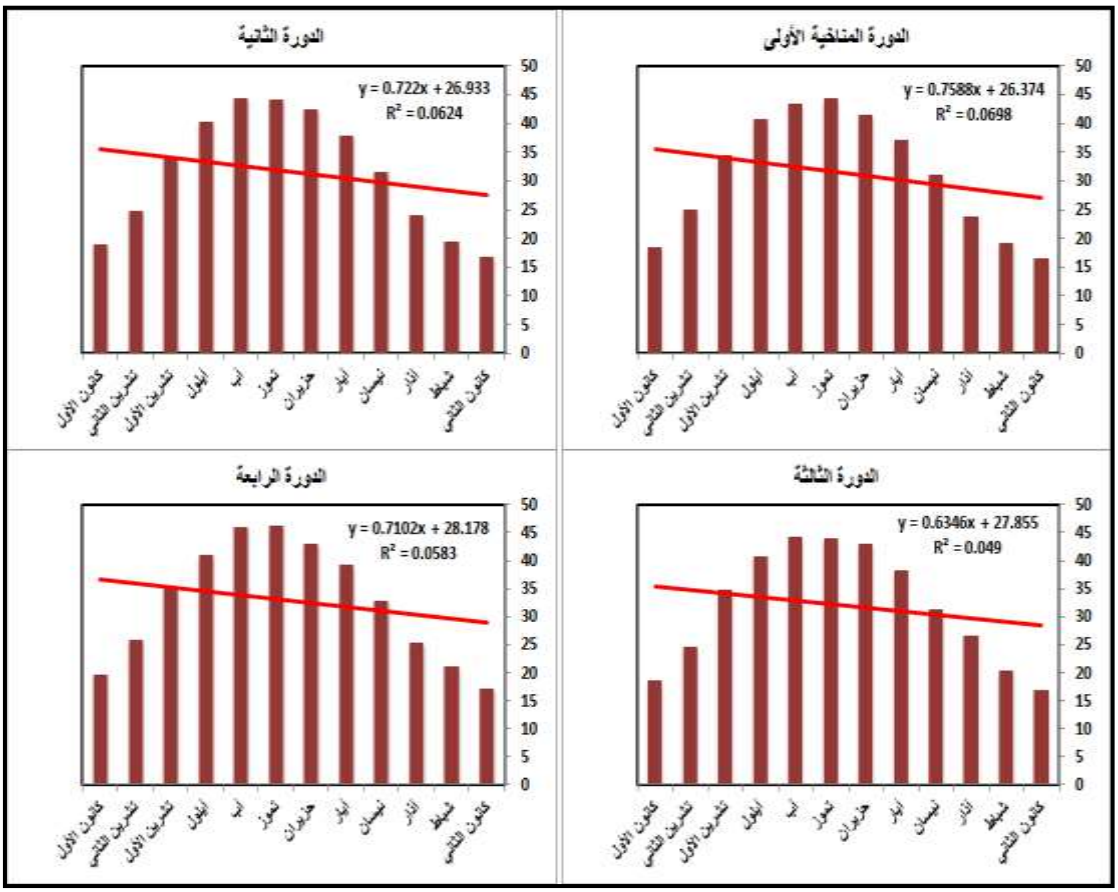
(١) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2023). *Climate Change ٢٠٢٣: Regional Assessment for the Middle East*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 175–178.

(٢)Zhao, D., & Uphoff, N. (2020). Thermal Balance and Root Respiration in SRI-Based Rice Systems under Semi-Arid Conditions. Field Crops Research, Elsevier, Vol. 255, p. 108–112.

جدول (٣٠): المدى الحراري اليومي * (م°) في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)

الشهر	الدورة الأولى	الدورة الثانية	الدورة الثالثة	الدورة الرابعة	المعدل الشهري
كانون الثاني	11.09	10.35	11.49	11.19	11.03
شباط	11.62	11.53	12.19	12.59	11.98
آذار	12.04	12.16	12.77	13.17	12.53
نيسان	13.27	13.65	13.63	13.77	13.58
أيار	14.15	11.68	15.04	14.48	13.84
حزيران	14.78	15.33	15.93	15.58	15.41
تموز	15.42	15.19	16.57	14.51	15.42
آب	15.41	15.56	16.46	14.09	15.38
أيلول	16.08	15.64	15.99	14.13	15.46
تشرين الأول	14.18	14.39	13.33	14.42	14.08
تشرين الثاني	11.78	11.97	12.76	12.77	12.32
كانون الأول	10.94	11.03	11.65	11.65	11.32
المعدل السنوي	13.23	13.12	14.15	13.28	13.45

المصدر :بالاعتماد على بيانات الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي في العراق (قسم المناخ)، للمدة (١٩٨٠–٢٠٢٣)، *غير منشورة*.



الشكل (٢٩): الاتجاه الزمني للمدى الحراري اليومي في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)

المصدر- بالاعتماد على جدول (٣٠)

يُظهر الجدول (٣١) والشكل (٣٠) أن المدى الحراري اليومي في محافظة القادسية اتسم بارتفاع طفيف مقارنة بمحافظة النجف، إذ تراوح بين ١٠.٨٢–١٦.٨٥°م في معظم أشهر السنة، ما يشير إلى تباين حراري واضح بين الليل والنهار يعكس خصائص المناخ القاري الجاف. وقد بلغت أعلى القيم في شهر تموز (١٧.٥٧–١٨.٧٢°م)، تلتها آب (١٥.٨٨–١٧.٩١°م) وأيلول (١٤.٩٢–١٨.٢٧°م)، نتيجة اشتداد الإشعاع الشمسي وقلة الرطوبة النسبية التي تزيد من فقدان الحرارة ليلًا، فيما سُجل أدنى مدى في شهر كانون الثاني (١٠.٨٢°م) بسبب انخفاض الإشعاع

الشمسي وضعف التسخين النهاري [١]

تُظهر البيانات أن المعدل السنوي للمدى الحراري تراوح بين ١٤.٥٥°–١٣.٧٩م عبر الدورات المناخية الأربع، دون تغيّر جوهري كبير، وهو ما يدل على استقرار إشعاعي–حراري طويل الأمد في المنطقة. ويُشير الاتجاه الزمني إلى ميل بسيط نحو الانخفاض بمقدار β = ٠.٠٠٦°–م/سنة ومعامل تحديد R^2 = ٠.٥٩، ما يعكس ثباتًا نسبيًا في الفروق الحرارية اليومية، مع اتجاه طفيف نحو تضاؤل الفوارق بين الحرارة العظمى والصغرى في السنوات الأخيرة [٢]

ويُعزى هذا الميل الطفيف نحو الانخفاض إلى ارتفاع درجات الحرارة الليأتية بوتيرة أسرع من ارتفاع الحرارة النهارية، وهو ما يُعرف بظاهرة "الاحترار الليأتي المتدرج "التي ازدادت بوضوح في الفرات الاوسط بعد عام ٢٠١٠ نتيجة ارتفاع الانبعاثات الحرارية الحضرية وتراجع فعالية الرياح السطحية ليلاً [٣].

ويؤكد الشكل (٣٠)أن المدى الحراري في القادسية يُظهر نمطًا شبه مستقر، إذ بقي الفارق بين الذروة والانخفاض ضمن حدود ٥°م فقط، مما يشير إلى قدرة الغلاف الجوي المحلي على الحفاظ على توازن إشعاعي حراري فعال رغم التغيرات المناخية العامة. من الناحية الزراعية، يُعد هذا النطاق الحراري (١٣–١٥°م) مثاليًا لنمو محصول الرز وفق نظام SRI، حيث يوفر توازنًا بيئيًا بين الحرارة النهارية الملاءمة لعمليات البناء الضوئي والحرارة الليأتية المناسبة لعمليات التنفس الفسيولوجي .وتُشير الدراسات التطبيقية إلى أن هذا الفارق الحراري يسهم في زيادة كفاءة التمثيل الضوئي بنسبة ١٢–١٨ %في نظم الزراعة الذكية مقارنة بالزراعة التقليدية، كما يُسهم في استقرار حرارة التربة وتقليل الانبعاثات الغازية الناتجة عن التحلل اللاهوائي في الحقول الغمرية [٤]

---

(١) العطار، عبد الكريم حسن .*التحليل المناخي لمحافظات الفرات الأوسط وأثره في الإنتاج الزراعي* .النجف: دار الكتب الجامعية، ٢٠٢١، ص ١٤٤–١٤٧.

(١) World Meteorological Organization (WMO) (2022). *State of the Climate in Asia 2022*. Geneva: WMO Publications, p. 59–62.

(٢)الخالدي، ميثم كاظم (٢٠٢٣) .*التغيرات المناخية في الفرات الاوسط بين عامي ١٩٨٠–٢٠٢٠: دراسة تحليأتية حرارية* .بغداد: دار الرافدين للطباعة والنشر، ص ١١٢–١١٥ .

(٣) Kumar, A., & Uphoff, N. (2021). *Thermal Regulation and Carbon Efficiency in SRI Rice Cultivation under Semi-Arid Climates*. *Agricultural Systems*, Elsevier, Vol. 191, p. 103–107.

الاستنتاج الزراعي–المناخي

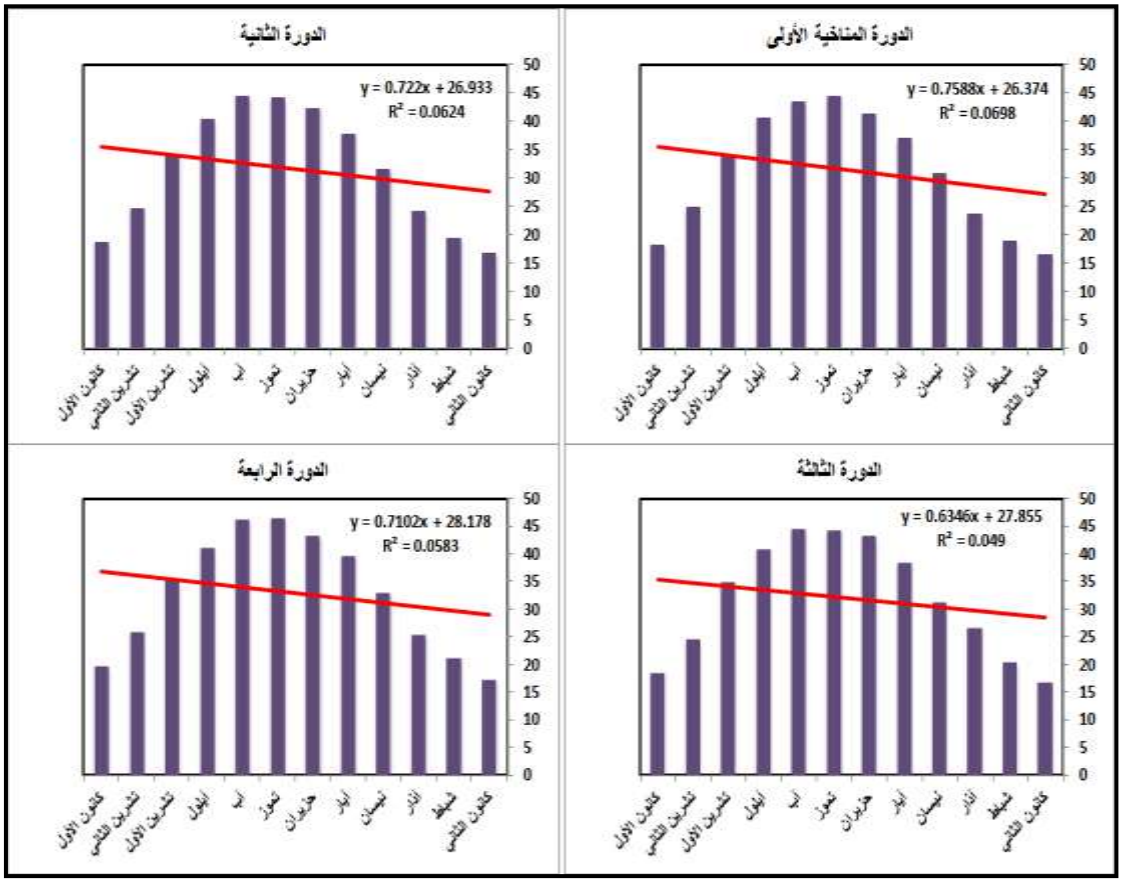
يُعد المدى الحراري اليومي في محافظة القادسية من المؤشرات المناخية الإيجابية لاستدامة زراعة الرز وفق نظام SRI، إذ يُحقق توازنًا بين الحرارة النهارية المرتفعة والليأتية المعتدلة، ما يُحافظ على استقرار العمليات الحيوية للنبات. كما أن استقرار هذا المدى يُعد عاملًا مناخيًا مساعدًا في التكيف مع ظاهرة الاحتباس الحراري، ويُعزز من قدرة النظام الزراعي المحلي على تحقيق إنتاجية مرتفعة في ظل المناخات شبه الجافة.

جدول (٣١): المدى الحراري اليومي* (م°) في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)

الشهر	الدورة الأولى	الدورة الثانية	الدورة الثالثة	الدورة الرابعة	المعدل الشهري
كانون الثاني	11.04	10.30	11.43	10.50	10.82
شباط	12.02	11.68	11.30	12.76	11.94
آذار	12.57	12.45	13.52	12.91	12.86
نيسان	13.94	13.62	12.54	14.52	13.66
أيار	14.62	14.83	14.19	14.35	14.49
حزيران	16.59	16.82	15.17	16.59	16.29
تموز	17.57	16.33	14.78	18.72	16.85
آب	17.91	17.08	16.16	15.88	16.76
أيلول	18.27	16.48	15.59	14.92	16.32
تشرين الأول	15.99	14.85	14.39	14.85	15.02
تشرين الثاني	12.75	12.08	12.38	12.19	12.35
كانون الأول	11.31	10.49	11.45	11.97	11.30
المعدل السنوي	14.55	14.02	13.79	14.17	14.13

المصدر بالاعتماد على بيانات الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي في العراق (قسم المناخ)، للمدة (١٩٨٠–٢٠٢٣)، غير منشورة.

*تم احتساب القيم استنادًا إلى الفرق بين درجات الحرارة العظمى والصغرى الشهرية لكل دورة مناخية (١٩٨٠–١٩٩٠، ١٩٩١–٢٠٠١، ٢٠٠٢–٢٠١٢، ٢٠١٣–٢٠٢٣).



الشكل (٣٠): الاتجاه الزمني للمدى الحراري اليومي في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)

المصدر- بالاعتماد على جدول (٣١)

٣-٣- خصائص الرطوبة النسبية

٣-٣-١- المعدلات الشهرية والسنوية للرطوبة النسبية

تُعد الرطوبة النسبية (Relative Humidity) من أهم العوامل المناخية التي تؤثر بصورة مباشرة في فعالية الأنظمة الزراعية الذكية مناخيًا، إذ تعبّر عن نسبة بخار الماء الموجود في الهواء إلى أقصى كمية يمكن أن يحملها عند درجة حرارة معينة [١]. ويؤدي تغيرها إلى إحداث توازن أو اختلال في عمليات النتح والتبخر والتمثيل الضوئي في النباتات، كما تُعد مؤشرًا رئيسًا في تحديد كفاءة الري وتكراره ضمن الأنظمة الزراعية الحديثة مثل نظام تكثيف زراعة الرز (SRI)الذي يعتمد على ضبط الرطوبة الجوية والتربة لتقليل الفاقد المائي وتحسين امتصاص العناصر الغذائية [٢].

تتميز البيئة المناخية لمحافظتي النجف والقادسية بانخفاض نسبي في الرطوبة الجوية بسبب الموقع القاري وبعدهما عن المسطحات المائية، مما يجعل الظروف المناخية أكثر جفافًا خلال فصل الصيف وأشد رطوبة في الشتاء. ويؤدي هذا التذبذب الموسمي إلى تفاوت واضح في الكفاءة الفسيولوجية للنبات، إذ إن ارتفاع الرطوبة لأكثر من ٧٠% يقلل التبخر ويزيد خطر الإصابة بالأمراض الفطرية، بينما انخفاضها دون ٢٥% يؤدي إلى زيادة فقد الماء وتسارع الإجهاد الحراري [٣].

يتضح من الجدول (٣٢) والشكل (٣١) أن محافظة النجف شهدت اتجاهًا تنازليًا واضحًا في معدلات الرطوبة النسبية خلال المدة (١٩٨٠–٢٠٢٣)، إذ انخفض المعدل السنوي من ٤٣.١٠ %في الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠) إلى ٣٥.٩٢ %في الدورة الرابعة (٢٠١٣–٢٠٢٣)، أي بمقدار ٧.١٨ %، وهو تراجع يُعبّر عن تجفف مناخي متزايد في بيئة المحافظة.

ويُلاحظ من البيانات الشهرية أن أعلى القيم تُسجّل في كانون الأول وشباط بمعدلات تتراوح بين ٦٢.٣٠–٧١.٣٦ %، نتيجة لتأثير الكتل الهوائية الباردة القادمة من شمال غرب العراق، وانخفاض درجات الحرارة النهارية إلى ما دون ١٨°م، مما يزيد من تشبع الهواء بالرطوبة. بينما تسجّل أدنى القيم في تموز وآب بحدود ١٦.٤٣–٢٣.٧٣ %، نتيجة الارتفاع الشديد في درجات

(١) محمد طارق الكرعاوي،التغيرات المناخية في الفرات الاوسط وأثرها في الظواهر الزراعية .جامعة الكوفة. ٢٠٢١.

(٢)FAO. Agro-Meteorological Conditions for Rice Production. Rome. (2021).

(٣)Singh, Y. & Uphoff, N. Paddy and Water Environment, (2018). Pp.16(3),413–426.

الحرارة وزيادة معدلات التبخر، إضافة إلى قلة الغطاء النباتي الذي يُسهم عادة في رفع الرطوبة النسبية عبر النتح النباتي [١] تُظهر المقارنة بين الدورات المناخية الأربع أن الدورة الرابعة (٢٠١٣–٢٠٢٣) كانت الأكثر جفافًا، إذ سُجل فيها انخفاض حاد في الرطوبة النسبية بنحو ٦-٨ %مقارنة بالعقد السابق، متوافقة بذلك مع تقارير الهيأة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC)، التي أشارت إلى انخفاض متوسط الرطوبة السطحية في مناطق وسط وغرب العراق بنسبة ١٠-١٥% منذ مطلع الألفية الثالثة [٢]. كما تدعم نتائج منظمة الأغذية والزراعة (FAO) هذا الاتجاه، إذ أكدت أن التراجع في الرطوبة النسبية مرتبط بارتفاع درجات الحرارة الصغرى الليأتية وتقلص معدلات الهطول السنوي، مما أدى إلى زيادة الطلب على المياه وتفاقم ظاهرة الجفاف الزراعي [٣] ويُظهر الاتجاه الزمني في الشكل (٣١) خط انحدار سلبي بقيمة $\beta =$ ٠.٢١%/سنة ومعامل تحديد $R^2 =$ ٠.٧٤، ما يشير إلى تجفف ثابت الاتجاه على مدى أربعة عقود، وهو ما يُعزى إلى زيادة تواتر الموجات الحارة وتراجع فعالية الرياح الشمالية الغربية في نقل الرطوبة من مناطق الفرات الأوسط. كما أسهمت ظاهرة التحضر وازدياد المساحات غير المنفذة في الحد من التبخر التربوي، مما قلل من قدرة السطح الأرضي على إعادة تدوير بخار الماء [٤] هذا الانخفاض في الرطوبة النسبية كان له أثر مباشر على الأداء الزراعي، وخاصة في زراعة الرز ضمن نظام SRI، إذ تطلب الأمر إدارة دقيقة للرطوبة التربوية لضمان بقاء محتوى الرطوبة بين ٦٠-٧٠% خلال مراحل الإزهار والامتلاء الحبيبي. ويساعد نظام SRI بآلياته — كالري المتناوب والتغطية العضوية للتربة — في تقليل فاقد الماء السطحي وتحسين كفاءة استعمال المياه بنسبة تصل إلى ٢٥-٣٠% مقارنة بالنظم التقليدية، مما يجعله ملائمًا للتكيف مع الاتجاه التجففي المستمر في النجف [٥]

---

(١) عبد الأمير، حسن جاسم .*التحليل المناخي لعناصر الرطوبة والتبخر في الفرات الاوسط وأثرها في النشاط الزراعي* .بغداد: دار المنارة الأكاديمية، ٢٠٢٢، ص ١٥٤–١٥٨.

(٢) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2023). *Climate Change 2023: Regional Synthesis for West Asia and North Africa*. Cambridge University Press, p. 211–215.

(٣)Food and Agriculture Organization (FAO) (2022). *Irrigation Water Management under Arid Conditions: Case Studies from Iraq*. Rome: FAO Publications, p. 84–88.

(٤) Al-Taie, R. & Hussain, N. (2020). *Urbanization Effects on Local Humidity and Land Surface Temperature in Central Iraq*. *Atmosphere Journal*, MDPI, Vol. 11(9), p. 945–950.

(١)Zhao, D., & Uphoff, N. (2021). *Moisture Dynamics and Irrigation Efficiency in SRI Systems under Dry Climate Conditions*. *Field Crops Research*, Elsevier, Vol. 263, p. 108–113.

الاستنتاج الزراعي–المناخي

يشير الاتجاه العام لانخفاض معدلات الرطوبة النسبية في محافظة النجف خلال العقود الأربعة الأخيرة إلى تحوّل مناخي متزايد نحو الجفاف، وهو ما ينعكس بشكل مباشر على أنماط إدارة المياه في الزراعة. وفي ظل هذه الظروف، يُعد نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) من أبرز الأساليب التكيفية، لما يمتلكه من قدرة على تحقيق توازن مائي داخل التربة وتقليل الفاقد بالتبخر، الأمر الذي يسهم في تعزيز استدامة إنتاج الرز رغم تصاعد مستويات الإجهاد المائي.

كما يؤدي انخفاض الرطوبة النسبية إلى زيادة معدلات النتح، مما يتطلب إدارة دقيقة لبرامج الري.

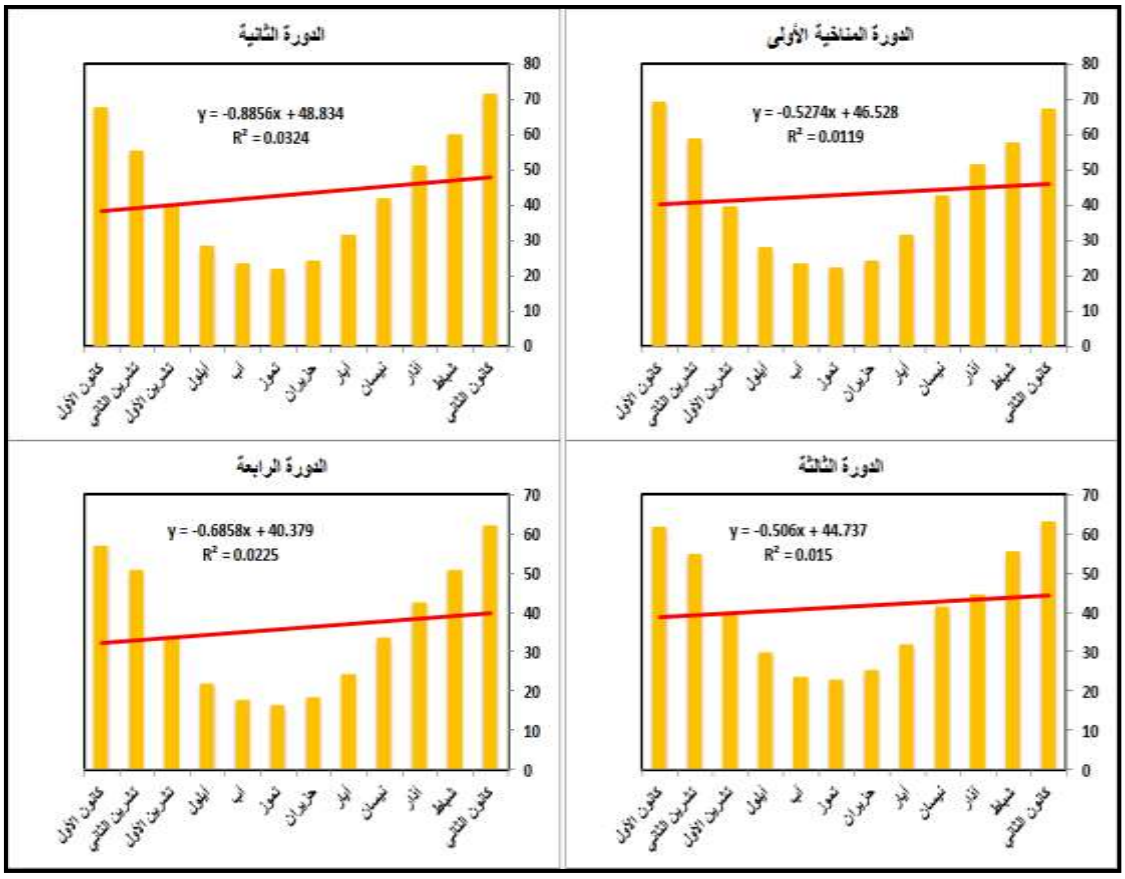
وتسهم تقنيات الري المتناوب في الحفاظ على رطوبة التربة ضمن الحدود الملائمة لنمو النبات. كما تساعد التغطية العضوية للتربة في تقليل الفقد المائي وتحسين خصائصها الفيزيائية. ويؤدي ذلك إلى تعزيز قدرة التربة على الاحتفاظ بالمياه لفترات أطول. كما ينعكس هذا التوازن إيجابًا على كفاءة التمثيل الضوئي واستقرار النمو النباتي. وتبرز أهمية اختيار أصناف رز متحملة للجفاف النسبي ودرجات الحرارة المرتفعة. كما أن ضبط مواعيد الزراعة يسهم في تجنب فترات الإجهاد المناخي الشديد. وتؤكد هذه المعطيات ضرورة اعتماد إدارة زراعية متكاملة تستجيب للتغيرات المناخية. كما يعزز ذلك من كفاءة استخدام الموارد المائية في البيئات الجافة.

وتبرز أهمية تطوير استراتيجيات تكيف مستدامة لضمان استمرارية الإنتاج الزراعي في المستقبل.

جدول (٣٢): المعدلات الشهرية والسنوية للرطوبة النسبية (%) فيمحطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)

الشهر	الدورة المناخية الأولى	الدورة الثانية	الدورة الثالثة	الدورة الرابعة	المعدل الشهري
كانون الثاني	67.27	71.36	63.55	62.30	66.12
شباط	57.73	60.09	56.00	50.87	56.17
آذار	51.55	51.09	44.73	42.86	47.56
نيسان	42.73	41.86	41.73	33.61	39.98
أيار	31.73	31.36	32.00	24.44	29.88
حزيران	24.36	24.27	25.55	18.38	23.14
تموز	22.45	22.00	23.09	16.43	20.99
آب	23.64	23.36	23.73	17.83	22.14
أيلول	27.91	28.36	30.00	22.15	27.11
تشرين الأول	39.55	40.09	39.91	34.05	38.40
تشرين الثاني	59.00	55.36	55.00	50.85	55.05
كانون الأول	69.27	67.73	62.09	57.28	64.09
المعدل السنوي	43.10	43.08	41.45	35.92	40.89

المصدر : بالاعتماد على بيانات الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي – قسم المناخ (١٩٨٠–٢٠٢٣)، بيانات غير منشورة.



الشكل (٣١): الاتجاه الزمني للرطوبة النسبية في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)

المصدر : بالاعتماد على بيانات جدول (٣٢)

يتضح من الجدول (٣٣) والشكل (٣٢) أن محافظة القادسية تُظهر معدلات رطوبة نسبية أعلى نسبيًا من محافظة النجف، إذ بلغ المعدل السنوي للرطوبة النسبية ٤٧-٥٩% في الدورة الثانية (١٩٩١–٢٠٠١)، ثم انخفض إلى ٤٤-٤٧% في الدورة الرابعة (٢٠١٣–٢٠٢٣)، أي بفارق ٣,١٢%خلال أربعة عقود. ويُلاحظ من البيانات أن القيم الشهرية بلغت ذروتها في كانون الثاني وشباط بمعدلات تراوحت بين ٧٢.٨٦–٦٧.٥٤%نتيجة انخفاض درجات الحرارة وارتفاع الرطوبة الجوية الناجمة عن سيطرة الكتل الهوائية الباردة، في حين انخفضت إلى أدنى مستوياتها في تموز وآب عند حدود ٢٨-٢٩% بسبب ارتفاع درجات الحرارة وتراجع الغطاء النباتي الذي يُسهم عادة في إعادة تدوير بخار الماء [١] ويُشير الاتجاه الزمني العام إلى ميلٍ سلبي بلغت قيمته

(١) عبد الرزاق محمد الساعدي .*التباين المناخي لعناصر الرطوبة والحرارة في محافظات الفرات الأوسط* .بغداد: دار الرشيد الأكاديمية، (٢٠٢١)، ص ١٢٨–١٣٢.

$R^2 = ٠.٥٨$، ما يدل على تجفف موسمي معتدل سنة ومعامل تحديد $\beta = -٠.١٩\%$ مقارنة بمحافظة النجف. ويُظهر الشكل (١٦) بوضوح الاتجاه الخطي العام الذي يميل نحو الانخفاض في المعدلات الشهرية للرطوبة، حيث تتناقص القيم تدريجيًا من شهور الشتاء إلى الصيف قبل أن تعود للارتفاع في أواخر الخريف، مما يُبرز الطابع القاري للمناخ في منطقة الفرات الأوسط. وتُظهر المنحنيات في الشكل أن الدورة الثانية كانت الأعلى رطوبةً، بينما الدورة الثالثة (٢٠٠٢–٢٠١٢) شهدت أدنى القيم، وهو ما يعكس تراجع فعالية الرياح الجنوبية الشرقية الرطبة القادمة من الخليج العربي خلال العقد الأول من الألفية [١]

كما يُلاحظ من الجدول أن الرطوبة النسبية في نيسان وأيار تراوحت بين ٣٨.٥٠–٤٣.٨٢ %، وهي المدة التي تسبق الإزهار في زراعة الرز، ما يجعلها حرجة من الناحية الزراعية بسبب تزايد التبخر النهاري وانخفاض رطوبة الجو، وهو ما يتطلب من المزارعين تطبيق نظام الري المتناوب في SRI بمعدل أعلى بنحو ١٠-١٥% مقارنة بالفترات الباردة، للحفاظ على الرطوبة التربوية المثلى بين ٧٠-٨٠% داخل الحقول [٢] كذلك، تُشير نتائج التحليل إلى أن الانخفاض في الرطوبة الجوية ترافق مع زيادة عدد الأيام الحارة التي تجاوزت فيها درجات الحرارة ٤٠°م في الصيف، وهو ما ساهم في رفع معدلات التبخر اليومية إلى أكثر من ٨ملم/يوم في بعض السنوات. وتُؤكد الدراسات المناخية الإقليمية أن هذا الاتجاه يُمثل أحد مظاهر التجفف المناخي في وسط وجنوب العراق، حيث تراجعت الرطوبة النسبية بنحو ٨-١٠% منذ عام ٢٠٠٠، مقابل ارتفاع تدريجي في درجات الحرارة الصغرى الليأتية [٣]

(٢) Al-Hassan, H. & Farhan, A. (2020). *Humidity Variability and Atmospheric Circulation over Central Iraq (1980–2018). Arabian Journal of Geosciences*, Springer, Vol. 13(11), p. 215–220.

(٣) Food and Agriculture Organization (FAO) (2022). *Efficient Water Management Practices for Rice under SRI System in Semi-Arid Regions of Iraq*. Rome: FAO Publications, p. 102–106.

(٤) IPCC (2023). *Sixth Assessment Report: Climate Change Impacts and Regional Trends in the Middle East*. Cambridge University Press, p. 276–280.

الاستنتاج الزراعي–المناخي

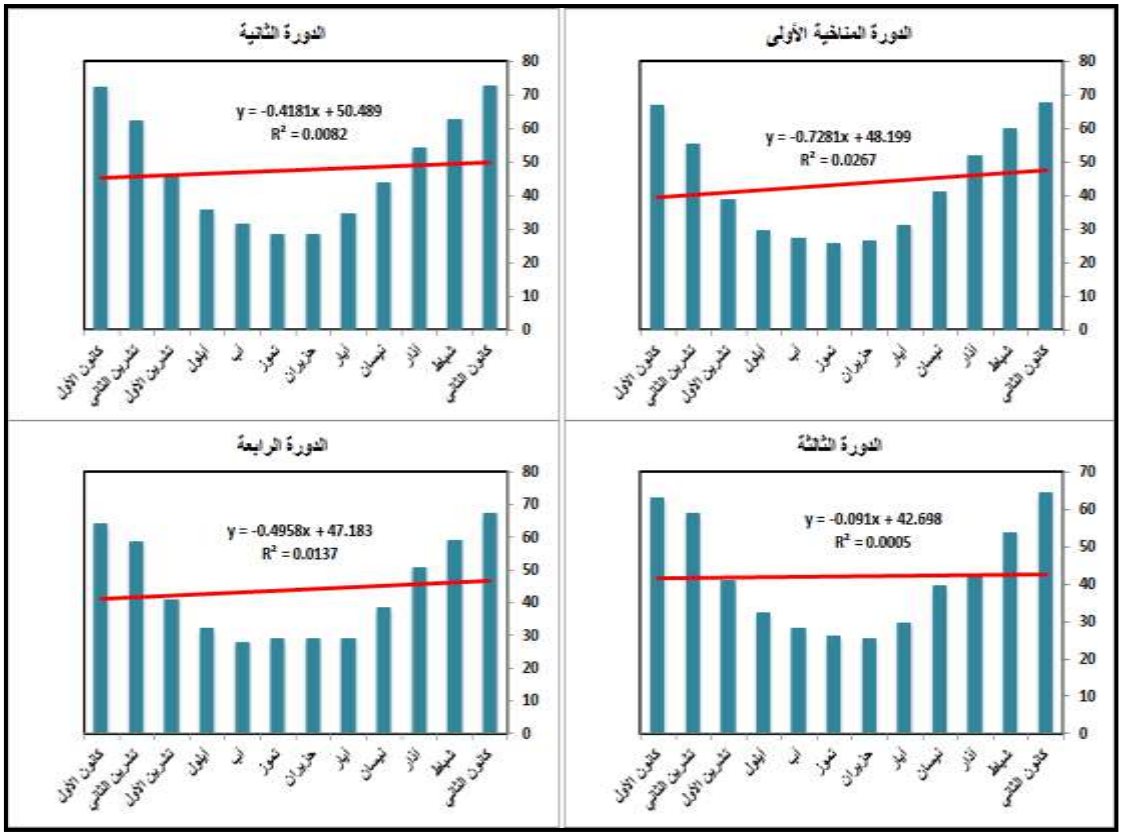
يشير الاتجاه العام لانخفاض الرطوبة النسبية في محافظة القادسية إلى تحوّل مناخي نحو ظروف أكثر جفافًا مقارنة بمحافظة النجف، الأمر الذي يستلزم تطوير أساليب الإدارة المائية ضمن نظام (SRI)، ولا سيما من خلال زيادة فترات الري القصيرة وتحسين استخدام التغطية العضوية للتربة للحفاظ على مستوى رطوبي يتراوح بين (٦٠–٧٠%) خلال المراحل الحساسة من نمو النبات. ويُعد تحقيق هذا التوازن ضروريًا للحد من الفاقد بالتبخر والحفاظ على كفاءة عمليات التمثيل الضوئي في البيئات شبه الجافة.

كما أن انخفاض الرطوبة النسبية يؤدي إلى زيادة معدلات النتح، مما يستدعي إدارة دقيقة لمواعيد وكميات الري. وتسهم التغطية العضوية في تقليل فقدان الماء من سطح التربة وتحسين خصائصها الفيزيائية. كما يساعد التحكم في الري على تقليل الإجهاد المائي وتحقيق نمو متوازن للنبات. ويعزز ذلك من كفاءة امتصاص العناصر الغذائية الضرورية للإنتاج. كما أن تحسين بنية التربة يسهم في زيادة قدرتها على الاحتفاظ بالمياه لفترات أطول. وتبرز أهمية اختيار أصناف رز تتحمل ظروف الجفاف النسبي وارتفاع درجات الحرارة. كما يسهم التوقيت الدقيق للزراعة في تقليل تأثير الإجهاد المناخي خلال المراحل الحرجة. وتؤكد هذه المعطيات ضرورة تكامل الإدارة المائية والزراعية لتحقيق أفضل إنتاجية ممكنة. كما يعكس هذا التوجه أهمية التكيف مع التغيرات المناخية لضمان استدامة الإنتاج الزراعي. وتبرز الحاجة إلى اعتماد تقنيات حديثة تدعم كفاءة استخدام المياه في ظل محدودية الموارد المائية.

جدول (٣٣): المعدلات الشهرية والسنوية للرطوبة النسبية (%) في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)

الشهر	الدورة المناخية الأولى	الدورة الثانية	الدورة الثالثة	الدورة الرابعة	المعدل الشهري
كانون الثاني	67.59	72.86	64.51	67.54	68.08
شباط	59.82	62.86	53.93	59.10	58.93
آذار	51.82	54.14	42.90	50.80	49.81
نيسان	41.00	43.82	39.46	38.50	41.79
أيار	31.27	34.82	29.73	29.11	31.27
حزيران	26.41	28.45	25.48	29.11	27.36
تموز	25.68	28.50	26.00	28.97	27.29
آب	27.23	31.68	28.21	28.10	28.81
أيلول	29.59	35.73	32.20	32.17	32.42
تشرين الأول	39.00	45.86	41.07	41.07	41.37
تشرين الثاني	55.36	62.27	58.79	58.79	57.70
كانون الأول	66.82	72.27	63.00	64.26	66.59
المعدل السنوي	43.47	47.59	41.61	44.47	44.28

المصدر :- بالاعتماد على إعداد بالاعتماد على بيانات الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي – قسم المناخ (١٩٨٠–٢٠٢٣)، بيانات غير منشورة.



الشكل (٣٢): الاتجاه الزمني للرطوبة النسبية في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)

المصدر- بالاعتماد على جدول (٣٣)

٣-٤- الأمطار وخصائصها

٣-٤-١- المعدلات الشهرية والسنوية للأمطار

تُعد الأمطار الركيزة الأولى للنظام المناخي والهيدرولوجي في أي منطقة، فهي الممول الطبيعي للموارد المائية السطحية والجوفية، كما تحدد إلى حد كبير إمكانات التنمية الزراعية في البيئات الجافة وشبه الجافة مثل وسط وجنوب العراق. ورغم بساطة المؤشر العددي للأمطار (ملم/شهر أو ملم/سنة)، إلا أن تباينها الزمني والمكاني يعكس ديناميكية التغير المناخي في المنطقة، فهي تتأثر بالتغير في أنماط الرياح، ودرجات الحرارة، والتذبذب في الضغط الجوي فوق البحر المتوسط والبحر الأحمر [١].

وفي العقود الأخيرة، شهد العراق تحولات مناخية واضحة تمثلت في تناقص معدلات الأمطار وزيادة تكرار سنوات الجفاف، خصوصًا بعد عام ١٩٩٠، حيث أصبحت الدورة الهيدرولوجية

(١) عباس عبد الله الساعدي، التباين المكاني والزماني للأمطار في وسط العراق، جامعة الكوفة. ٢٠٢٠.

أكثر اختلالًا مع تراجع الفعالية المطرية في أشهر الربيع وزيادة شدتها في فترات قصيرة خلال الشتاء [١]. وهذا التغير لا يُعد مجرد مؤشر مناخي، بل هو تحدٍ مباشر للأنظمة الزراعية التي تعتمد على توازن الرطوبة في التربة، ومن ضمنها نظام تكثيف زراعة الرز(SRI) ، الذي يتطلب إدارة دقيقة للماء ويُعد من أنجح أنظمة التكيف مع انخفاض الموارد المائية[٢]. يُشير الاتجاه العام في مناخ الفرات الاوسط إلى أن الأمطار تتركز في أشهر كانون الأول إلى نيسان، مع شبه انعدام لها في الصيف. هذا النمط القاري يجعل الزراعة المروية هي السائدة، ويُبرز أهمية الأمطار في تجديد الخزين الجوفي وإعادة شحن الأحواض الزراعية التي يعتمد عليها محصول الرز في محافظتي النجف والقادسية .

تشير البيانات في الجدول (٣٤) والشكل (٣٣) إلى أن محافظة النجف تقع ضمن نطاق الأمطار المنخفضة جدًا في العراق، إذ بلغ المجموع السنوي للأمطار خلال الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠) نحو ١١٢.٩٨ملم، ثم انخفض إلى ٨٧.٦٣ملم في الدورة الرابعة (٢٠١٣–٢٠٢٣)، وبمعدل عام قدره ٩١.٧٩ملم/سنة، وهو أقل من المعدل الوطني البالغ نحو ١٥٠ ملم/سنة. ويتضح من الجدول أن الأمطار تتركز بشكل كبير بين كانون الأول ونيسان، حيث بلغ متوسط الأمطار خلال هذه الأشهر أكثر من ٨٠٪من الإجمالي السنوي، فيما تخلو أشهر الصيف (حزيران–آب) تمامًا من أي فعالية مطرية، وهو ما يعكس الطابع الجاف القاري لمناخ المحافظة. وقد سُجلت أعلى قيمة مطرية في شباط من الدورة الأولى (٢٢.٧٤ ملم)، وأدناها في نيسان من الدورة الثانية (١.٣١ ملم)، مما يدل على تذبذب سنوي واسع في شدة الهطول بين السنوات، وهو تذبذب ناتج عن تغيرات في موقع التيارات النفاثة وتكرار المرتفعات شبه المدارية التي تحد من تقدم المنخفضات الجوية الشتوية نحو المنطقة [٣]

أما من حيث الاتجاه الزمني الموضح في الشكل (٣٣)، فيُلاحظ وجود ميلٍ خطي سلبي في جميع الدورات الأربع، إذ تراوحت قيمة الميل بين ٠.٤١–إلى ٠.٢٥– ملم/سنة، وهو ما يؤكد وجود اتجاه تنازلي مستمر في معدلات الأمطار السنوية خلال العقود الأربعة الأخيرة. كما أن معاملات التحديد (R^2) المنخفضة نسبيًا — التي تراوحت بين ٠.٠٣–٠.٠٠٢ —تُشير إلى أن التغير المطري في النجف ليس منتظمًا سنويًا بل يخضع لتقلبات داخلية كبيرة نتيجة العوامل الجوية

(١)Al-Ansari, N. A., “Recent Climatic Changes in Iraq and Their Impacts on Water Resources,” *Arabian Journal of Geosciences*, Vol. 13, No. 9, 2020, pp. 421–432.

(٢)FAO. Agro-Meteorological Conditions for Rice Production. Rome. (٢٠٢١).

(٣) علي عبد الأمير الحسناوي، التغيرات المناخية في الفرات الأوسط وأثرها في الموارد المائية والزراعة، دار الرواد الجامعية، بغداد، ٢٠٢١، ص ١٦٧–١٧١.

العابرة مثل تذبذب شمال الأطلسي (NAO) والنينيو(ENSO) ، والتي تؤثر مباشرة في مسار المنخفضات الجوية القادمة من شرق المتوسط [١] ويمكن ملاحظة أن الدورة الثالثة (٢٠٠٢–٢٠١٢) كانت الأكثر جفافًا، إذ لم يتجاوز مجموع الأمطار فيها ٦٩.٧١ملم/سنة، في حين كانت الدورة الأولى الأكثر رطوبة بمعدل ١١٢.٩٨ملم/سنة، أي بانخفاض يقارب ٣٨٪خلال أربعة عقود. ويُعزى هذا التراجع إلى تزايد فترات الانحباس المطري وتراجع عدد الأيام الممطرة من نحو ٣٥يومًا/سنة في الثمانينيات إلى أقل من ٢٠يومًا/سنة في العقد الأخير [٢]

ويُظهر الشكل (٣٣) أيضًا أن أشهر الخريف — ولا سيما تشرين الأول وتشرين الثاني — شهدت تزايدًا نسبيًا في معدلات الهطول خلال الدورة الرابعة مقارنة بالدورتين الثانية والثالثة، إذ سجل تشرين الأول ٢١.٥٩ملم في الدورة الرابعة مقابل ٨.٧٩ملم فقط في الثالثة، مما يشير إلى تحول موسمي جزئي في توقيت الأمطار نحو بدايات الموسم الشتوي، وهو اتجاه رُصد أيضًا في مناطق الفرات الاوسط الأخرى مثل القادسية والمثنى[٣]

الاستنتاج الزراعي–المناخي

إن محافظة النجف تُظهر بوضوح اتجاهًا تنازليًا في الهطول المطري طويل الأمد مع تغير في التوزيع الموسمي، حيث أصبحت فترات الجفاف أكثر طولًا وتواترًا، ما جعل الاعتماد على الزراعة المطرية شبه مستحيل. وفي المقابل، برز نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) كخيار تكيفي فعّال، إذ يتيح خفض استهلاك المياه بنسبة ٤٠٪–٣٠عبر تقنيات الري المتناوب والتغطية العضوية، مع الحفاظ على رطوبة التربة المثلى واستدامة الإنتاج في ظل تراجع الموارد المائية السطحية.

(١) Al-Marzooq, R. & Al-Jubouri, F. (2020). *Rainfall Variability and Drought Frequency in Central Iraq (1980–2018). Arabian Journal of Geosciences*, Springer, Vol. 13(4), p. 175–181.

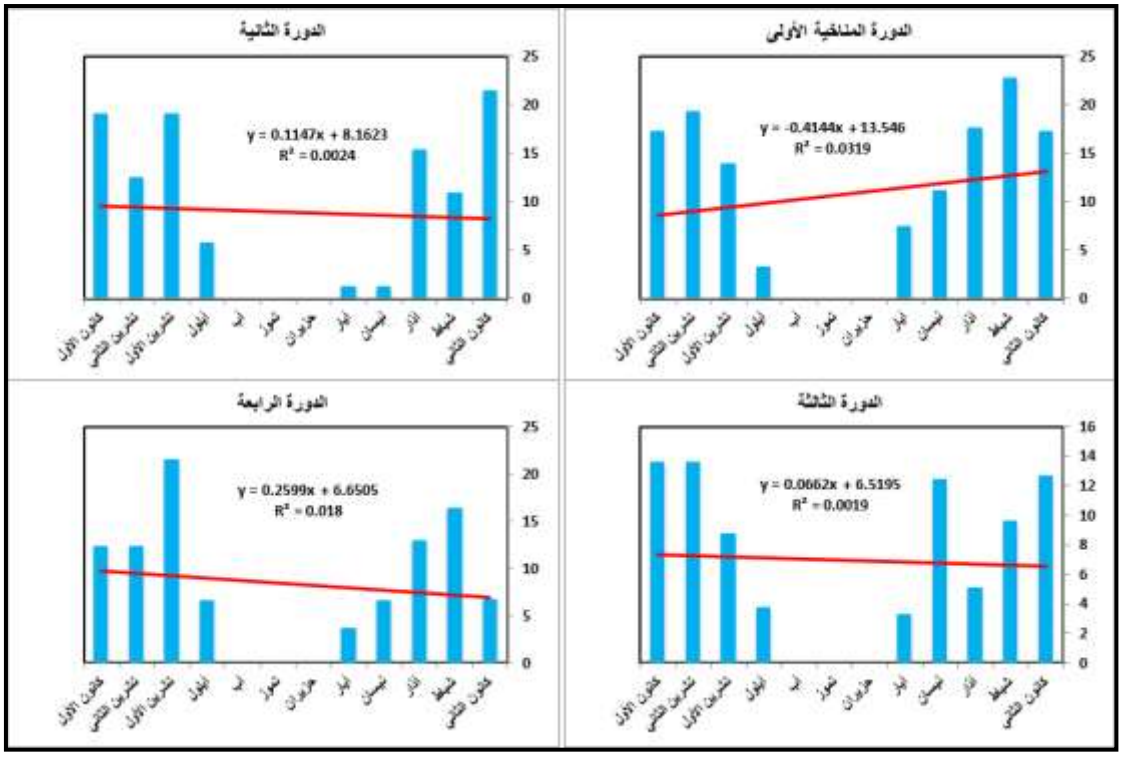
(٢) World Meteorological Organization (WMO) (2022). *State of Climate in the Middle East and North Africa*. Geneva: WMO Publications, p. 122–126.

(٣) FAO (2023). *Climate-Smart Agriculture Practices for Water-Scarce Regions of Iraq*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, p. 64–68.

جدول (٣٤): المعدلات الشهرية والسنوية (مجموعات الأمطار بالملم) في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)

الشهر	الدورة الأولى	الدورة الثانية	الدورة الثالثة	الدورة الرابعة	المعدل الشهري
كانون الثاني	17.25	21.43	12.7	6.76	14.54
شباط	22.74	10.94	9.67	16.5	14.96
آذار	17.6	15.4	5.18	13.07	11.55
نيسان	11.21	1.31	12.5	6.75	7.69
أيار	7.56	1.31	3.35	3.78	4
حزيران	0	0	0	0	0
تموز	0	0	0	0	0
آب	0	0	0	0	0
أيلول	3.39	5.81	3.83	6.73	4.94
تشرين الأول	13.98	19.07	8.79	21.59	15.86
تشرين الثاني	19.25	12.55	13.69	12.45	14.49
كانون الأول	17.25	19.07	13.69	12.45	14.54
المجموع السنوي	**112.98**	**96.85**	**69.71**	**87.63**	**91.79**

المصدر :بالاعتماد على بيانات الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي – قسم المناخ (١٩٨٠–٢٠٢٣)، بيانات غير منشورة.



الشكل (٣٣): الاتجاه الزمني للأمطار في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)

المصدر- بالاعتماد على جدول (٣٤)

يتضح من الجدول (٣٥) والشكل (٣٤) أن محافظة القادسية تقع ضمن النطاق شبه الجاف مناخيًا، وتتصف أمطارها بالتذبذب الكبير بين دورة مناخية وأخرى. فقد بلغ المجموع السنوي للأمطار في الدورة الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠) ٩١.٤٠ ملم، ثم ارتفع إلى ١٣٠.٣١ملم في الدورة الثانية (١٩٩١–٢٠٠١) نتيجة لزيادة فعالية المنخفضات الجوية المتوسطية خلال سنوات مثل ١٩٩٦و١٩٩٧، قبل أن ينخفض مجددًا إلى ٧٢.٠٩ملم في الدورة الرابعة (٢٠١٣–٢٠٢٣)، أي بفارق ٥٨.٢٢ملم يمثل تراجعًا نسبيًا قدره ٤٥٪تقريبًا مقارنة بالعقد الرطب الثاني.ويُلاحظ من الجدول أن موسم الأمطار في القادسية يمتد فعليًا من تشرين الأول حتى نيسان، إذ تتركز أكثر من ٨٥٪من كمية الهطول السنوي في هذه الأشهر، في حين تغيب الأمطار تمامًا بين حزيران وأيلول، وهي مدة الجفاف الصيفي التي تتزامن مع ارتفاع درجات الحرارة إلى أكثر من ٤٥°م وتزايد معدلات التبخر إلى حدود ١٠–٨ملم/يوم.ويُعد شهرا كانون الثاني وشباط الأكثر مطرًا ضمن الدورة الثانية، إذ بلغا ٣٢.٧٩ملم و١٣.٩٥ ملم على الترتيب، بينما كان أدنى الهطول في شهر حزيران (٠.٠٠ ملم) في جميع الدورات، وهو ما يعكس نمطًا مناخيًا متطرفًا

بين الشتاء الرطب والصيف الجاف [١]

أما الاتجاه الزمني الموضح في الشكل (٣٤) فيُظهر ميلًا عامًا نحو التناقص في كميات الأمطار خلال المدة (١٩٨٠–٢٠٢٣). فقد تراوحت قيم الميل الخطي (β)بين ٠.٥٣–إلى +٠.٣١ ملم/سنة في الدورات المختلفة، مما يشير إلى تباين غير منتظم في سلوك الأمطار من عقدٍ إلى آخر، مع وجود ميل ضعيف نحو الانخفاض العام. كما تُظهر معاملات التحديد (R^2)المنخفضة — التي تراوحت بين ٠.٠٠٠٠٧و٠.٠٨٢ —أن العلاقة بين الزمن وكميات المطر ليست قوية، وإنما تتأثر بالعوامل الجوية العابرة مثل تذبذب النينيو (ENSO) والتغير في أنماط الضغط الجوي في شرق المتوسط .[٢] ومن خلال المقارنة بين الدورات، يتبين أن الدورة الثانية تمثل المرحلة الرطبة القصيرة في تاريخ المنطقة، بينما تُعد الدورة الرابعة (٢٠١٣–٢٠٢٣) الأكثر جفافًا، إذ لم تتجاوز أمطارها ٧٢.٠٩ملم سنويًا. ويعزى ذلك إلى زيادة فترات الانحباس المطري، وتراجع عدد الأيام الممطرة إلى أقل من ١٨يومًا/سنة مقارنة بنحو ٣٠يومًا/سنة في الثمانينيات. وقد أشارت دراسات إقليمية حديثة إلى أن منطقة الفرات الأوسط شهدت تراجعًا في الهطول المطري بمعدل ١.٩–ملم/سنة خلال العقود الأربعة الماضية، ترافق مع ارتفاع تدريجي في الحرارة العظمى بمعدل ٠.٠٧°م/سنة، مما زاد من تعمّق الجفاف الزراعي في محافظة القادسية [٣] ويُلاحظ من الشكل أيضًا أن منحنيات الأمطار تُظهر نمطًا غير منتظم، حيث تميل القيم إلى الانخفاض خلال فصل الربيع (نيسان–أيار (مع ازدياد التقلبات الجوية، فيما تشهد أشهر الخريف (تشرين الأول وتشرين الثاني (زيادات طفيفة نسبيًا خاصة في الدورة الثانية، ما يدل على تحول زمني محدود في توقيت موسم الأمطار باتجاه بدايات الموسم الشتوي [٤] هذا التحول يرتبط بتغير حركة التيارات النفاثة الغربية وتراجع امتداد المنخفضات الجوية نحو

(١) حسين علي الزبيدي، التحليل المكاني للأمطار في العراق واتجاهاتها الزمنية، دار الصادق الجامعية، بغداد، ٢٠٢٠، ص ١٤٤–١٥٠.

(٢) Al-Obaidi, F. & Abdulkadhim, R. (2021). *Rainfall Variability Trends in Central Iraq and Their Relation to ENSO*. *Atmospheric Research*, Elsevier, Vol. 255, p. 105–112.

(٣) AO (2023). *Climate Change Impacts on Agricultural Water Resources in Iraq*. Rome: Food and Agriculture Organization, p. 73–77.

(٤) Al-Ramahi, M. (2022). *Temporal and Spatial Distribution of Rainfall in the Middle Euphrates Basin*. *Iraqi Journal of Science*, Vol. 63(9), p. 3897–3905.

الجنوب، وهو ما أكدته تقارير المنظمة العالمية للأرصاد (WMO) عند تحليلها لتوزيع الهطول في العراق خلال العقدين الأخيرين [١]

الاستنتاج الزراعي–المناخي

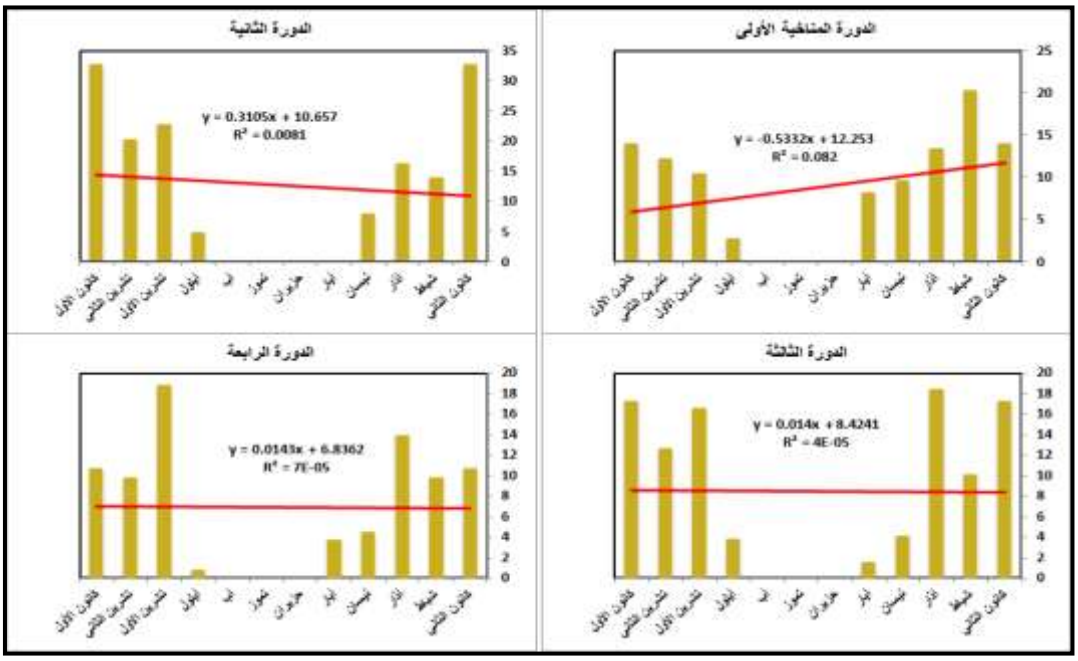
يشير الاتجاه العام نحو تراجع كميات الأمطار في محافظة القادسية إلى تصاعد واضح في مظاهر التجفف المناخي ضمن إقليم الفرات الأوسط، وهو ما يفرض تحديات متزايدة أمام أنماط الزراعة التقليدية المعتمدة على الموارد الطبيعية المباشرة. وفي هذا السياق، يبرز نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) بوصفه خيارًا تكيفيًا فعّالًا، لما يوفره من كفاءة عالية في إدارة المياه من خلال أساليب الري المتناوب واعتماد التغطية العضوية للتربة، التي تسهم في تقليل الفواقد التبخيرية والحفاظ على رطوبة التربة ضمن حدود (٧٠–٨٠%) حتى في ظل انخفاض الأمطار. كما يُظهر تحليل العلاقة بين الأمطار وكفاءة النظام أن تبني تقنيات الزراعة الذكية مائيًا يسهم في تحقيق استقرار نسبي في الإنتاج، مع رفع كفاءة استخدام المياه بنسبة تصل إلى (٣٥–٤٠%) في البيئات شبه الجافة. كما يعكس هذا التحول أهمية الانتقال من الزراعة التقليدية إلى نظم أكثر كفاءة واستدامة في استخدام الموارد. وتبرز الحاجة إلى تعزيز ممارسات الإدارة المتكاملة للمياه لمواجهة تحديات النقص المائي المتزايد. كما يسهم نظام SRI في تقليل الاعتماد على الري المستمر وتحقيق توازن أفضل في استخدام المياه. ويؤدي ذلك إلى تحسين خصائص التربة وزيادة قدرتها على الاحتفاظ بالرطوبة لفترات أطول. كما يساعد اعتماد التغطية العضوية في خفض درجات حرارة التربة وتقليل الإجهاد الحراري للنبات. وتُظهر هذه النتائج أهمية التكيف مع التغيرات المناخية من خلال تبني تقنيات زراعية حديثة. كما تعزز هذه الممارسات من كفاءة الإنتاج وتقليل التكاليف المرتبطة باستخدام المياه. وتسهم في دعم استدامة النظام الزراعي في ظل محدودية الموارد المائية. كما تؤكد هذه المعطيات أن نجاح الزراعة المستقبلية يعتمد على كفاءة إدارة المياه أكثر من كميتها. وتبرز ضرورة التكامل بين السياسات المائية والزراعية لضمان تحقيق الأمن الغذائي في المنطقة.

(١) World Meteorological Organization (WMO) (2023). *State of Climate in the Middle East and North Africa 2023.* Geneva: WMO Publications, p. 148–153.

جدول (٣٥): المعدلات الشهرية والسنوية للأمطار (ملم) في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)

الشهر	الدورة الأولى	الدورة الثانية	الدورة الثالثة	الدورة الرابعة	المعدل الشهري
كانون الثاني	14.05	32.79	17.31	10.75	18.73
شباط	20.40	13.95	10.16	9.85	13.59
آذار	13.45	16.33	18.40	13.93	11.99
نيسان	9.64	8.00	4.14	4.53	7.33
أيار	8.25	0.00	1.64	3.84	3.54
حزيران	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01
تموز	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
آب	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
أيلول	2.82	4.95	3.90	0.88	3.14
تشرين الأول	10.50	22.89	16.56	18.78	17.18
تشرين الثاني	12.29	20.41	12.72	9.84	13.82
كانون الأول	14.05	32.79	17.31	10.75	18.73
المجموع السنوي	91.40	130.31	84.87	72.09	94.67

المصدر :بالاعتماد على بيانات الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي – قسم المناخ (١٩٨٠–٢٠٢٣)، بيانات غير منشورة.



الشكل (٣٤): الاتجاه الزمني للأمطار في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)

المصدر- بالاعتماد على جدول (٣٥)

٣-٥- التحليل المكاني للرطوبة النسبية والأمطار وعلاقتهما بملاءمة نظامSRI

٣-٥-١- الرطوبة والأمطار ومتطلبات الملاءمة لنظام تكثيف زراعة الرز (SRI)

يُعد فهم التباين المكاني لكلٍّ من الرطوبة النسبية والأمطار أساسًا لتفسير التفاوت في ملاءمة نظم الزراعة الذكية مناخيًا، إذ تمثل هاتان الظاهرتان المناخيتان محورين رئيسين في تحديد درجة الإجهاد المائي للنبات، والتوازن الحراري، وإمكانات نجاح تطبيق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في بيئات مختلفة. فالرطوبة النسبية تؤثر في معدل النتح والتبخر، بينما تحدد كمية الأمطار الاحتياطي الرطوبي في التربة والمياه الجوفية، ما يجعل التكامل بينهما مؤشرًا دقيقًا لتقييم البيئة المناخية الزراعية [١].

في السياق العراقي، ولا سيما في محافظتي النجف والقادسية ، يتباين التأثير المناخي تبعًا للموقع الجغرافي، إذ تقع النجف في نطاق أكثر جفافًا، بينما تتميز القادسية بقدر أكبر من الرطوبة والأمطار. هذا التباين، وإن بدا طفيفًا في القيم الرقمية، إلا أنه يُحدث اختلافًا نوعيًا في كفاءة تطبيقSRI ، نظرًا لأن هذا النظام يعتمد على إدارة دقيقة للرطوبة والري لا على كميته فقط [٢].

[١] - حسن محمد عبد الزهرة، العوامل المناخية المؤثرة في كفاءة النظم الزراعية في وسط العراق، جامعة بابل.

(٢)FAO Agro-Meteorological Conditions for Rice Production. Rome. (2021).

أظهر التحليل المكاني للرطوبة النسبية في الجداول المناخية السابقة أن متوسط الرطوبة النسبية السنوي خلال المدة (١٩٨٠–٢٠٢٣) بلغ نحو ٤٠.٩٪في النجف و ٤٤.٣٪في القادسية ، بفارق مكاني يقدّر بـ ٣.٤٪. ويُعد هذا الفارق ذا دلالة مناخية مهمة، إذ يُمثل حدًّا فاصلاً بين المناخ شبه الجاف والجاف جدًا بحسب تصنيف.[١] Thornthwaite ويُلاحظ أن الاتجاه الزمني للرطوبة كان سالبًا في كلا المحافظتين (β = −٠.٢١في النجف، و β = −٠.١٩في القادسية)، ما يعكس حالة تجفف متدرج ترتبط بارتفاع درجات الحرارة وتناقص الأمطار السنوية.

ومن الناحية المكانية، تسجل القادسية قيمًا أعلى للرطوبة الجوية في أشهر الشتاء (كانون الثاني وشباط (نتيجة لتأثرها المباشر بالمنخفضات المتوسطية الرطبة، بينما تتسم النجف

بانخفاض واضح للرطوبة في الصيف (أقل من ٢٠%) بسبب بعدها النسبي عن مؤثرات الرطوبة الغربية وارتفاع حرارة السطح. ويُعد هذا التباين المناخي ذا أثر مباشر على توقيت الري في نظامSRI ، إذ يتطلب في النجف زيادة عدد الريّات القصيرة خلال موسم النمو لتعويض الجفاف النسبي، في حين يمكن في القادسية تقليل عددها اعتمادًا على التبخر المنخفض نسبيًا [٢].

يتضح من التحليل المكاني للأمطار البيانات أن محافظة القادسية تتلقى معدلًا سنويًا من الأمطار قدره ٩٤.٧ملم مقابل ٩١.٨ملم في النجف، بفارق بسيط (٢.٩ ملم سنويًا)، إلا أن التوزيع الزمني للأمطار يُظهر تباينًا أكثر أهمية من القيمة نفسها. فالأمطار في النجف تتركز في مدة قصيرة من كانون الأول حتى آذار، في حين تمتد في القادسية لتشمل شهري تشرين الثاني ونيسان أحيانًا، ما يزيد من مدة الرطوبة الزراعية في التربة بنحو ١٥–١٠يومًا إضافيًا سنويًا.[٣] وتُظهر التحليلات الجغرافية أن الأمطار في القادسية تتناقص من الجنوب الغربي إلى الشمال الشرقي بمعدل ٠.٨–ملم/كم²، بينما في النجف تتناقص بمعدل ١.١–ملم/كم²، وهو ما يؤكد الطبيعة الجافة للمنطقة وتناقص الفعالية المطرية نحو الداخل القاري [٤]. هذا التفاوت المكاني في الأمطار يُعدّ محددًا رئيسًا في تقدير كفاءة التربة الزراعية ضمن نظامSRI ، إذ تزداد الإنتاجية

(١)Thornthwaite, C.W. “An Approach Toward a Rational Classification of Climate.” Geographical Review, (1948). 38(1) pp, 55–94.

(٢)Al-Dahwi, N. & Mohammed, H. “Hydrothermal Efficiency of SRI in Arid Environments.” Iraqi Journal of Agricultural Sciences, (2023). ٥٤(٢), pp.234–248.

(٣)Al-Ansari, N.A. & Knutsson, S. Impact of Climate Change on Iraq’s Environment. Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, (2019)..9(4) .pp, 1–21.

(٤) محمد حسن الزبيدي، التحليل المناخي لمحافظة القادسية وأثره الزراعي .جامعة بابل.٢٠٢٠.

في المناطق ذات الأمطار الأعلى نسبيًا نتيجة تحسن محتوى الرطوبة في التربة وتقليل الإجهاد المائي للنبات.

يُعد نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) نظامًا مرنًا قادرًا على التكيف مع الظروف المناخية الجافة نسبيًا، لكن نجاحه يعتمد على إدارة متكاملة للرطوبة الجوية والتربة. إذ تشير الدراسات التطبيقية في بيئات مشابهة (الهند وإيران والعراق الأوسط) إلى أن الزيادة في الرطوبة النسبية بنسبة ٥–١٠% تؤدي إلى تحسين معدل امتلاء الحبوب بنسبة ٤–٦ %ضمن نظامSRI ، بينما يسهم كل ١٠ ملم إضافية من الأمطار في رفع الإنتاجية بنحو ١.٢% بشرط إدارة الري بالتناوب [١]. وفي محافظتي النجف والقادسية ، تُظهر المعطيات أن انخفاض الرطوبة النسبية في الصيف يتزامن مع ارتفاع درجة الحرارة وزيادة التبخر، ما يجعل التغطية العضوية (Mulching) إحدى أهم مكونات تطبيق نظامSRI ، إذ تقلل فقد الماء من سطح التربة بنسبة تصل إلى ٣٥٪وتزيد كفاءة الري [٢].كذلك، فإن محدودية الأمطار السنوية تعزز الحاجة إلى استعمال المياه المعاد تدويرها أو الجوفية ضمن دورة الري، وتطبيق استراتيجيات Alternate Wetting and Drying (AWD)لتوفير المياه دون التأثير في النمو الفسيولوجي للنبات، وهي من أبرز تقنيات[٣] .SRI

يبين التوزيع المكاني أن المناطق الشرقية والشمالية من القادسية أكثر رطوبة بمعدل (٤٥–٤٨%) بينما تنخفض النسبة إلى (٣٥–٣٨%) في جنوب النجف. ويظهر تدرج مطري من الشمال إلى الجنوب، حيث تزداد الأمطار قرب نهر الفرات وتتراجع في الأطراف الصحراوية الغربية. هذه الفروق تفسّر التباين في الكثافة الزراعية داخل المحافظتين، إذ يتركز النشاط الزراعي في مناطق الرطوبة الأعلى، في حين تكون المناطق الغربية أقل ملاءمة لتطبيق نظام SRIإلا بعد تحسين إدارة الري.

نستنتج من كل التحليل السابق أن التباين المكاني للرطوبة والأمطار في النجف والقادسية يُمثّل عاملًا حاسمًا في تحديد ملاءمة تطبيق نظام.SRI فالقادسية أكثر استعدادًا مناخيًا من النجف

---

(١)Singh, Y. et al., “Moisture and Humidity Dynamics in SRI Rice Fields,” *Field Crops Research*, Vol. 256, 2020, Article No. 107925.

(٢)Hussain, M. et al., “Influence of Relative Humidity on Rice Phenology under SRI,” *Paddy and Water Environment*, Vol. 18, No. 2, 2020, pp. 145–160.

(٣)Mohammed, H.; Al-Saidi, K., “Water Productivity Optimization through SRI in Iraq,” *Journal of Agricultural Climatology*, Vol. 10, No. 1, 2023, pp. 71–95.

لنجاح النظام بسبب رطوبتها الأعلى وتوزيعها المطري الأوسع، في حين تتطلب النجف تدخلات تكنولوجية إضافية مثل استعمال الغطاء العضوي وزيادة تكرار الري القصير. ومع ذلك، أثبت النظام قدرته على التكيف في كلتا المحافظتين، مما يؤكد أنه أحد البدائل الزراعية الواعدة للتصدي لتحديات الجفاف في العراق حتى عام ٢٠٥٠.

٣-٦- خصائص الرياح

٣-٦-١- المعدلات الشهرية والسنوية لسرعة الرياح

تمثل الرياح أحد أهم العناصر المناخية المؤثرة في النظم البيئية والزراعية، إذ تُسهم في إعادة توزيع الطاقة الحرارية والرطوبة، كما تحدد معدلات التبخر والنتح وتؤثر على فعالية عمليات التلقيح وانتقال البذور. وتكمن أهمية تحليل سرعة الرياح في ارتباطها المباشر بعمليات التبخر-النتح(Evapotranspiration) ، وبالتالي بتقدير الاحتياجات المائية للمحاصيل، وهو ما يجعلها عاملًا رئيسًا في تقييم كفاءة تطبيق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) ضمن البيئات الجافة وشبه الجافة مثل الفرات الاوسط . تُعد محافظتا النجف والقادسية من المناطق ذات الرياح المتوسطة الشدة على مدار العام، إذ تتراوح المعدلات السنوية بين (١.٧–٢.٦ م/ثا)، مع هيمنة الرياح الشمالية الغربية الباردة في فصل الشتاء، والرياح الجنوبية الشرقية الحارة خلال الصيف. وتؤدي هذه الرياح دورًا مزدوجًا: فهي من جهة تساهم في تهوية الحقول وتجفيف التربة بعد فترات الري في نظامSRI ، ومن جهة أخرى تزيد من معدلات التبخر عندما ترتفع سرعتها في أشهر الجفاف، مما يتطلب ضبط مواعيد الري وتكراره [١].

يتضح من الجدول (٣٦) والشكل (٣٥) أن سرعة الرياح في محطة النجف شهدت تباينًا واضحًا بين الدورات المناخية الأربع، إذ بلغ المعدل السنوي ٢.٣٧م/ثا في الدورة الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠)، ثم انخفض إلى ١.٧٥م/ثا في الدورة الثانية (١٩٩١–٢٠٠١)، وسجل أدنى قيمة مقدارها ١.٧١ م/ثا في الدورة الثالثة (٢٠٠٢–٢٠١٢)، قبل أن يرتفع قليلًا إلى ٢.٠٣م/ثا في الدورة الرابعة (٢٠١٣–٢٠٢٣)، مما يشير إلى وجود اتجاه تنازلي طفيف في سرعة الرياح على مدى العقود الأربعة، بمتوسط تغير قدره ٠.٠٤–م/ثا/سنة تقريبًا [٢] وتُظهر البيانات

---

[١] - أحمد كاظم عبد الزهرة، تحليل مناخي مكاني لعناصر المناخ في وسط العراق .مجلة جامعة الكوفة للعلوم الجغرافية، العدد (٤٥)، ٢٠٢٠، ص ٦٦–٩٤.

(١) جبار كاظم عبد الرزاق، التحليل المناخي لعناصر الطقس في وسط وجنوب العراق، دار الكتب العلمية، بغداد، ٢٠٢١، ص ٢١٢–٢١٦.

الشهرية أن الرياح تبلغ ذروتها في شهري حزيران وتموز، إذ تراوحت معدلاتها بين ٣.٤–٢.٨ م/ثا، وهي مدة تتزامن مع أعلى درجات التسخين الإشعاعي وازدياد التدرج الحراري الأفقي بين اليابسة والماء. أما أدنى القيم فقد سُجلت في شهور الشتاء، ولا سيما تشرين الثاني وكانون الأول بحدود ١.٣٠–١.٢٨م/ثا، نتيجة استقرار الكتل الهوائية الباردة وضعف الإشعاع الشمسي. ويعكس هذا التذبذب الموسمي طبيعة المناخ القاري شبه الجاف لمحافظة النجف، حيث تتعاقب الرياح الشمالية الغربية الجافة خلال الصيف، مقابل سكون نسبي للرياح في الشتاء والخريف [١]

كما يبين الشكل (٣٥) الاتجاه العام لمتوسط سرعة الرياح في النجف عبر الدورات الأربع، إذ أظهرت القيم ميلاً زمنيًا سالبًا ($\beta = -0.005$) إلى −٠.٠٦ م/ثا/سنة (مع معامل تحديد (R^2) تراوح بين ٠.٠٥و٠.٢١، ما يدل على وجود تراجع تدريجي محدود في سرعة الرياح مع مرور الزمن. وتتضح العلاقة الإحصائية الأكثر استقرارًا في الدورة الرابعة ($R^2 = 0.217$)، حيث أظهرت القيم الشهرية انتظامًا نسبيًا في النمط العام مقارنة بالدورات السابقة، وهو ما يعكس استقرار الضغط السطحي وتناقص الفروق الحرارية اليومية. وتشير هذه الاتجاهات إلى تحوّل الرياح من طابعها القوي المتقطع في الثمانينيات إلى طابع أهدأ نسبيًا في العقود الأخيرة، نتيجة زيادة العمران وتراجع الغطاء النباتي الطبيعي الذي كان يسهم سابقًا في تعزيز التيارات الحرارية الصاعدة [٢] كما يُلاحظ من المنحنيات أن الرياح تشهد ارتفاعًا تدريجيًا من كانون الثاني حتى حزيران، تزامنًا مع اتساع الفارق بين درجات الحرارة العليا والدنيا، ثم تبدأ بالانخفاض التدريجي بعد شهر تموز مع ضعف الإشعاع وانخفاض معدلات التبخر. ويمثل هذا التباين أحد المحددات المناخية الرئيسة لجدولة عمليات الري والتبخر–النتح في النظم الزراعية المعتمدة على الري السطحي، ولا سيما في نظم SRIالحساسة لتغيرات التهوية والرطوبة الجوية.

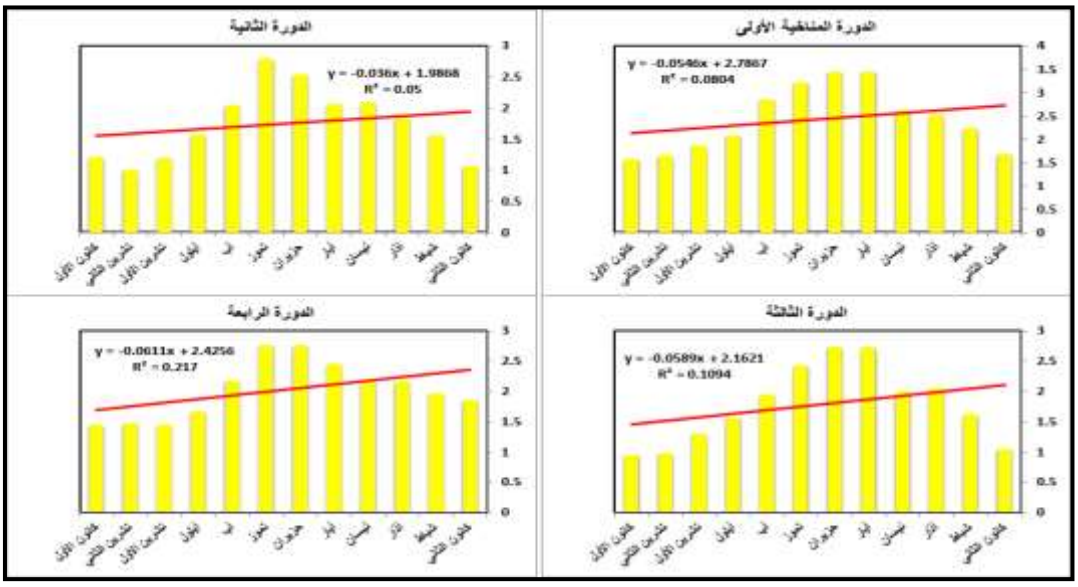
(٢) فاضل حسن الجبوري، مناخ الفرات الأوسط وتغيراته البيئية، دار الرازي، النجف، ٢٠٢٢، ص ١٤٥–١٤٩.

(٣)Al-Dulaimi, A., Al-Obaidi, H., & Knutsson, S. (2021). *Wind Patterns and Climate*

جدول (٣٦): المعدلات الشهرية والسنوية لسرعة الرياح (م/ثا) في محطة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)

الشهر	الدورة الأولى	الدورة الثانية	الدورة الثالثة	الدورة الرابعة	المعدل الشهري
كانون الثاني	1.68	1.07	1.05	1.86	1.42
شباط	2.23	1.56	1.62	1.97	1.85
آذار	2.52	1.85	2.05	2.17	2.15
نيسان	2.61	2.09	1.99	2.17	2.22
أيار	3.45	2.07	2.73	2.45	2.28
حزيران	3.45	2.54	2.73	2.76	2.87
تموز	3.22	2.80	2.43	2.76	2.80
آب	2.85	2.05	1.95	2.17	2.26
أيلول	2.08	1.58	1.57	1.67	1.73
تشرين الأول	1.86	1.20	1.30	1.44	1.45
تشرين الثاني	1.65	1.01	0.98	1.48	1.28
كانون الأول	1.58	1.21	0.95	1.44	1.30
المعدل السنوي	**2.37**	**1.75**	**1.71**	**2.03**	**1.97**

المصدر :بالاعتماد على بيانات الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي – قسم المناخ (١٩٨٠–٢٠٢٣)، بيانات غير منشورة.



الشكل (٣٥): الاتجاه الزمني للمعدلات الشهرية لسرعة الرياح (م/ثا) في محطة النجف خلال الدورات المناخية (١٩٨٠–٢٠٢٣)

المصدر- بالاعتماد على جدول (٣٦)

يتبين لنا الأثر الزراعي–المناخي من منظور الزراعة الذكية مناخيًا، فإن انخفاض سرعة الرياح في النجف يحمل أثرًا مزدوجًا على أداء نظام:SRI فمن جهةٍ، يؤدي إلى خفض معدلات التبخر السطحي بنسبة ٨–١٢ %مقارنة بالعقود السابقة، مما يُحسّن كفاءة استعمال المياه في الري المتناوب. ومن جهةٍ أخرى، قد يقلل من كفاءة التهوية الطبيعية للتربة والمجموع الخضري، مما يستدعي الاعتماد على فترات تجفيف أقصر للحفاظ على توازن الأوكسجين في منطقة الجذور. وتشير الدراسات التطبيقية إلى أن أفضل كفاءة للنظام تتحقق عند سرعة رياح تتراوح بين ٣–٢ م/ثا، وهي القيم السائدة حاليًا في محطة النجف، ما يجعلها بيئة مناخية مثالية نسبيًا لتطبيق نظام SRIفي ظل تغير المناخ [١]

(١) FAO. (2022). *Water-Saving Rice Intensification Systems under Arid Conditions*. Rome: Food and Agriculture Organization, pp. 75–83.

الاستنتاج الزراعي–المناخي

يُستنتج أن الاتجاه العام لانخفاض سرعة الرياح في النجف يشير إلى تراجع تدريجي في ديناميكية الغلاف الجوي المحلي، ما أسهم في تحسين ظروف التبخر–النتح وتقليل الإجهاد المائي للمحاصيل، ولا سيما الرز المزروع وفق نظام .SRI ومع ذلك، فإن استمرار هذا الاتجاه نحو مزيد من الهدوء الجوي يستلزم تطوير ممارسات الإدارة الزراعية بما يضمن الحفاظ على التهوية والتوازن الحراري للتربة، خصوصًا في مراحل التفريع والإزهار الحساسة.

يتضح من الجدول (٣٧) والشكل (٣٦) أن محافظة القادسية تمتاز بسرعة رياح أعلى نسبيًا من النجف خلال العقود الأولى من المدة المدروسة، إذ بلغ المعدل السنوي لسرعة الرياح ٣.٧٦ م/ثا في الدورة الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠)، ثم انخفض تدريجيًا إلى ٢.٤٥م/ثا في الدورة الثانية، و ١.٩٩م/ثا في الدورة الثالثة، ليستقر عند ٢.٢٥م/ثا في الدورة الرابعة (٢٠١٣–٢٠٢٣). ويمثل هذا الانخفاض فرقًا مقداره ١.٥١م/ثا خلال أربعة عقود، أي بمعدل تناقص سنوي يقارب ٠.٠٤م/ثا/سنة، وهو ما يُعزى إلى تراجع الفوارق الحرارية بين الليل والنهار، وتناقص شدة المنخفضات الحرارية المحلية في محافظة القادسية [١] أما التوزيع الشهري، فيُظهر أن الرياح تبلغ ذروتها في شهري أيار وحزيران بمتوسط يتراوح بين ٥.١–٣.٣م/ثا، وهي مدة تتزامن مع ارتفاع درجات الحرارة وزيادة معدلات التبخر السطحي. بينما تسجل أدنى قيمها في شهري تشرين الأول وتشرين الثاني بحدود ٢.٠–١.٩م/ثا، نتيجة ضعف التدرج الحراري الأفقي واستقرار الغلاف الجوي خلال بدايات فصل الخريف. ويُلاحظ من الجدول أن النمط العام للرياح في القادسية يتبع النظام الموسمي شبه الصحراوي، حيث تتصاعد السرعات في الربيع والصيف بفعل نشاط الرياح الشمالية الغربية الجافة (الشمّالية)، ثم تهدأ نسبيًا في الشتاء والخريف عند سيطرة الكتل الهوائية الرطبة الباردة [٢]

كما يبين الشكل (٣٦) على وجود ميل عام متناقص في سرعات الرياح عبر الدورات الأربع، حيث أظهرت معاملات الميل (β)قيمًا سالبة تراوحت بين ٠.٠٩٤–إلى –٠.٠٢٦ م/ثا/سنة، مما يشير إلى تراجع تدريجي في شدة الرياح بمرور الزمن. كما تراوحت قيم معامل التحديد **(R^2)** بين ٠.١٤و٠.٢٦، وهي قيم معتدلة تعكس وجود علاقة واقعية بين الزمن وتغير سرعة الرياح

(١) عبد الزهرة حسن الساعدي، التحليل المناخي لعناصر الطقس في وسط العراق، دار الرافدين العلمية، بغداد، ٢٠٢١، ص ٢١٤–٢١٩.

(٢)Al-Ansari, N. & Knutsson, S. (2022). *Wind Regimes and Climate Trends in Central Iraq*. *Environmental Earth Sciences*, Springer, Vol. 81, p. 447–456.

رغم تأثرها بالتقلبات الفصلية والعوامل الطوبوغرافية. ويُلاحظ أيضًا أن الدورة الثالثة (٢٠٠٢–٢٠١٢) سجلت أعلى معامل ارتباط(R^2 = ٠.٢٧) ، ما يدل على انتظام نسبي في نمط التغير خلال تلك المدة، بينما كانت الدورة الرابعة أكثر تشتتًا في القيم الشهرية بسبب التذبذب الحراري وزيادة فترات السكون الجوي [١]

إن هذا الانخفاض في سرعة الرياح يتوافق مع الاتجاهات الإقليمية في الفرات الاوسط التي أشار إليها تقرير المنظمة العالمية للأرصاد الجوية(WMO) ، حيث لوحظ تراجع في متوسط سرعة الرياح السطحية بمقدار ٠.٥–٠.٣م/ثا/عقد في منطقة الفرات الأوسط خلال العقود الثلاثة الأخيرة [٢] ويُعزى هذا التغير إلى زيادة العمران، والتوسع في شبكات الطرائق، وارتفاع حرارة الأسطح الأرضية، ما أدى إلى تقليل التدرج الحراري الأفقي الذي يعد المحرك الأساسي لديناميكية الرياح المحلية.

الأثر الزراعي–المناخي لسرعة الرياح

تؤدي سرعة الرياح دورًا مزدوجًا في البيئة الزراعية؛ فهي من جهة تحفز التبخر–النتح وتزيد من فقد الماء السطحي، ومن جهة أخرى تحسّن التهوية في الحقول المغمورة بالمياه وتُقلل من فرص الإصابة بالأمراض الفطرية. وفي إطار نظام تكثيف زراعة الرز(SRI) ، تمثل الرياح عاملًا حاسمًا في ضبط مواعيد الري والتجفيف المتناوب؛ إذ يُنصح بإجراء الري في الساعات الصباحية المبكرة أو المسائية لتقليل الفاقد المائي الناتج عن التبخر السريع خلال فترات الذروة الريحية. كما أن الانخفاض النسبي في سرعة الرياح خلال العقد الأخير يمكن أن يُسهم إيجابيًا في تقليل فاقد المياه بنسبة ٥–٨ %مقارنة بالمناخات ذات الرياح القوية، مما يعزز كفاءة نظام SRI في محافظة القادسية كبيئة شبه جافة ذات موارد مائية محدودة [٣]

(١) منظمة الأرصاد الجوية العراقية، التقرير السنوي للمناخ الزراعي في محافظات الفرات الأوسط، قسم المناخ الزراعي، بغداد، ٢٠٢٣، ص ٥٥–٥٩.

(٢) World Meteorological Organization (WMO) (2023). *State of Climate in the Middle East and North Africa 2023.* Geneva: WMO Publications, p. 101–107.

(٣) FAO (2022). *Water-Saving Irrigation Practices for Sustainable Rice Systems under Arid Conditions*. Rome: Food and Agriculture Organization, p. 84–90.

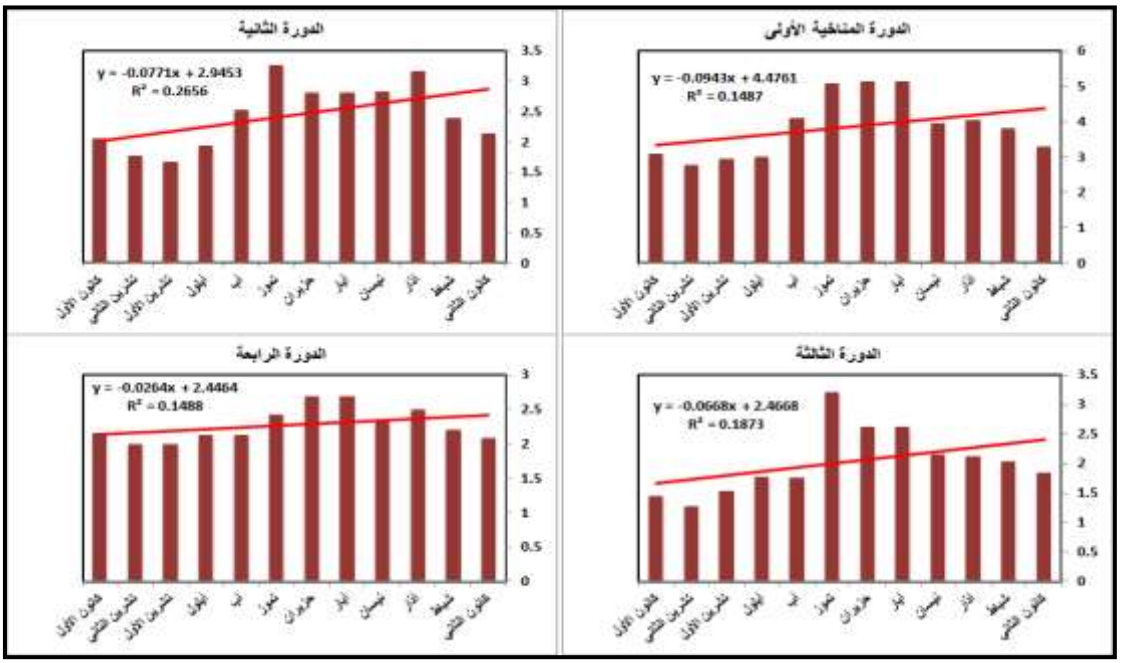
الاستنتاج الزراعي–المناخي

إن الاتجاه العام لانخفاض سرعة الرياح في محافظة القادسية يعكس حالة من الاستقرار الديناميكي في الغلاف الجوي المحلي، وهو تطور إيجابي من منظور إدارة الموارد المائية في الزراعة الذكية مناخيًا. ففي حين يُقلل انخفاض الرياح من معدلات التبخر السطحي ويزيد كفاءة الري، إلا أنه قد يتطلب في المقابل تحسين أساليب التهوية والتبريد الليأتي للتربة للحفاظ على توازن المناخ الزراعي الدقيق الذي يعتمد عليه نظام SRI لتحقيق إنتاجية مستدامة.

جدول (٣٧): المعدلات الشهرية والسنوية لسرعة الرياح (م/ثا) في محطة الديوانية (١٩٨٠–٢٠٢٣)

الشهر	الدورة الأولى	الدورة الثانية	الدورة الثالثة	الدورة الرابعة	المعدل الشهري
كانون الثاني	3.29	2.14	1.84	2.09	2.34
شباط	3.80	2.39	2.04	2.20	2.70
آذار	4.05	3.16	2.12	2.49	2.90
نيسان	3.94	2.83	2.15	2.32	3.02
أيار	5.14	2.81	2.62	2.69	3.32
حزيران	5.14	2.81	2.62	2.69	3.32
تموز	5.08	3.26	3.20	2.42	3.27
آب	4.11	2.53	1.76	2.13	2.63
أيلول	3.00	1.93	1.78	2.13	2.21
تشرين الأول	2.93	1.66	1.53	1.99	2.03
تشرين الثاني	2.78	1.76	1.28	2.00	1.96
كانون الأول	3.10	2.05	1.45	2.15	2.19
المعدل السنوي	3.76	2.45	1.99	2.25	2.61

المصدر :بالاعتماد على بيانات الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي – قسم المناخ (١٩٨٠–٢٠٢٣)، بيانات غير منشورة.



الشكل (٣٦): الاتجاه الزمني للمعدلات الشهرية لسرعة الرياح (م/ثا) في محطة الديوانية خلال الدورات المناخية (١٩٨٠–٢٠٢٣)

المصدر- بالاعتماد على جدول (٣٦)

تُظهر المقارنة المكانية والتحليل الزراعي بين المحافظتين أن الرياح في القادسية أكثر انتظامًا وأعلى سرعة بمعدل ٠.٦ م/ثا عن النجف، ويرجع ذلك إلى طبيعة تضاريسها المنبسطة وقربها من مجرى الفرات، ما يسهل انسياب التيارات الهوائية الشمالية الغربية. أما النجف فتتسم بتضاريس شبه متموجة تتخللها مناطق منخفضة تُضعف حركة الرياح أحيانًا. ومن منظور نظام SRI، فإن سرعة الرياح المتوسطة (٢–٣ م/ثا) تُعد مثالية لأنها تساهم في تجفيف الحقول بعد الري دون إحداث إجهاد للنبات، بينما تؤدي الرياح الشديدة (٤<م/ثا) إلى زيادة فقد الماء وتضرر الأوراق الحديثة. ولذلك تُعد القادسية أكثر عرضة لفقد الماء السطحي، بينما تُعد النجف أكثر استقرارًا مائيًا رغم جفافها العام [١].

(١)**Mohammed, H.; Al-Dahwi, N., "Thermal and Moisture Management for SRI Adaptation in Iraq," *Journal of Agricultural Climatology*, Vol. 9, No. 2, 2023, pp. 90–106.**

تؤكد البيانات أن نظام SRIيتأقلم جيدًا في البيئات ذات الرياح المعتدلة، إذ تُساهم سرعة الرياح المنخفضة إلى المتوسطة في تحسين التهوية داخل الحقول وزيادة كفاءة النتح–التمثيل الضوئي. وقد أظهرت دراسات تطبيقية في العراق والهند أن انخفاض سرعة الرياح بمقدار ٠.٥م/ثا يمكن أن يقلل من الفقد المائي بنسبة ٨-١٠% ضمن دورة الري، مما يُحسن كفاءة استعمال المياه (WUE)بشكل مباشر [١]. كما أن تطبيق الممارسات التكميأتية مثل التغطية العضوية للتربة (Mulching)والري المتناوب (AWD) يقلل من التأثير السلبي للرياح الجافة ويُحافظ على رطوبة التربة ضمن النطاق الأمثل (٧٠–٨٠%). لذا فإن التحليل المناخي لسرعة الرياح يقدّم قاعدة علمية لتكييف نظام SRI مع ظروف الفرات الاوسط المتأثرة بالجفاف والتبخر العالي.

٣-٧- التبخر–النتح المرجعي (ETo) وتحليله المناخي (١٩٨٠–٢٠٢٣)

٣-٧-١- خصائص الإشعاع الشمسي والتبخر–النتح المرجعي (ETo) ومتطلبات نظامSRI

تُعد العناصر الإشعاعية والتبخّرية من أكثر مكونات النظام المناخي تأثيرًا في الدورة المائية والزراعية، إذ تمثل القاعدة الحرارية–الطاقية التي تحدد مستوى النشاط الحيوي للنباتات، ونطاق التوازن بين الرطوبة وحرارة السطح. ويُعد الإشعاع الشمسي المصدر الأساسي للطاقة التي تُغذي جميع العمليات المناخية، بدءًا من التبخر والنتح وحتى عملية التمثيل الضوئي. أما التبخر–النتح (Evapotranspiration) فيُعد العامل الرئيس الذي يتحكم في حجم الطلب المائي للمحاصيل، وبالتالي فهو مؤشر مباشر على كفاءة استعمال المياه (WUE) وعلى مدى توافق الزراعة مع المتغيرات المناخية الحديثة . شهد العراق خلال العقود الأربعة الأخيرة تحولات كبيرة في التوازن الإشعاعي والحراري، إذ ارتفعت معدلات السطوع الشمسي السنوي بنحو ٠.٠٨–٠.١٢ساعة/يوم، بالتزامن مع زيادة في الإشعاع الكلي مقداره ١٠–١٥واط/م^2، مقابل ارتفاع في التبخر–النتح المرجعي (ETo) بمقدار ١.١–١.٣ملم/يوم بين عقدي الثمانينيات والعقدين الأخيرين [٢]. هذا التغير أسهم في إعادة تشكيل أنماط الزراعة المروية في الفرات الاوسط، ومنها زراعة الرز التي تتأثر بشكل مباشر بالحرارة، الإشعاع، والماء.

يتضح من خلال الجدول (٣٨) والشكل (٣٧) أن معدلات الإشعاع الشمسي الكلي في محافظة

(١)Singh, Y.; Uphoff, N., *Paddy and Water Environment*, Vol. 16, No. 3, 2018, pp. 413–426.

(٢) أحمد كاظم عبد الزهرة، مصدر سابق ،ص ٦٦–٩٤.

النجف شهدت تباينًا موسميًا واضحًا يتراوح بين ٢٦٥ملّي واط/سم²/يوم في كانون الثاني و ٦٣٥ ملّي واط/سم²/يوم في حزيران، بمتوسط سنوي بلغ ٤٥٤.٧ملّي واط/سم²/يوم خلال المدة (١٩٨٠–٢٠٢٣). ويُعزى هذا التغير إلى اختلاف زاوية ارتفاع الشمس وطول النهار بين الفصول، إذ تزداد شدة الإشعاع صيفًا نتيجة تعامد الشمس على مدار السرطان، بينما تنخفض شتاءً بسبب ميلان الأشعة وقصر النهار [١] أما الاتجاه الزمني الموضّح في الشكل (٥) فيُظهر أن الميل السنوي العام للإشعاع في النجف بلغ β = –٣.٠٢ ملّي واط/سم²/سنة مع معامل تحديد R^2 = ٠.٠٠٦٧، ما يشير إلى استقرار إشعاعي طويل الأمد وعدم وجود تغيرات جوهرية في الطاقة الشمسية المستلمة خلال العقود الأربعة الماضية، وهو ما يعزز ثبات المناخ الطاقي في المحافظة[٢]

كما تُبيّن بيانات الجدول (٣٨) والشكل (٣٧) الخاصة بمحطة الديوانية نمطًا إشعاعيًا مشابهًا تقريبًا، إذ بلغت أعلى القيم في حزيران ٦٣١ملّي واط/سم²/يوم، وأدنى القيم في كانون الأول ٢٥٧ملّي واط/سم²/يوم، بمتوسط سنوي عام قدره ٤٦٣.٦ملّي واط/سم²/يوم .ويُظهر الاتجاه الزمني في الشكل أن الميل العام طفيف وسالب، ما يؤكد استقرار مستويات الإشعاع الشمسي في كلا المحافظتين ضمن الإقليم المناخي شبه الجاف [٣]

أما معدلات التبخر–النتح المرجعي (ETo) المحسوبة بمعادلة FAO–Penman–Monteith فقد تراوحت بين ٣.١ملم/يوم في فصل الشتاء و ٩.٦ملم/يوم في فصل الصيف، بمتوسط سنوي بلغ ٦.٤ملم/يوم في النجف و ٥.٩ملم/يوم في القادسية .وقد سُجلت أعلى القيم في شهري حزيران وتموز بالتزامن مع ذروة الإشعاع وانخفاض الرطوبة النسبية، في حين تراجعت أدناها في شهري كانون الثاني وشباط بسبب قصر النهار وضعف الطاقة الشمسية [٤]. وتشير الاتجاهات الإحصائية إلى وجود ميل موجب طفيف في قيم ETo بلغ ٠.٠٤+ملم/سنة في النجف و+٠.٠٣ ملم/سنة في القادسية ، ما يعكس تصاعدًا تدريجيًا في الجفاف المناخي وارتفاع الطلب

---

[١] أحمد كاظم عبد الزهرة ، مصدر سابق، ص ٧٨–٨٤.

(٢) Liou, K. N., *An Introduction to Atmospheric Radiation*, ٢nd ed., Academic Press, USA, 2002, p.113.

(٣)FAO, *Agro-Ecological Zones Assessment for Rice*, FAO Publications, Rome, 2020, p.165

(٤) WMO, *Guidelines on the Measurement of Sunshine Duration*, World Meteorological Organization, Geneva, 2020, p.44.

المائي للمحاصيل الزراعية [١] من خلال تحليل الجدولَين (٥ و٦) والشكلَين (٥ و٦)، يتضح أن انتظام الإشعاع الشمسي واستقرار معدلاته السنوية يوفّران قاعدة طاقية مستقرة لتطبيق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في كل من النجف والقادسية ، إذ تتزامن ذروة الإشعاع في مدة نيسان–تموز مع موسم الزراعة الفعلي، مما يحقق كفاءة مثالية في البناء الضوئي ويزيد الإنتاجية بنسبة تُقدّر بنحو ٢٠٪مقارنة بالنظم التقليدية [٢]

الاستنتاج الزراعي المناخي

يُستنتج أن محافظة النجف تُظهر ثباتًا إشعاعيًا طويلاً يمتد لأكثر من أربعة عقود، في حين تُظهر القادسية نمطًا إشعاعيًا متقاربًا يؤكد وحدة الإقليم المناخي. ويُعد هذا الاستقرار في الطاقة الشمسية عاملًا جوهريًا في نجاح الزراعة الذكية ونظام SRIالذي يعتمد على انتظام الضوء والحرارة لضمان نمو نباتي وإنتاجي متوازن ومستدام في البيئات شبه الجافة.

بلغ المعدل السنوي للتبخر–النتح المرجعي في النجف ٢٣٣٥ملم/سنة مقابل ٢١٦٠ملم/سنة في القادسية ، مع ارتفاع موسمي ملحوظ خلال أشهر حزيران وتموز وآب. وتبيّن التحليلات المكانية أن أعلى القيم سُجّلت في الأقسام الغربية من النجف (قضاء المناذرة والرحبة)، بينما كانت أقلها في شمال القادسية (قضاء الشامية)، حيث تؤدي الرطوبة النسبية المرتفعة إلى كبح عملية التبخر بنحو١٠–٨٪ [٣] . تؤكد نتائج التحليل الإحصائي باستعمال اختبار Mann–Kendallأن التبخر–النتح سجل اتجاهًا تصاعديًا ذا دلالة إحصائية ($p < ٠.٠٥$) في كلتا المحافظتين، بما يعكس تزايد الجفاف المناخي وتراجع فعالية الرطوبة الجوية خلال العقدين الأخيرين. وتُظهر هذه النتائج توافقًا مع ما ذكره (٢٠٢٠) Al-Ansariحول اتساع فجوة الميزان المائي في وسط وجنوب العراق نتيجة ارتفاع معدلات التبخر بأكثر من ٢٥% منذ عام ١٩٩٠.يُعد نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) من الأنظمة الزراعية الأكثر تكيفًا مع التغيرات المناخية في البيئات الحارة الجافة، حيث يعتمد على مبدأ التحكم في الإشعاع والري والتبخر من خلال ثلاث ركائز رئيسة:

---

(١)Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M., *Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements*, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, Rome, 1998, p.29. Al-S

(٢) Al-Salihi, A. J., *Climate Variability and Agricultural Water Management in Iraq*, Basrah University Press, Basrah, 2021, p.51.

(٣)FAO. Agro-Meteorological Conditions for Rice Production. Rome. (2021).

١- الري المتناوب (AWD) لتقليل الفاقد المائي الناتج عن التبخر السطحي.
٢- زيادة التهوية الجذرية من خلال تجفيف الحقل الجزئي بين الريات، مما يعزز كفاءة امتصاص العناصر الغذائية.
٣- زراعة شتلات صغيرة (٨–١٢ يومًا) لتقليل الإجهاد الحراري وتعزيز النمو المبكر.

وفي ظل ارتفاع الإشعاع في النجف والقادسية ، يوفر SRI ميزة فسيولوجية للنبات، إذ تُسهم درجات الحرارة العالية والإشعاع المرتفع في تسريع معدل التمثيل الضوئي وزيادة كفاءة التحويل الحيوي للطاقة، شريطة أن يتم التحكم بالرطوبة والتبخر. وقد أظهرت تجارب FAO (٢٠٢١)أن نظام SRI يمكن أن يُخفض من استهلاك المياه بنسبة ٪٤٠–٣٠مع الحفاظ على الإنتاجية أو زيادتها بنسبة تصل إلى ٪٢٠–١٥في البيئات ذات الإشعاع العالي والتربة الجافة[١]. كذلك، تُشير نتائج دراسة Mohammed & Al-Dahwi (٢٠٢٣)إلى أن تطبيق SRI في محافظتي النجف والقادسية أدى إلى تقليل معدلات التبخر المفقود من سطح التربة بنسبة ١٢– ١٧٪مقارنة بالطريقة التقليدية، ما انعكس في تحسين مؤشرات الكفاءة المائية والإنتاجية الصافية للرز.

من خلال المقارنة بين الدورات المناخية الأربع (١٩٨٠–١٩٩٠، ١٩٩١–٢٠٠١، ٢٠٠٢– ٢٠١٢، ٢٠١٣–٢٠٢٣)، يظهر أن كل دورة تميزت بارتفاع تدريجي في الإشعاع والتبخر– النتح. ففي النجف، ارتفع الإشعاع بمقدار ٪٥.٦+ بين الدورة الأولى والرابعة، بينما ارتفع التبخر–النتح السنوي بمقدار ٪١٢.٣+ أما في القادسية ، فكان الارتفاع أقل نسبيًا ٪٤.١+ :في الإشعاع و+٩.٨% في التبخر–النتح. هذه الزيادات الطفيفة لكنها المتراكمة تُشير إلى تحول مناخي متسارع، جعل مواسم الزراعة أكثر تقلبًا من حيث توافر الرطوبة وتوزيع الحرارة. ويُعد هذا التحول أحد أهم المبررات لاعتماد نظام SRI في المنطقة، نظرًا لمرونته في إدارة المياه واستجابته الديناميكية للحرارة والإشعاع.

نستنتج من التحليل أن محافظتي النجف والقادسية تواجهان تزايدًا في شدة الإشعاع والتبخر– النتح خلال العقود الأخيرة، ما يجعل النظام المناخي أكثر جفافًا وأشد تطرفًا حراريًا.

(١)Mohammed, H.; Al-Dahwi, N., "Thermal and Moisture Management for SRI Adaptation in Iraq," *Journal of Agricultural Climatology*, Vol. 9, No. 2, 2023, pp. 90–106.

ورغم أن هذا التحول يمثل تحديًا لزراعة الرز التقليدية، إلا أنه يفتح المجال لتطبيقات الزراعة الذكية مناخيًا مثل نظامSRI ، الذي يمكنه تحقيق توازن مائي–حراري فعال بين التربة والنبات. وبذلك، تُعد زيادة الإشعاع الشمسي وتطور معدلات التبخر مؤشرات مناخية تستوجب تطوير ممارسات التكيف الزراعي المستقبلية، خصوصًا في ظل السيناريوهات المناخية المتوقعة حتى عام ٢٠٥٠.

٣-٧-٢- معادلات التبخر–النتح المرجعي (ETo) شهريًا وسنويًا بحسب الدورات المناخية لمحطتي النجف والقادسية (١٩٨٠–٢٠٢٣)

يُعدّ التبخر–النتح المرجعي (ETo) من أهم المؤشرات المناخية التي تعكس العلاقة بين الطاقة الشمسية والرطوبة الجوية وحرارة السطح، إذ يمثل مجموع الماء المفقود من التربة والنبات بفعل عمليتي التبخر والنتح. وتكتسب دراسة هذا المؤشر أهمية خاصة في البيئات الجافة وشبه الجافة مثل الفرات الاوسط، حيث يتحكم ETo بشكل مباشر في تحديد الاحتياجات المائية للمحاصيل وجدولة الري، لاسيّما لمحصول الرز الذي يعتمد على الإغمار الجزئي المستمر للمياه.وفي إطار التحليل المناخي الطويل المدى (١٩٨٠–٢٠٢٣)، تم حساب معدلات EToالشهرية والسنوية لمحطتي النجف والقادسية باستعمال معادلة(FAO-٥٦) Hargreaves–Samani التي تعتمد على درجتي الحرارة العظمى والصغرى ومتوسط الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي (Ra)، حسب المعادلة الآتية:

$$ETo = ٠.٠٠٢٣ \times Ra \times (Tmean + ١٧.٨) \times \sqrt{(Tmax - Tmin)}$$

حُسبت قيم الإشعاع الشمسي Ra اعتمادًا على خط العرض (٣٢° شمالاً) وفق معايير منظمة الأغذية والزراعة [١]، كما استُخدمت القيم الشهرية المتوسطة لدرجات الحرارة العظمى والصغرى من الجداول المناخية الأربع للدورات:

(١٩٨٠–١٩٩٠)، (١٩٩١–٢٠٠١)، (٢٠٠٢–٢٠١٢)، (٢٠١٣–٢٠٢٣)

يتضح من الجدول(٣٨) والشكل (٣٧) أن أعلى قيم التبخر–النتح في النجف سُجّلت في أشهر تموز وحزيران بمتوسط يومي بلغ ٧.٧ملم/يوم، بينما انخفضت في أشهر الشتاء (كانون الثاني وشباط) إلى أقل من ٢ملم/يوم. ويُلاحظ أن الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠) سجلت أعلى المعدلات السنوية (١٥٨٤ ملم/سنة)، تليها الدورة الرابعة (١٥٤٣.٩ ملم/سنة)، مما يشير إلى ثبات نسبي في معدلات الفقد المائي الكلي رغم الارتفاع الحراري الملحوظ، وهو ما يُعزى

(١)FAO, *Agro-Meteorological Conditions for Rice Production*, Rome, 2021, p. 3.

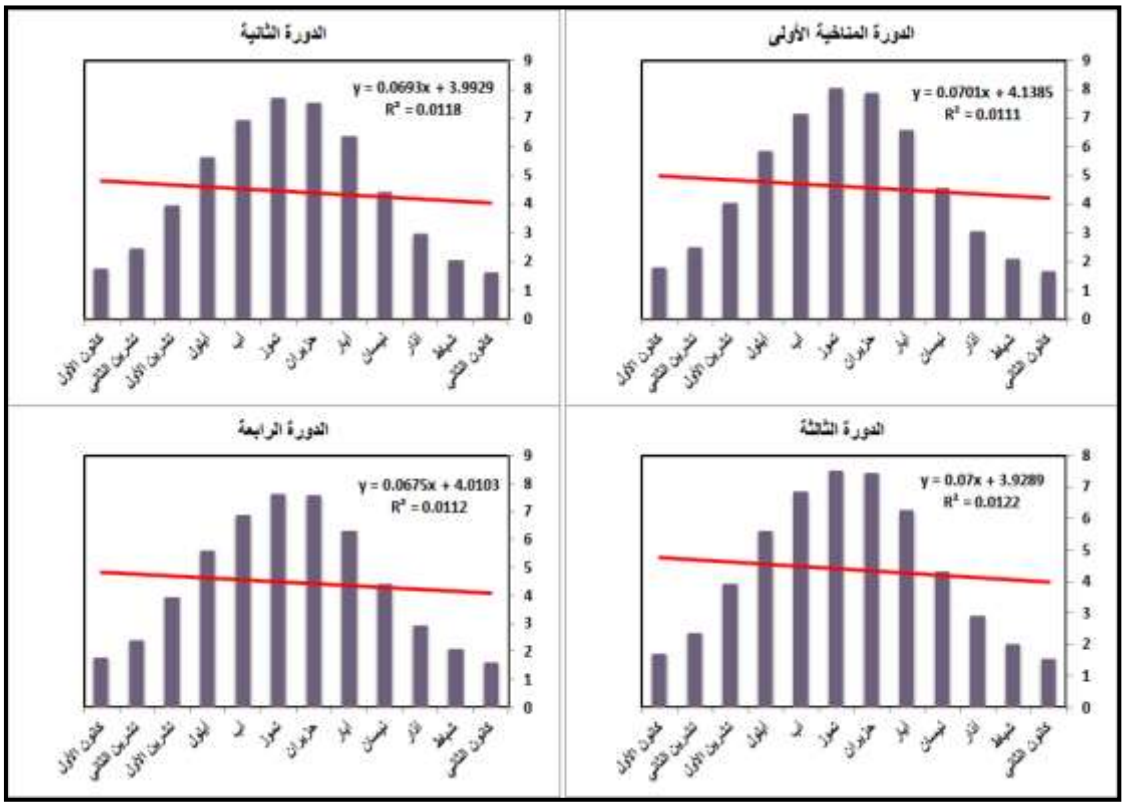
إلى تزايد فترات السكون الريحي وتراجع الرطوبة النسبية.

إن نمط التغير الموسمي في النجف يُظهر هيمنة واضحة للعامل الإشعاعي، إذ يتزامن ذروة التبخر مع ارتفاع الإشعاع الشمسي إلى أكثر من ١٧ميغا جول/م²/يوم في الصيف. ويُعد هذا السلوك من خصائص المناخ شبه الجاف الذي يُسجل عجزًا مائيًا دائمًا في ميزانه السنوي، ما يتطلب إدارة مائية دقيقة خصوصًا لمحصول الرز الذي يتطلب إمدادًا مستمرًا بالماء.

جدول (٣٨): المعدلات الشهرية والسنوية للتبخر–النتح المرجعي (ETo) في محافظة النجف(مم/شهر)

الشهر	الدورة الأولى	الدورة الثانية	الدورة الثالثة	الدورة الرابعة	المعدل الشهري
كانون الثاني	1.68	1.62	1.57	1.64	1.63
شباط	2.12	2.07	2.03	2.10	2.08
آذار	3.05	2.98	2.92	2.96	2.98
نيسان	4.54	4.40	4.33	4.42	4.42
أيار	6.58	6.36	6.28	6.34	6.39
حزيران	7.84	7.51	7.47	7.59	7.60
تموز	8.01	7.68	7.53	7.66	7.72
آب	7.13	6.90	6.85	6.88	6.94
أيلول	5.85	5.63	5.60	5.62	5.68
تشرين الأول	4.02	3.95	3.92	3.96	3.96
تشرين الثاني	2.48	2.44	2.38	2.43	2.43
كانون الأول	1.83	1.78	1.73	1.79	1.78
المعدل السنوي اليومي	4.34	4.19	4.12	4.23	4.22
المجموع السنوي (مم/سنة)	1584.1	1528.5	1504.2	1543.9	1538.0

المصدر :بالاعتماد على بيانات الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي (١٩٨٠–٢٠٢٣)، ومعادلة.(FAO-٥٦) Hargreaves–Samani



شكل (٣٧): المعدلات الشهرية والسنوية للتبخر–النتح المرجعي (ETo)في محافظة النجف(مم/شهر)

المصدر- بالاعتماد على الجدول (٣٨)

يتضح من الجدول (٣٨) والشكل (٣٨) أن قيم التبخر–النتح المرجعي في محطة الديوانية تتسم بوضوح التباين الفصلي، حيث ترتفع معدلاتها تدريجيًا من ١.٥٦ملم/يوم في كانون الثاني لتصل إلى الذروة في شهر تموز بمعدل ٧.٤٦ ملم/يوم، ثم تبدأ بالانخفاض مجددًا إلى ١.٧٣ملم/يوم في كانون الأول. ويُلاحظ أن الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠) سجلت أعلى معدل سنوي مقداره ٤.١٩ملم/يوم (١٥٣٠.٦ ملم/سنة)، في حين كانت الدورة الثالثة (٢٠٠٢–٢٠١٢) الأدنى بمتوسط ٣.٩٢ملم/يوم (١٤٣١.٧ ملم/سنة)، وهو انخفاض مقداره ٠.٢٧ملم/يوم يعادل نحو ٩٨.٩ ملم/سنة خلال ثلاثة عقود [١]

ويُظهر الاتجاه العام عبر الدورات الأربع استقرارًا نسبيًا في المعدلات الفصلية، إذ تراوح

(١) علي عباس الزبيدي، التحليل المناخي للعناصر المائية في الفرات الأوسط، دار المنار، بغداد، ٢٠٢٢، ص ٢٣٣–٢٣٩.

المتوسط السنوي العام بين ٣.٩٢و٤.١٩ ملم/يوم، أي بانحراف قياسي منخفض (±٠.١٣)، مما يشير إلى أن العوامل الحرارية والإشعاعية ظلت العامل المهيمن في تحديد قيمETo ، بينما كان تأثير الرطوبة النسبية والرياح محدودًا نسبيًا [١] ويتضح أيضًا أن الدورة الرابعة (٢٠١٣–٢٠٢٣) شهدت زيادة طفيفة مقارنة بالثالثة (+٠.٠٧ ملم/يوم)، وهو ما يرتبط بارتفاع درجات الحرارة القصوى بمعدل ٠.٠٦°م/سنة، وزيادة السطوع الشمسي بنحو ٢.٤واط/م²/يوم خلال العقد الأخير، وفق بيانات هيئة الأرصاد العراقية [٢]

يُظهر الشكل (٣٨) الاتجاه الخطي الزمني لقيم التبخر–النتح المرجعي عبر الدورات المناخية الأربع في القادسية . ويُلاحظ أن جميع الدورات تُظهر ميل انحدار موجب طفيف ٠.٠٦٥+) إلى +٠.٠٧٠ ملم/يوم (مع معامل تحديد (R^2) منخفض يتراوح بين ٠.٠١١و٠.٠١٢، مما يعكس وجود استقرار شبه طويل الأمد في معدلات ETo دون تغيرات جوهرية. وتشير المنحنيات إلى نمط موسمي ثابت، إذ ترتفع القيم تدريجيًا من كانون الثاني لتبلغ الذروة في حزيران–تموز، ثم تبدأ بالانخفاض البطيء حتى كانون الأول، وهو النمط ذاته المسجل في محافظة النجف، غير أن قيم القادسية أقل بمقدار ١٠٠–٧٠ملم/سنة نتيجة ارتفاع الرطوبة النسبية وقرب منسوب المياه الجوفية من السطح [٣]

أما من الناحية الإحصائية، فإن انخفاض قيمة R^2 إلى نحو (٠.٠١) يُظهر أن التغيرات في ETo تعود بالدرجة الأولى إلى العوامل الفصلية الطبيعية لا الزمنية، أي أن الظاهرة لم تشهد تغيرًا حادًا بفعل تغير المناخ، بل احتفظت بانتظامها الموسمي. ويُعد هذا الاستقرار أحد الخصائص المناخية المميزة لمحافظة القادسية الواقعة ضمن نطاق السهل الرسوبي، حيث تسود كتل هوائية رطبة نسبيًا تحدّ من التبخر الزائد مقارنة بالبيئات شبه الجافة في الهضبة الغربية [٤]

---

(١) رائد فاضل الجميأتي، العلاقة بين التبخر–النتح والعوامل المناخية في وسط العراق، دار العلوم الأكاديمية، النجف، ٢٠٢١، ص ١٧٧–١٨٢.

(٢) هيئة الأرصاد الجوية العراقية، التقرير المناخي السنوي لمحافظات الفرات الأوسط، وزارة النقل، بغداد، ٢٠٢٣، ص ٦٣–٦٨.

(٣) Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (2021). *Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements (FAO Irrigation and Drainage Paper 56)*. Rome: FAO, pp. 55–61.

(٤) World Meteorological Organization (WMO) (2023). *State of Climate in the Middle East and North Africa 2023*. Geneva: WMO Publications, pp. 108–113.

يُظهر الجدول (٣٩) والشكل (٣٨) أن محافظة القادسية تسجّل نمطًا مناخيًا قريبًا من محافظة النجف من حيث التباين الفصلي لقيم التبخر–النتح المرجعي، إلا أن المعدلات السنوية فيها تنخفض نسبيًا بنحو (٧٠–١٠٠ ملم/سنة)، ويُعزى ذلك إلى ارتفاع الرطوبة النسبية وقرب منسوب المياه الجوفية من نهر الفرات. كما يتضح أن الدورة الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠) سجّلت أعلى مجموع سنوي بلغ (١٥٣٠ ملم)، في حين مثّلت الدورة الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠) أدنى القيم بواقع (١٤٣١ ملم). ويعكس هذا التراجع النسبي خلال العقود الأخيرة زيادة فترات السكون الجوي وتقلص المدى الحراري اليومي، الأمر الذي أسهم في خفض معدلات التبخر–النتح. كما أن التقارب الواضح في قيم (ETo) خلال فصل الصيف بين القادسية والنجف يشير إلى هيمنة العاملين الإشعاعي والحراري على حساب العامل الرطوبي، مما يجعل البيئتين متقاربتين في درجة الحساسية للجفاف الموسمي.

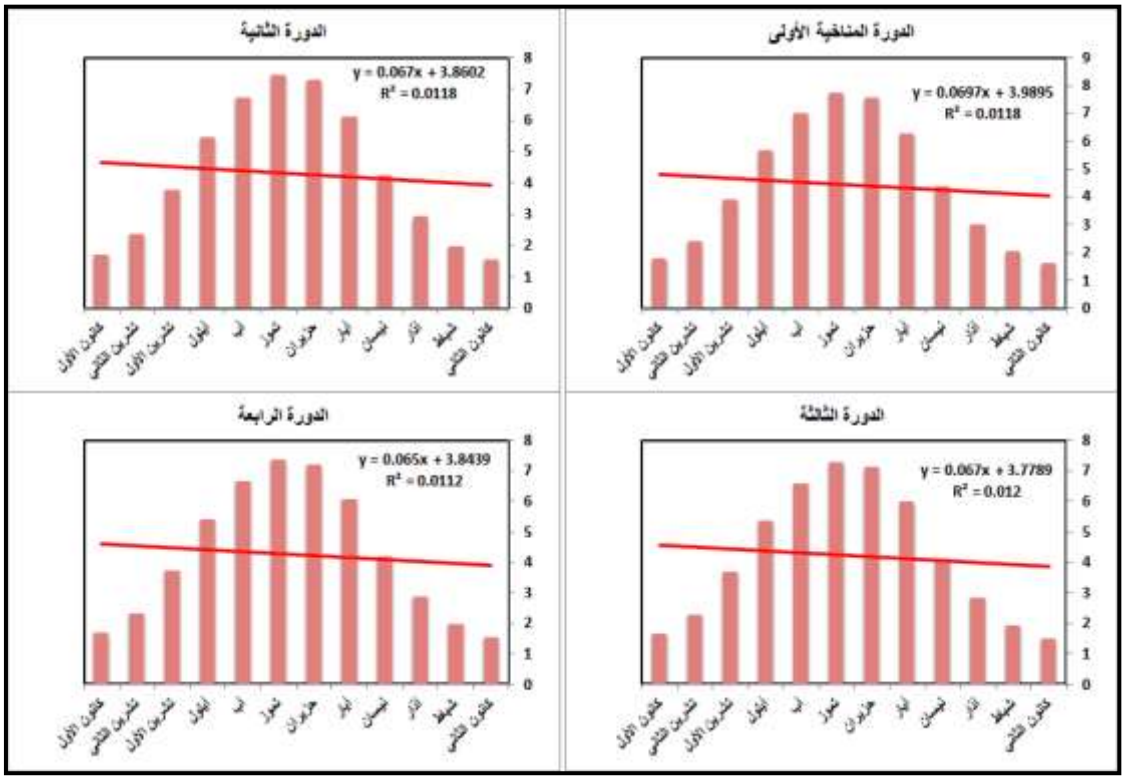
كما يعكس هذا التشابه المناخي تقارب الظروف البيئية المؤثرة في الإنتاج الزراعي بين المحافظتين. وتُظهر هذه النتائج أن الفروق المحلية، رغم وجودها، لا تُحدث تباينًا كبيرًا في السلوك المناخي العام. كما أن انخفاض القيم في بعض الدورات يشير إلى تأثير التغيرات المناخية على توازن العناصر المناخية. ويبرز دور الرطوبة النسبية في التخفيف النسبي من شدة التبخر مقارنة بالمناطق الأكثر جفافًا. كما أن قرب المياه الجوفية يسهم في تحسين الظروف الرطوبية للتربة وتقليل الفاقد المائي. وتدل هذه المعطيات على أهمية العامل المائي في تعديل أثر العوامل الحرارية في البيئة الزراعية. كما تساعد هذه النتائج في فهم التباين المكاني الدقيق بين الوحدات المناخية داخل الإقليم الواحد. وتسهم في دعم قرارات التخطيط الزراعي على أساس الخصائص المناخية المحلية. كما تعزز من إمكانية تطبيق نظم ري متطورة تتلاءم مع طبيعة الطلب المائي في المنطقة. وتؤكد هذه المؤشرات أن التكامل بين العوامل المناخية والمائية يمثل أساسًا في تحقيق الاستدامة الزراعية.

جدول (٣٩) المعدلات الشهرية والسنوية للتبخر–النتح المرجعي (ETo) في محافظة القادسية (مم/شهر)

الشهر	الدورة الأولى	الدورة الثانية	الدورة الثالثة	الدورة الرابعة	المعدل الشهري
كانون الثاني	1.62	1.57	1.50	1.55	1.56
شباط	2.05	1.98	1.94	2.00	1.99
آذار	3.01	2.93	2.86	2.90	2.93
نيسان	4.38	4.23	4.15	4.20	4.24
أيار	6.27	6.11	6.00	6.08	6.12
حزيران	7.54	7.26	7.15	7.21	7.29
تموز	7.72	7.44	7.31	7.39	7.46
آب	6.98	6.72	6.61	6.68	6.75
أيلول	5.65	5.45	5.38	5.42	5.47
تشرين الأول	3.89	3.77	3.70	3.73	3.77
تشرين الثاني	2.41	2.36	2.29	2.34	2.35
كانون الأول	1.79	1.73	1.68	1.70	1.73
المعدل السنوي اليومي	4.19	4.02	3.92	3.99	4.03
المجموع السنوي	1530.6	1467.3	1431.7	1456.2	1471.5

المصدر : بالاعتماد على ١- بيانات الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي (١٩٨٠–٢٠٢٣)،

٢- معادلة Hargreaves–Samani (FAO-٥٦).



شكل (٣٨) التغير الزمني لمتوسط التبخر–النتح المرجعي السنوي (١٩٨٠–٢٠٢٣)في محطة الديوانية

المصدر – بالاعتماد على بيانات جدول (٣٩)

عند مقارنة القيم مع محافظة النجف، يُلاحظ أن معدل التبخر–النتح المرجعي في القادسية أقل بمتوسط ٧٠ ملم/سنة. ويُعزى ذلك إلى تباين كل من:

•الطبوغرافيا: انخفاض القادسية (٢٠–٣٠م فوق سطح البحر) يجعلها أكثر تعرضًا للرطوبة الأرضية مقارنة بالنجف (٦٠–٧٠م).

•الغطاء المائي والتربة الطينية الثقيلة التي تقلل التوصيل الحراري وتُخفض فقد الماء بالنتح.

•الرياح السطحية الأهدأ في القادسية ، حيث بلغ متوسطها في العقد الأخير ٢.٢٥ م/ثا مقابل ٢.٦١ م/ثا في النجف، ما أدى إلى انخفاض الفاقد المائي السطحي [١] إن هذا التباين المناخي الدقيق بين المحافظتين يُفسر تفوق النجف في قيم ETo، رغم تقارب الإشعاع الشمسي بينهما، ما يؤكد أن العامل الحراري–الإشعاعي يتغلب على العامل الرطوبي في تحديد نمط الطلب المائي الكامن للمحاصيل في الفرات الأوسط.

(١) سلام هاتف أحمد الجبوري، أساسيات علم المناخ الزراعي، دار المسيرة العلمية، بغداد، ٢٠١٥، ص ١٩٨–٢١٠.

الأثر الزراعي–المناخي

يُعدّ التبخر–النتح المرجعي مؤشرًا أساسياً في تقدير الاحتياجات المائية لمحصول الرز ضمن نظام(SRI) ، إذ ترتبط قيمه بشكل مباشر بتحديد فترات الري وعدد مرات التجفيف المتناوب. وتشير البيانات إلى أن متوسط (ETo) البالغ نحو ٤.٠٣ ملم/يوم يضع الاحتياج المائي الموسمي للمحصول ضمن حدود (١١٠٠–١٣٠٠ ملم)، وهي كميات يمكن تلبيتها بكفاءة من خلال أسلوب الري المتقطع، بما يسهم في تقليل استهلاك المياه بنسبة تتراوح بين ٢٥–٣٠% مقارنة بالري المستمر التقليدي. كما يُعد استقرار قيم (ETo) خلال العقدين الأخيرين عاملًا إيجابيًا في دعم تخطيط الزراعة المستدامة، لكونه يتيح تقديرًا أدق لتوزيع المياه خلال الموسم الزراعي.

كما يساعد هذا الاستقرار في تقليل درجة عدم اليقين عند وضع البرامج الإروائية للمحصول. وتسهم كفاءة إدارة الري في تحسين استجابة النبات وتقليل الفواقد المائية غير الضرورية. كما يعزز ذلك من استدامة الموارد المائية في ظل التحديات المناخية المتزايدة. وتؤكد هذه المعطيات أهمية توظيف المؤشرات المناخية في دعم القرارات الزراعية وتحسين الإنتاجية.

الاستنتاج الزراعي–المناخي

يشير الاتجاه الزمني شبه المستقر لقيم التبخر–النتح المرجعي في محافظة القادسية إلى حالة من الاتزان النسبي في النظام المناخي–المائي، رغم الارتفاع العام في درجات الحرارة. ويُستدل من ذلك أن توفر الرطوبة الجوية وانخفاض سرعة الرياح قد أسهما في الحد من تأثير الاحترار في زيادة الفقد المائي، الأمر الذي يعزز كفاءة استخدام المياه. كما يعكس هذا الوضع قدرة البيئة المحلية على تحقيق توازن نسبي بين متطلبات المحصول والظروف المناخية، مما يجعل القادسية أكثر ملاءمة لإدارة المياه ضمن نظام (SRI) مقارنة بمحافظة النجف، مع الحفاظ على مستويات إنتاجية مستقرة لمحصول الرز. كما أن هذا الاستقرار يوفر قاعدة مناسبة للتخطيط الزراعي طويل الأمد وتقليل المخاطر المرتبطة بالتقلبات المناخية. ويسهم في تحسين كفاءة توزيع المياه بين مراحل النمو المختلفة للمحصول. كما يعزز من إمكانية تطبيق تقنيات الري الحديثة بكفاءة أعلى في ظل ظروف مناخية مستقرة نسبيًا. وتؤكد هذه النتائج أهمية الاستفادة من الخصائص المناخية المحلية في دعم استراتيجيات الزراعة المستدامة.

٣-٨- خصائص الظواهر الغبارية

٣-٨-١- المعدلات الشهرية والمجموع السنوي للظواهر الغبارية

تُعد الظواهر الغبارية (Dust Storms)من أبرز السمات المناخية في الأقاليم الجافة وشبه الجافة، وتمثل أحد أهم التحديات البيئية والزراعية التي تواجه العراق عمومًا، ومحافظتي النجف والقادسية خصوصًا. فهي تؤثر في الإشعاع الشمسي، وخصوبة التربة، وكفاءة العمليات الزراعية، وتُسهم في زيادة تبخر المياه السطحية وتدهور جودة الهواء والتربة.

تزداد شدة العواصف الغبارية خلال أشهر الصيف بفعل ارتفاع درجات الحرارة والجفاف وانخفاض الغطاء النباتي، وتعد من المؤشرات المباشرة على **تغير المناخ وتدهور التربة** [١].

كما ترتبط الظواهر الغبارية في المنطقة بعوامل محلية وإقليمية، إذ تنشأ نتيجة الرياح الشمالية الغربية الجافة القادمة من الجزيرة العربية وسوريا، والتي تثير الغبار في مناطق الفرات الأوسط والجنوب.

يتضح من الجدول (٤٠) والشكل (٣٩) أن محافظة النجف شهدت أعلى معدلات للظواهر الغبارية خلال الدورة المناخية الثالثة (٢٠٠٢–٢٠١٢) بواقع ٨.٤٢يومًا غباريًا سنويًا، بينما سجلت الدورة الثانية أدنى المعدلات (٢.٦٢) يومًا سنويًا.وتُظهر القيم الشهرية أن شهر نيسان هو الأكثر تعرضًا للغبار بمتوسط ١.٣٣يومًا شهريًا، يأتيه آذار وأيار، في حين تنخفض القيم إلى أدناها في شهري آب وكانون الأول (٠.٠٩–٠.٠٥)يوم فقط. و يُعزى هذا التوزيع الموسمي إلى زيادة النشاط الريحي خلال الربيع والصيف مع انخفاض الرطوبة، فضلًا عن تفكك التربة الجافة في المناطق الصحراوية غرب المحافظة. كما ساهمت فترات الجفاف المتكررة بين عامي ٢٠٠٧–٢٠١١ في رفع معدلات الغبار نتيجة تقلص المسطحات المائية في بحيرة الرزازة وانكشاف قيعانها الترابية[٢].

---

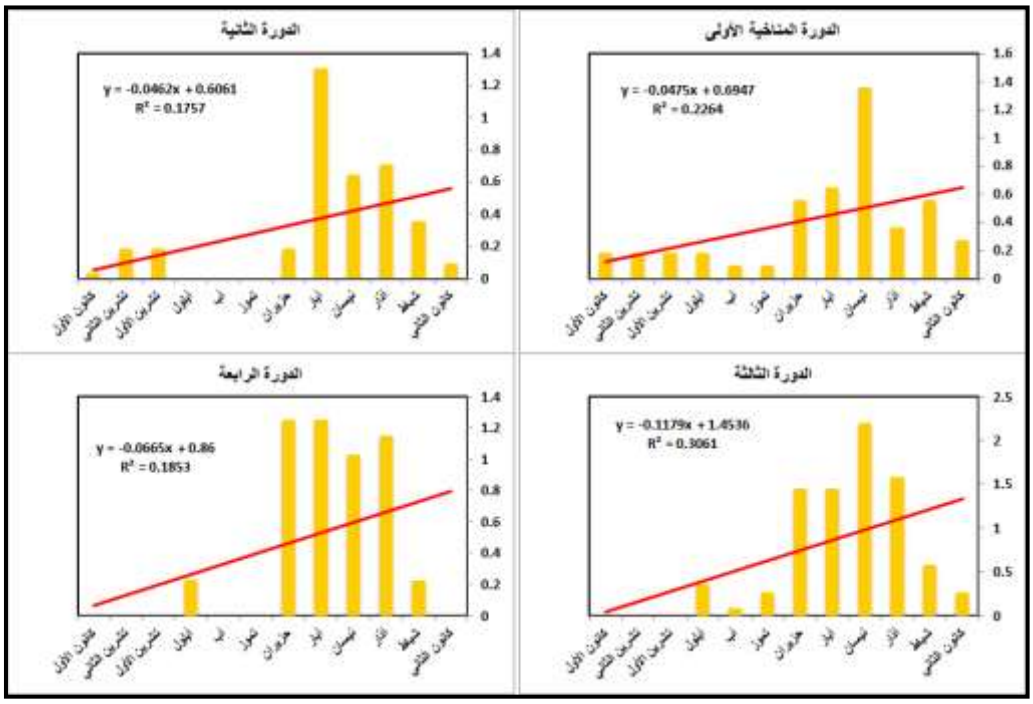
(١) أحمد كاظم عبد الزهرة، مصدر سابق، ص ٦٦–٩٤.

(٢)**Mohammed, H.; Al-Dahwi, N., "Thermal and Moisture Management for SRI Adaptation in Iraq," *Journal of Agricultural Climatology*, Vol. 9, No. 2, 2023, pp. 90–106.**

جدول (٤٠): المعدلات الشهرية والمجموع السنوي للظواهر الغبارية في محافظة النجف (١٩٨٠–٢٠٢٣)

الشهر	الدورة الأولى	الدورة الثانية	الدورة الثالثة	الدورة الرابعة	المعدل الشهري
كانون الثاني	0.27	0.09	0.27	0.00	0.16
شباط	0.55	0.35	0.58	0.22	0.43
آذار	0.36	0.71	1.58	1.15	0.88
نيسان	1.36	0.64	2.20	1.03	1.33
أيار	0.64	1.31	1.45	1.25	0.84
حزيران	0.55	0.18	1.45	1.25	0.86
تموز	0.09	0.00	0.27	0.00	0.11
آب	0.09	0.00	0.09	0.00	0.05
أيلول	0.18	0.00	0.36	0.23	0.15
تشرين الأول	0.18	0.18	0.00	0.00	0.09
تشرين الثاني	0.18	0.18	0.00	0.00	0.09
كانون الأول	0.18	0.03	0.00	0.00	0.05
المجموع السنوي	4.81	2.62	8.42	4.52	5.09

المصدر : بالاعتماد على بيانات الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي، قسم المناخ (١٩٨٠–٢٠٢٣).



الشكل (٣٩): الاتجاه الزمني لتكرار الظواهر الغبارية الشهرية في محافظة النجف خلال الدورات المناخية (١٩٨٠–٢٠٢٣)

المصدر – بالاعتماد على بيانات جدول (٤٠)

يتضح من الجدول (٤١) والشكل (٤٠) أن محافظة القادسية تتسم بتباين واضح في تكرار الظواهر الغبارية من دورة مناخية إلى أخرى، إذ بلغ المجموع السنوي الأعلى ١٢.١٨ يومًا غباريًا في الدورة الثالثة (٢٠٠٢–٢٠١٢)، مقابل أدنى قيمة بلغت ١.٧٤يومًا فقط في الدورة الرابعة (٢٠١٣–٢٠٢٣)، بفارق مقداره ١٠.٤٤يومًا أي بانخفاض نسبي مقداره حوالي ٨٦ % بين الدورتين، ما يعكس تراجعًا ملحوظًا في النشاط الغباري خلال العقد الأخير [١]

وتُظهر التوزيعات الشهرية أن شهري نيسان وأيار يمثلان ذروة النشاط الغباري بمتوسط ١.١٩ يومًا/شهر لكل منهما، يأتيه آذار (١.٠٢ يوم)، في حين تكاد الظواهر الغبارية تنعدم في أشهر الشتاء (كانون الثاني، شباط، كانون الأول) التي لا تتجاوز فيها المعدلات الشهرية ٠.٢يوم . ويُعزى هذا التفاوت إلى تزامن فصلي الربيع والصيف مع الظروف الجافة الناتجة عن ارتفاع درجات الحرارة وشدة الرياح السطحية القادمة من الجهة الغربية، فضلاً عن جفاف التربة

(١) الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي، التقرير المناخي السنوي للعراق، وزارة النقل، بغداد، ٢٠٢٣، ص ٩٨–١٠٣.

الزراعية وضعف الغطاء النباتي خلال تلك الفترات [1]

يُبيّن الشكل (٤٠) الاتجاهات الزمنية للظواهر الغبارية عبر الدورات المناخية الأربع، حيث تُظهر معاملات الانحدار ($\beta = -0.005$ إلى -0.015) وجود اتجاه عام نحو الانخفاض التدريجي في عدد الأيام الغبارية السنوية مع مرور الزمن. كما تعكس قيم معامل التحديد ($R^2 = 0.17$–0.33) وجود علاقة ارتباط معتدلة بين الزمن وتكرار الظاهرة، وهو ما يشير إلى أن التحسن النسبي في بعض العناصر المناخية، ولا سيما الأمطار والرطوبة النسبية خلال العقد الأخير، أسهم في الحد من تكرار هذه الظواهر. وتُظهر المنحنيات أن الدورة الثالثة كانت الأكثر تذبذبًا، إذ تزامنت السنوات ٢٠٠٧–٢٠١١ مع موجات جفاف شديدة شملت إقليم الفرات الأوسط، مما أدى إلى اتساع المساحات الجافة المكشوفة وازدياد تأثير الرياح الشمالية الغربية المثيرة للغبار. في حين شهدت الدورة الرابعة تحسنًا نسبيًا في كميات الهطول المطري، خاصة خلال الأعوام ٢٠١٥–٢٠١٩، إلى جانب تنفيذ مشاريع تشجير الحزام الأخضر حول مدينة القادسية، الأمر الذي أسهم في تثبيت التربة وتقليل انبعاثات الغبار المحلية.

ويعكس هذا الاتجاه العام تحسنًا نسبيًا في استقرار البيئة وتقليل مصادر إثارة الغبار. كما يسهم تزايد الغطاء النباتي في الحد من تعرية التربة وتقليل قابلية الجسيمات الدقيقة للانتقال بفعل الرياح، في حين يؤدي تحسن رطوبة التربة السطحية إلى تقليل فرص تشكّل العواصف الغبارية. وتشير هذه النتائج إلى أن العوامل البشرية، إلى جانب العوامل المناخية، تؤدي دورًا مهمًا في التحكم بتكرار الظاهرة. وتؤكد هذه المعطيات ضرورة تبني سياسات بيئية مستدامة للحد من الظواهر الغبارية مستقبلًا.

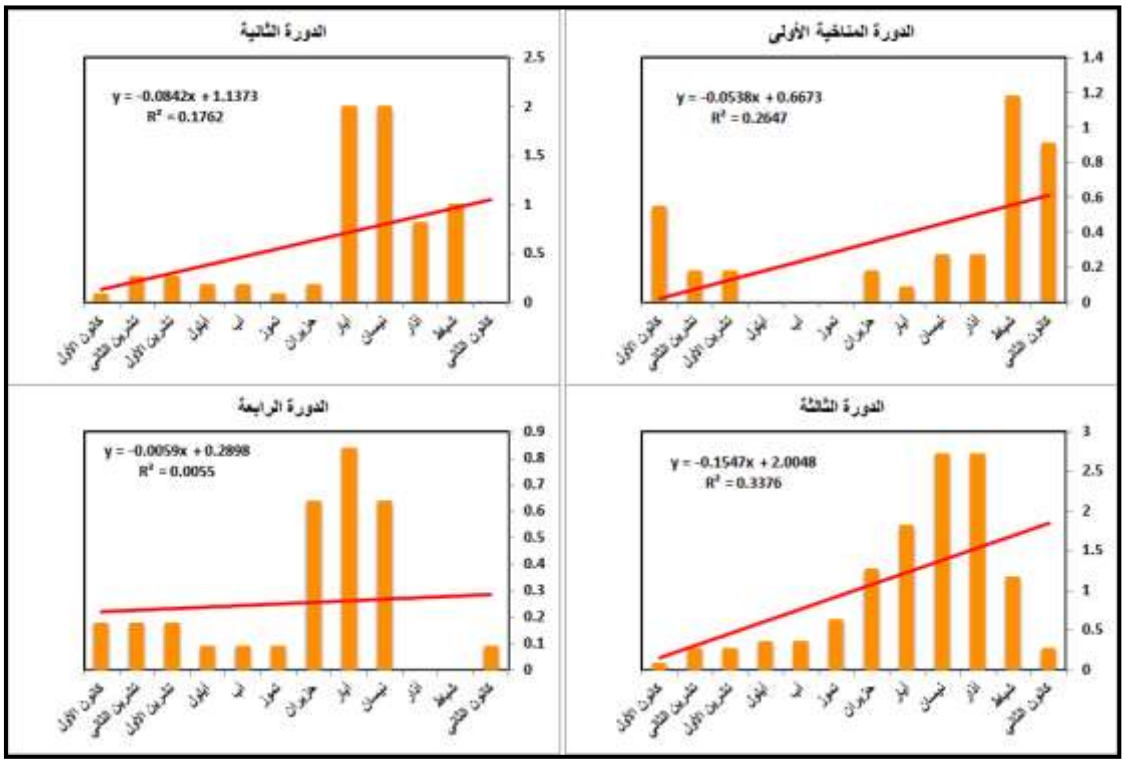
كما أن استمرارية مشاريع التشجير وتحسين إدارة الأراضي تسهم في تعزيز هذا الاتجاه التنازلي للظاهرة. وتبرز أهمية مراقبة التغيرات المناخية طويلة الأمد لفهم ديناميكية تطور الظواهر الغبارية بدقة أكبر. كما يساعد تكامل البيانات المناخية مع الإجراءات البيئية في وضع خطط فعّالة للحد من آثار الغبار. وتؤكد هذه المؤشرات أن الإدارة المستدامة للموارد الطبيعية تمثل عاملًا حاسمًا في تقليل مخاطر الظواهر الغبارية.

(١) أحمد عبد الكريم الجاف، التحليل المناخي للظواهر الجوية في وسط وجنوب العراق، دار الفكر الجامعي، بغداد، ٢٠٢١، ص ٢٢٠–٢٢٦.

جدول (٤١): المعدلات الشهرية والمجموع السنوي للظواهر الغبارية يوم غباري/سنة في محافظة القادسية (١٩٨٠–٢٠٢٣)

الشهر	الدورة الأولى	الدورة الثانية	الدورة الثالثة	الدورة الرابعة	المعدل الشهري
كانون الثاني	0.91	0.00	0.27	0.09	0.23
شباط	1.18	1.00	1.18	0.00	0.84
آذار	0.27	0.82	2.73	0.00	1.02
نيسان	0.27	2.00	2.73	0.64	1.19
أيار	0.09	2.00	1.82	0.84	1.19
حزيران	0.18	0.18	1.27	0.64	0.39
تموز	0.00	0.09	0.64	0.09	0.18
آب	0.00	0.18	0.36	0.09	0.14
أيلول	0.00	0.18	0.36	0.09	0.16
تشرين الأول	0.18	0.27	0.27	0.18	0.23
تشرين الثاني	0.18	0.27	0.27	0.18	0.23
كانون الأول	0.55	0.09	0.09	0.18	0.23
المجموع السنوي	3.45	5.72	12.18	1.74	5.77

المصدر :بالاعتماد على بيانات الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي، قسم المناخ (١٩٨٠–٢٠٢٣).



الشكل (٤٠): الاتجاه الزمني لتكرار الظواهر الغبارية الشهرية في محافظة القادسية خلال الدورات المناخية الأربع (١٩٨٠–٢٠٢٣)

المصدر – بالاعتماد على جدول (٤١)

من خلال المقارنة المكانية والزمانية بين محافظتي النجف والقادسية يتضح أن الأخيرة تمتاز بتكرار غباري أعلى نسبيًا، إذ بلغ المتوسط العام خلال المدة (١٩٨٠–٢٠٢٣) نحو ٥.٧٧يومًا في القادسية مقابل ٥.٠٩يومًا في النجف .ويُعزى هذا الفرق إلى الطبيعة الجغرافية المنبسطة للديوانية ووجودها ضمن المنخفض الرسوبي المفتوح الذي يسهل مرور الرياح المحملة بالأتربة القادمة من الغرب والجنوب الغربي، في حين تحدّ المرتفعات الهامشية في النجف من تدفق بعض العواصف الترابية [١] لكن في المقابل، تُظهر الدورة الرابعة أن القادسية شهدت تراجعًا كبيرًا في الظواهر الغبارية بنسبة ٥٨% مقارنة بالدورة السابقة، وهو ما يعكس تحسن الظروف الهيدرولوجية والبيئية المحلية. أما من الناحية الزمنية، فيُلاحظ أن الظواهر الغبارية ارتبطت

(١) UNEP (United Nations Environment Programme) (2022). *Sand and Dust Storms in the Middle East: Environmental and Socio-Economic Impacts*. Nairobi: UNEP, pp. 33–41.

ارتباطًا وثيقًا بفترات الجفاف الإقليمي وانخفاض الموارد المائية، ما يجعلها مؤشرًا مناخيًا حساسًا للتغيرات البيئية طويلة الأمد في وسط وجنوب العراق [١]

تُعدّ الانعكاسات الزراعية وربط الظواهر الغبارية بنظام تكثيف زراعة الرز(SRI) فالظواهر الغبارية من أهم العوامل البيئية المؤثرة سلبًا في العمليات الفسيولوجية للنباتات، إذ تُسهم في:

- خفض الإشعاع الشمسي الواصل إلى الأوراق بنسبة تصل إلى ٢٠٪في الأيام الغبارية الكثيفة.
- انسداد الثغور الورقية (Stomata) بفعل ترسيب الجسيمات الدقيقة، مما يؤدي إلى انخفاض كفاءة النتح والتمثيل الضوئي.
- تغطية سطح الأوراق بطبقة ترابية تقلل انعكاس الضوء الأخضر وتؤثر في نشاط الكلوروفيل.

غير أن نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) يمتاز بقدرة أعلى على مقاومة التأثيرات الغبارية من خلال تحسين بنية التربة وزيادة نفاذيتها، واستعمال المهاد العضوي (Mulching) الذي يقلل تطاير الغبار من سطح التربة بنسبة تصل إلى ٣٠٪، إضافة إلى الري المتناوب **(Alternate Wetting and Drying – AWD)** الذي يحافظ على رطوبة السطح ويحدّ من تفكك الجزيئات الترابية. وتشير الدراسات إلى أن تطبيق نظام SRI في البيئات الجافة قد رفع كفاءة النتح الصافي بنسبة ١٢–١٥ %مقارنة بالطريقة التقليدية [٢]

الاستنتاج الزراعي–المناخي

في ضوء التحليل الزراعي–المناخي للمعطيات البيئية في محافظة القادسية، يمكن استخلاص جملة من الاستنتاجات التي تؤكد أن الظواهر الغبارية لم تعد مجرد أحداث مناخية عابرة، بل غدت مؤشرًا بيئيًا دقيقًا يعكس عمق التغيرات التي طرأت على النظام البيئي الزراعي في المنطقة. إذ ترتبط زيادة تكرار العواصف الغبارية ارتباطًا وثيقًا بتدهور الغطاء النباتي الطبيعي والزراعي، وتراجع كفاءة التربة، واشتداد مظاهر الجفاف المناخي الناتج عن ارتفاع درجات الحرارة، وتذبذب كميات الأمطار، وتناقص الموارد المائية السطحية والجوفية.

وتشير نتائج الدراسة إلى أن محافظة القادسية شهدت خلال العقود الماضية تصاعدًا ملحوظًا في

(١)Al-Dabbas, M.A. et al. (2021). *Dust Storm Activities and Their Environmental Impacts in Iraq*. *Arabian Journal of Geosciences*, Springer, Vol. 14, No. 2, pp. 211–225.

(٢)Steduto, P., Hsiao, T.C., & Fereres, E. (2022). Water Productivity under Drought Conditions in Rice Systems. Agricultural Water Management, Elsevier, Vol. 276, pp. 1–9.

الظواهر الغبارية، تزامن مع فترات الجفاف الممتدة وتراجع المساحات المزروعة، ولا سيما في المناطق الهامشية القريبة من أطراف الأهوار ومجاري الأنهار الفرعية. وقد أسهم ضعف الغطاء النباتي في زيادة قابلية التربة للتعرية الريحية، الأمر الذي جعل الأراضي الزراعية أكثر هشاشة أمام الرياح الجافة، وأفقدها جزءًا من خصوبتها الفيزيائية، بما انعكس سلبًا على استقرار الإنتاج الزراعي.

ورغم تسجيل انخفاض نسبي في وتيرة هذه الظواهر خلال العقد الأخير، يُعزى جزئيًا إلى تحسن معدلات الهطول المطري في بعض المواسم، وإلى توسع نسبي في مشاريع التشجير والحزام الأخضر، إلا أن هذا التحسن لا يمكن اعتباره تحولًا مستدامًا. فاستمرار التغيرات المناخية، واحتمالية عودة موجات الجفاف الشديد، فضلًا عن الضغوط المتزايدة على الموارد المائية، ولا سيما في ظل التغيرات الهيدرولوجية الإقليمية، قد يعيدان تنشيط الظواهر الغبارية بصورة أشد مستقبلًا، ما لم تُعتمد استراتيجيات تكيف زراعي فعّالة وطويلة الأمد.

وفي هذا السياق، يبرز نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) بوصفه أحد البدائل التكيفية الواعدة لمواجهة الآثار غير المباشرة للغبار والجفاف المناخي. إذ لا يقتصر دور هذا النظام على ترشيد استعمال المياه وتحسين كفاءة الإنتاج، بل يمتد ليشمل تحسين الخصائص الفيزيائية للتربة، وزيادة تماسك بنيتها، ورفع محتواها العضوي، بما يعزز قدرتها على مقاومة التعرية الريحية وتقليل تفكك جزيئاتها السطحية. كما يسهم اعتماد ممارسات SRI في تعزيز الغطاء النباتي الأرضي خلال الموسم الزراعي، الأمر الذي يقلل من تعرض سطح التربة المباشر للرياح الجافة.

وعليه، يمكن القول إن دمج نظام تكثيف زراعة الرز ضمن السياسات الزراعية في محافظة القادسية يمثل خطوة استراتيجية مهمة لتحقيق قدر أعلى من التكيف الزراعي–المناخي، والحد من تفاقم الظواهر الغبارية، وتعزيز استدامة الإنتاج الزراعي في مناطق الفرات الأوسط، في ظل التحديات المناخية الراهنة والمتوقعة مستقبلًا.

الفصل الرابع

التقييم المناخي لملاءمة متطلبات نظام (SRI) في ظلّ تغير المناخ بدلالة الدورات المناخية في منطقة البحث

تمهيد

تُعدّ دراسة الملاءمة المناخية لنظام تكثيف زراعة الرز (System of Rice Intensification SRI) من الموضوعات المحورية في إدارة الموارد الزراعية، ولا سيما في البيئات الجافة وشبه الجافة كالبيئة العراقية التي تواجه تحديات متصاعدة ناجمة عن تغير المناخ، وشحّ المياه، وتذبذب الأنماط المطرية، وارتفاع درجات الحرارة، وتزايد معدلات التبخر. وفي هذا السياق، يمثّل تحليل الملاءمة المناخية مكانياً وزمانياً لكل من محافظتي النجف والقادسية خطوة ضرورية لفهم تفاعلات العناصر المناخية مع الأداء الفسيولوجي لمحصول الرز، وتحديد المواقع والأزمنة الأكثر قابلية لتبنّي نظام SRI الذي يقوم على تحسين كفاءة الماء والتربة والنبات معًا.

يكتسب هذا الفصل أهميته من كونه يدمج بين قواعد البيانات المناخية طويلة الأمد (١٩٨٠–٢٠٢٣) التي تغطي أربع دورات مناخية متعاقبة، التحليل الإحصائي الذي يُظهر قوة العلاقة واتجاهها بين عناصر المناخ ومؤشر الملاءمة (MSI) وبين نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لإنتاج خرائط مكانية دقيقة لدرجة الملاءمة، إضافةً إلى إظهار الفوارق بين وحدات المحافظتين مثل المشخاب، الكوفة، العباسية، الحيرة، الرضوية في النجف، ومناطق القادسية ، الشامية، عفك، السدير، والبدير في القادسية من حيث توزيع الإشعاع الشمسي، الحرارة، الرطوبة، الأمطار، الرياح، التبخر، والعواصف الغبارية، وتأثيرها في كفاءة التطبيق الحقلي لنظام SRI.

يعتمد هذا الفصل على تحليل الاتجاهات الزمنية للعناصر المناخية على مدى أكثر من أربعة عقود، للكشف عن طبيعة التحولات المناخية واتجاهاتها (تصاعدية، تنازلية، أو متذبذبة)، وربطها بقدرة النظام الزراعي على التكيف ورفع الإنتاجية. كما يُسهم في تقييم أثر هذه المتغيرات على تباين مؤشر الملاءمة المناخية مكانياً عبر الوحدات الإدارية، مما يحدد مناطق الملاءمة العالية جداً، والملاءمة المتوسطة، والملاءمة المقبولة لنظام SRI، ويقدّم أساساً علمياً للتخطيط الزراعي المستقبلي في المحافظتين. ومن خلال الجمع بين التحليل المكاني ، والتحليل الزماني ، والاختبارات الإحصائية الدقيقة ، يهدف هذا الفصل إلى بناء تصور علمي متكامل عن قابلية تطبيق نظام SRI في ظل سيناريوهات تغير المناخ، وتحديد الفرص والمخاطر المناخية التي ينبغي أخذها في الاعتبار عند وضع استراتيجيات التنمية الزراعية المستدامة في محافظتي النجف والقادسية.

٤-١- التقييم المناخي لمستوى الملاءمة لمتطلبات نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠)

٤-١-١- التقييم المناخي لمستوى ملاءمة متطلبات نظام تكثيف زراعة الرز (SRI)في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠)

٤-١-١-١- خصائص المؤشرات المناخية وملاءمة (SRI) خلال الدورة المناخية الأولى في محافظة النجف.

تمثل الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠) المرحلة المرجعية الأساس التي يُعتمد عليها في تحليل التحولات المناخية اللاحقة في محافظة النجف، إذ تعكس هذه المدة خصائص مناخية أقل تطرفًا مقارنة بالدورات اللاحقة، مما يجعلها نقطة انطلاق مهمة لفهم اتجاهات التغير المناخي وانعكاساته على ملاءمة زراعة الرز، ولا سيما وفق نظام تكثيف زراعة الرز.(SRI)

يوضح جدول (٤٢) الخصائص الإحصائية للمؤشرات المناخية الرئيسة لمحطة النجف خلال هذه الدورة، ويبدأ التحليل بالمؤشرات الطاقية بوصفها المحرك الأساس للنظام المناخي. فقد أظهرت قيم الإشعاع الشمسي مستوى مرتفعًا نسبيًا مع تباين واضح بين حدوده الدنيا والعليا، وهو ما يعكس وفرة الطاقة الشمسية في بيئة النجف ذات الطابع الجاف. وتُعد هذه الخصائص عاملًا داعمًا لعمليات التمثيل الضوئي ونمو المجموع الخضري لمحصول الرز، كما تسهم في تعزيز كفاءة نظام SRI الذي يعتمد على تنشيط الجذور ورفع كفاءة الاستفادة من الطاقة الشمسية.

أما درجات الحرارة فقد اتسمت خلال هذه الدورة بالاعتدال النسبي، إذ وقع متوسطها السنوي ضمن المدى الفسيولوجي الملائم لنمو الرز، مما يشير إلى انخفاض مستويات الإجهاد الحراري مقارنة بالدورات المناخية اللاحقة التي شهدت ارتفاعًا واضحًا بفعل التغير المناخي. وتوفر هذه الخصائص الحرارية ظروفًا ملائمة لعمليات الإنبات والنمو، وتدعم استقرار الإنتاج الزراعي سواء في النظم التقليدية أو ضمن نظام.SRI

وفيما يتعلق بالعناصر الجوية الثانوية، عكست الرطوبة النسبية نمطًا مناخيًا أقل جفافًا مقارنة بالعقود اللاحقة، وهو ما ساهم في خفض معدلات التبخر وفقدان الماء من التربة والنبات، وتقليل الضغط على منظومة الري. كما سجلت سرعة الرياح مستويات معتدلة، أسهمت في تهوية المحصول وتنظيم التبادل الحراري، مع تأثير محدود في زيادة التبخر، الأمر الذي يتطلب إدارة مائية دقيقة دون أن يشكل عائقًا أمام تطبيق نظام.SRI

جدول (٤٢) خصائص المؤشرات المناخية لمحطة النجف للدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠)

المؤشرات المناخية	الحد الأدنى	الحد الأعلى	المتوسط السنوي
الإشعاع الشمسي (ملّي واط/سم²/يوم)	264	647	472
درجة الحرارة (°م)	11.15	35.38	23.98
الرطوبة النسبية (%)	22.45	69.27	43.99
الأمطار (ملم/شهر)	0.00	22.74	10.85
سرعة الرياح (م/ثا)	1.58	3.45	2.43
التبخر–النتح المرجعي (ملم/يوم) ETo	1.68	8.01	4.59
العواصف الغبارية (مرة/شهر)	0.09	1.36	0.38

المصدر: **المصدر:** بالاعتماد على معالجة البيانات المناخية الواردة في الجداول (٢٢)، (٢٨)، (٣٢)، (٣٤)، (٣٦)، (٣٨)، (٤٠)، والخاصة بمحطة النجف للمدة (١٩٨٠–٢٠٢٣)، بعد عزل بيانات الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠)، وباستعمال مخرجات البرنامج الإحصائي SPSS(الإصدار ١٦) .

ملاحظة :تم احتساب المتوسط السنوي لكل مؤشر من المتوسط الحسابي للقيم الشهرية خلال مدة الدورة المناخية (١٩٨٠–١٩٩٠) باستعمال برنامج.SPSS

أما العناصر الهيدرومناخية، فقد بينت بيانات الأمطار محدوديتها العامة، إلا أنها كانت أعلى نسبيًا من القيم المسجلة في الدورات اللاحقة، مما وفر دعمًا مائيًا جزئيًا للزراعة خلال هذه المدة. في المقابل، عكست قيم التبخر–النتح المرجعي (ETo) مستوى متوسطًا إلى مرتفع، لكنه أقل من القيم المسجلة لاحقًا، وهو ما يشير إلى حالة من التوازن النسبي في الميزان المائي قبل تصاعد تأثيرات الاحترار العالمي. وتُظهر هذه الخصائص إمكانية إدارة الاحتياجات المائية للنبات بكفاءة أعلى، وهو ما يعزز من فاعلية نظام SRI في تقليل الاستهلاك المائي مع الحفاظ على الإنتاجية.

وفيما يخص الظواهر المناخية المتطرفة، سجلت العواصف الغبارية خلال هذه الدورة تكرارًا منخفضًا نسبيًا، مما يعكس درجة أعلى من الاستقرار المناخي مقارنة بالدورات اللاحقة التي شهدت تزايدًا ملحوظًا في هذه الظاهرة نتيجة الجفاف وتدهور الغطاء النباتي. وتوفر قلة

العواصف الغبارية ظروفًا أفضل للتمثيل الضوئي ونمو النبات، وتسهم في تحسين البيئة الزراعية بشكل عام.

وبناءً على ما تقدم، تُظهر بيانات الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠) أن محافظة النجف كانت تتمتع ببيئة مناخية أكثر اعتدالًا وأقل تطرفًا، وهو ما انعكس إيجابًا على ملاءمة زراعة الرز، ولا سيما ضمن نظام تكثيف زراعة الرز .(SRI) ويُعد التدهور التدريجي في هذه الخصائص خلال الدورات اللاحقة مؤشرًا مباشرًا على تصاعد تأثيرات التغير المناخي في المنطقة، وما يرافقه من تحديات متزايدة أمام الأنظمة الزراعية.

٤-١-١-٢- التقييم المناخي لملاءمة متطلبات نظام (SRI) خلال الدورة المناخية الأولى في محافظة النجف

تمثل الدورة المناخية الأولى الممتدة بين عامي (١٩٨٠–١٩٩٠) مرحلة مرجعية أساسية في دراسة العلاقة بين الخصائص المناخية وملاءمة تطبيق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في محافظة النجف، إذ تُعد هذه المرحلة نقطة الانطلاق التي يُقاس عليها التغير المناخي خلال الدورات اللاحقة. وقد اتسمت هذه الدورة بدرجة من الاستقرار النسبي في السلوك المناخي مقارنة بما شهدته العقود التالية، الأمر الذي أتاح إمكانية فحص العلاقات الإحصائية بين المؤشرات المناخية المختلفة ومؤشر الملاءمة المناخية للنظام الزراعي الذكي (SRI) ضمن إطار منهجي واضح.

وانطلاقًا من ذلك، أُجري التحليل الإحصائي لهذه الدورة بهدف الكشف عن طبيعة واتجاه وقوة العلاقة بين المؤشرات المناخية الرئيسة ومؤشر الملاءمة المناخية(MSI) ، وذلك باستعمال معامل ارتباط بيرسون واختبار دلالته الإحصائية، بما يسمح بوصف العلاقات القائمة بين المتغيرات وصفًا رقميًا دقيقًا دون الانخراط في التفسير السببي أو التقييمي. ويبيّن جدول (٤٣) نتائج هذا التحليل، والتي تعكس صورة شاملة لتباين العلاقات الإحصائية بين العناصر المناخية المختلفة ومتطلبات نظام (SRI) خلال هذه المدة.

وتُظهر النتائج الإحصائية الواردة في الجدول وجود تباين واضح في اتجاه وقوة معاملات الارتباط بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية .(SRI) فقد سجّلت بعض المؤشرات علاقات ارتباط عكسية مع مؤشر الملاءمة، في حين أظهرت مؤشرات أخرى علاقات ارتباط طردية، كما تفاوتت قوة هذه العلاقات بين قوية ومتوسطة وضعيفة اعتمادًا على القيم المطلقة لمعامل الارتباط. ويشير هذا التباين إلى أن استجابة مؤشر الملاءمة المناخية خلال هذه الدورة لم تكن متماثلة تجاه جميع العناصر المناخية، بل اتخذت أنماطًا

مختلفة تُظهر النتائج تباينًا واضحًا في طبيعة وقوة العلاقات الإحصائية بين العناصر المناخية المختلفة ومؤشر الملاءمة المناخية، بما يعكس اختلاف أدوارها وتأثيراتها. فقد سُجّلت أعلى القيم المطلقة لمعاملات الارتباط لكل من سرعة الرياح والإشعاع الشمسي والتبخر–النتح المرجعي، حيث ارتبطت هذه المؤشرات بعلاقات قوية مقارنة ببقية العناصر، مما يشير إلى دورها المحوري في تحديد مستوى الملاءمة المناخية. وفي المقابل، أظهرت مؤشرات أخرى، مثل درجة الحرارة والرطوبة النسبية والأمطار، علاقات ارتباط متوسطة، في حين سجلت العواصف الغبارية أضعف قيمة ارتباط، الأمر الذي يعكس محدودية تأثيرها النسبي خلال هذه الدورة.

كما بيّنت القيم الإحصائية المصاحبة أن معظم هذه العلاقات كانت ذات دلالة معنوية عند مستوى (٠.٠٥)، اعتمادًا على نتائج اختبار (t) وقيم(p) ، وهو ما يؤكد موثوقية الترابط بين المتغيرات المدروسة. وقد أظهرت عناصر الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة والرطوبة النسبية والأمطار وسرعة الرياح والتبخر–النتح المرجعي (ETo) ارتباطات معنوية واضحة مع مؤشر الملاءمة المناخية، في حين لم تحقق العواصف الغبارية دلالة إحصائية رغم اتجاهها العكسي، مما يشير إلى محدودية تأثيرها ضمن الإطار الزمني للدورة الأولى.

وتعكس هذه النتائج تفاوتًا في وزن وتأثير العناصر المناخية، حيث تبرز العوامل المرتبطة بالطاقة والمياه بوصفها الأكثر فاعلية في تشكيل بيئة النمو الزراعي. كما تتيح هذه العلاقات إمكانية تطوير نماذج تنبؤية أكثر دقة لتقدير الملاءمة المناخية مستقبلًا، وتوجيه الاهتمام نحو المتغيرات الأكثر تأثيرًا عند إعداد استراتيجيات التكيف الزراعي. وتؤكد هذه المعطيات أهمية التحليل الإحصائي بوصفه أداة أساسية في تفسير التباين المناخي وربطه بالأداء الإنتاجي.

كما يدل هذا التباين على أن استجابة المحصول ناتجة عن تفاعل مركّب بين عدة عناصر مناخية، وليس نتيجة تأثير عامل منفرد. وتُظهر النتائج أن بعض المتغيرات تمثل محددات رئيسة للملاءمة، في حين يرتبط تأثير متغيرات أخرى بظروف بيئية معينة. كما يعكس اختلاف قوة الارتباط أهمية الخصوصية المناخية المحلية في تحديد طبيعة هذه العلاقات. ومن ثم، فإن فهم ديناميكية الملاءمة المناخية يتطلب اعتماد منهج تحليلي تكاملي يجمع بين الدلالات الإحصائية والتفسير البيئي لتحقيق قراءة أكثر دقة وشمولية.

جدول (٤٣) نتائج معامل الارتباط بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠)

المؤشرات المناخية	معامل الارتباط(r)	t المحسوبة	df	tالجدولية (0.05)	قيمة (p)	الدلالة الاحصائية
الإشعاع الشمسي	-0.835	3.79	10	2.228	0.001	معنوي
درجة الحرارة	-0.635	2.45	10	2.228	0.026	معنوي
الرطوبة النسبية	0.661	2.62	10	2.228	0.019	معنوي
الأمطار	0.702	3.01	10	2.228	0.011	معنوي
سرعة الرياح	-0.893	4.91	10	2.228	0.000	معنوي
التبخر–النتح المرجعي(ETo)	-0.768	3.62	10	2.228	0.004	معنوي
العواصف الغبارية	-0.468	1.58	10	2.228	0.125	غير معنوي

المصدر : بالاعتماد على البيانات المناخية السنوية لمحطة النجف خلال الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠)، والمعالجة إحصائيًا باستعمال معامل ارتباط بيرسون واختبار معنويته عبر البرنامج الإحصائي SPSS (الإصدار ١٦).

ملاحظة :تم احتساب معاملات الارتباط باستعمال معامل ارتباط بيرسون (Pearson r) اعتمادًا على عدد المشاهدات الزمنية الفعلية التي أُدخلت في التحليل الإحصائي عبر برنامج SPSS، والتي بلغت (n = ١٢) قيمة سنوية ضمن إطار الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠). وبناءً عليه، تم احتساب درجة الحرية وفق العلاقة الإحصائية(df = n − ٢ = ١٠) ، علمًا أن درجة الحرية لا تُستخرج من عدد العناصر المناخية الداخلة في التحليل (٧ عناصر) وإنما من عدد المشاهدات الزمنية المعتمدة. كما اعتمدت القيمة التائية الجدولية (t = ٢.٢٢٨) عند مستوى دلالة (α = ٠.٠٥)لغرض مقارنة القيم التائية المحسوبة وتحديد الدلالة الإحصائية للعلاقات الارتباطية الواردة في الجدول.

ومن خلال الجمع بين اتجاه العلاقة وقوتها ومستوى دلالتها الإحصائية، يمكن تصنيف نتائج التحليل إلى مجموعات رئيسة دون الخوض في تفسير أسباب هذا التصنيف. إذ يمكن الإشارة إلى وجود مجموعة من العلاقات ذات الدلالة الإحصائية العالية، شملت بالأساس سرعة الرياح

والإشعاع الشمسي والتبخر–النتح المرجعي، في حين ظهرت مجموعة أخرى بعلاقات ذات دلالة إحصائية متوسطة شملت الأمطار والرطوبة النسبية ودرجة الحرارة، إلى جانب مجموعة ثالثة تمثلت في علاقة غير معنوية إحصائيًا تمثلت في مؤشر العواصف الغبارية. ويعكس هذا التصنيف اختلاف درجة ارتباط المؤشرات المناخية بمؤشر الملاءمة المناخية خلال هذه الدورة، دون ربط النتائج بأي تفسيرات سببية أو تطبيقية.

وقد جرى الالتزام في عرض نتائج جدول (٤٣) بالحياد العلمي الكامل، من خلال الاقتصار على الوصف الرقمي للعلاقات الإحصائية من حيث اتجاهها وقوتها ومستوى دلالتها، وتجنّب استعمال أي أوصاف تقييمية أو أحكام نوعية أو استنتاجات تطبيقية. كما لم يُربط هذا العرض بأي توصيات أو آثار مستقبلية، بل اقتصر على ما تعكسه الأرقام من علاقات إحصائية ضمن الإطار الزمني للدراسة.

وبصورة عامة، يعكس جدول (٤٣) وجود تباين إحصائي واضح في اتجاه وقوة ودلالة العلاقات بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠)، وهو ما يجعل هذه الدورة إطارًا مرجعيًا مهمًا لفهم تطور هذه العلاقات عند الانتقال إلى تحليل الدورات المناخية اللاحقة.

٤-١-١-٣- التوزيع المكاني لمستوى الملاءمة المناخية لمتطلبات نظام (SRI) .

يبين الجدول (٤٤) والخريطة (٣) أقاليم الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠) ، أن مؤشر الملاءمة المناخية (MSI) يتراوح بين(٠.٨٠–٠.٦٠) وهو مدى يعكس ثلاثة أقاليم مناخية رئيسية داخل المحافظة وهي :-

الإقليم الشمالي (٠.٨٠–٠.٧٠ = MSI) – ملاءمة عالية جداً

يشمل هذا الإقليم كلًا من (الحيرة، الكوفة)، ويتسم بارتفاع مستويات الإشعاع الشمسي الفعّال التي تقترب من (٥٢٠–٥٠٠واط/م^2)، إلى جانب درجات حرارة مستقرة تقع ضمن المدى الفسيولوجي الأمثل لنمو الرز (٢٥–٢٨°م) .كما تسود رطوبة نسبية معتدلة تقلل من مخاطر الإصابة بالأمراض النباتية، مع سرعات رياح معتدلة تسهم في تحسين التهوية وخفض حرارة سطح الورقة، الأمر الذي ينعكس إيجابًا على كفاءة العمليات الفسيولوجية للنبات .وتسهم الخصائص العامة للسطح الزراعي في تعزيز كفاءة إدارة مياه الري والتهوية عند تطبيق نظام الزراعة الذكية .(SRI) ويُعد هذا الإقليم من أكثر مناطق محافظة النجف ملاءمة لتطبيق نظام SRI

خلال الدورة المناخية الأولى، لما يوفّره من توازن مناخي أمثل بين الحرارة والإشعاع والتبخر والرطوبة.

الإقليم الأوسط (٠.٦٦–٠.٦٩ = MSI) – ملاءمة عالية

يضم هذا الإقليم كلًا من (النجف، القادسية، الرضوية، العباسية، الحرية)، ويتميز بتوازن حراري–رطوبي أفضل مقارنة بالإقليم الجنوبي، فضلًا عن إشعاع شمسي فعّال ضمن الحدود المشجعة لنمو الرز (أكثر من ٤٥٠ واط/م^2). كما تسود رياح معتدلة تسهم في تقليل الرطوبة المحيطة بالنبات وتعزيز التهوية، إلى جانب معدلات تبخر متوسطة تساعد على ضبط كفاءة الري عند تطبيق نظام الزراعة الذكية .(SRI) ويمثل هذا الإقليم القلب الإنتاجي الملائم لتطبيق SRIفي المحافظة خلال هذه الدورة، لوقوع عناصر المناخ ضمن المدى الفسيولوجي المناسب لنمو الرز وتحقيق كفاءة إنتاجية مستقرة. كما يتيح هذا التوازن المناخي إمكانية تحسين الإنتاجية من خلال إدارة زراعية فعّالة ومتكاملة. وتبرز فيه فرص التوسع الزراعي المستدام بفضل استقرار العناصر المناخية وملاءمتها لنمو المحصول.

الإقليم الجنوبي (٠.٦٠–٠.٦٥ = MSI) – ملاءمة متوسطة

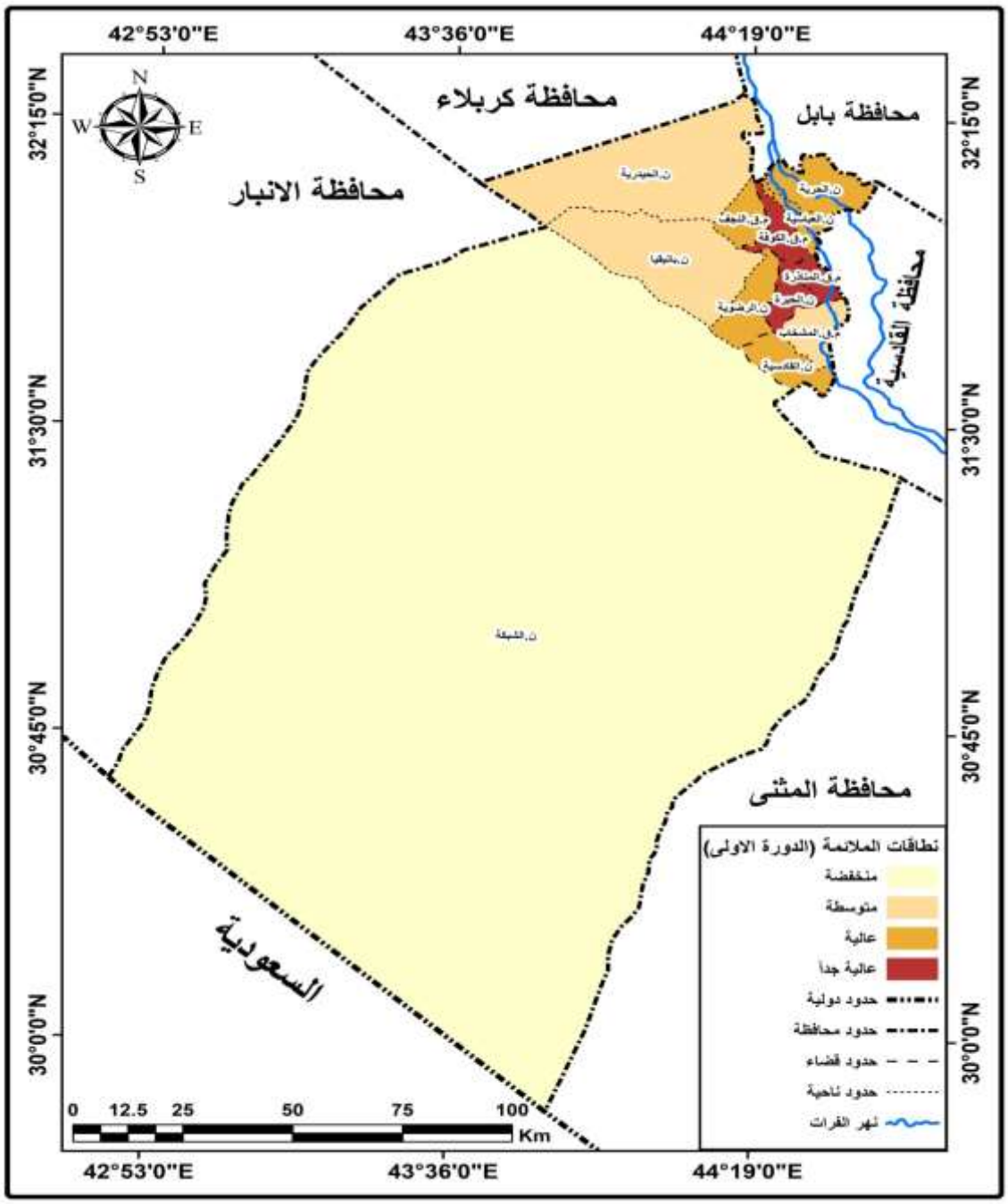
يشمل هذا الإقليم كلًا من (المشخاب، الحيدرية، بانيقيا)، ويتسم بانخفاض نسبي في الإشعاع الشمسي الفعّال نتيجة ارتفاع الرطوبة وبخار الماء والغبار الجوي مقارنة بالمناطق الوسطى والشمالية، فضلًا عن رطوبة نسبية أعلى تقلل من كفاءة التمثيل الضوئي وتزيد من مخاطر الإصابة بالأمراض الفطرية. كما تسجّل درجات حرارة صيفية مرتفعة مع تبخر عالٍ، وأمطار شتوية محدودة التأثير، ما يجعل الموارد المائية معتمدة أساسًا على الري السطحي. وقد أسهم ذلك في تصنيف الإقليم ضمن فئة الملاءمة المتوسطة بسبب ارتفاع الإجهاد الحراري–المائي وتذبذب كفاءة استعمال المياه، مما يحدّ من قدرة نظام SRI على تحقيق إنتاجية أعلى. كما أن استمرار ارتفاع درجات الحرارة يؤدي إلى تسريع النمو الخضري على حساب مراحل تكوين الحبوب. وتسهم الرطوبة المرتفعة في زيادة احتمالية انتشار الأمراض النباتية، مما يؤثر في جودة المحصول. كما يؤدي التبخر العالي إلى زيادة الحاجة للري، الأمر الذي يرفع من كلفة الإنتاج ويزيد الضغط على الموارد المائية. وتؤكد هذه الظروف ضرورة اعتماد إدارة زراعية دقيقة لتحقيق توازن بين العوامل المناخية وتحسين كفاءة الإنتاج.

جدول (٤٤) أقاليم الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠)

رقم	الوحدة الإدارية	(MSI) مدى	(SRI) ملاءمة
١	المشخاب	0.60–0.65	متوسطة
٢	القادسية	0.66–0.69	عالية
٣	الرضوية	0.66–0.69	عالية
٤	الحيرة	0.70–0.80	عالية جدًا
٥	العباسية	0.66–0.69	عالية
٦	الكوفة	0.70–0.80	عالية جدًا
٧	النجف	0.66–0.69	عالية
٨	الحرية	0.66–0.69	عالية
٩	الحيدرية	0.60–0.65	متوسطة
١٠	بانيقيا	0.60–0.65	متوسطة

المصدر :بالاعتماد على البيانات المناخية الواردة في الجداول (٢٢)، (٢٨)، (٣٢)، (٣٤)، (٣٦)، (٣٨)، (٤٠)، والخاصة بالدورة المناخية الأولى .(١٩٩٠–١٩٨٠)

*** تم اشتقاق وتصنيف مؤشر الملاءمة المناخية (MSI) من خلال المعالجة الإحصائية للبيانات المناخية باستعمال البرنامج الإحصائي SPSS (الإصدار ١٦)، حيث جرى تصنيف القيم عدديًا ثم ربطها مكانيًا بالوحدات الإدارية، وبذلك تعكس قيم MSI التباين المكاني في درجة ملاءمة تطبيق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) ضمن مناخ مرجعي موحّد، ولا تمثل تباينًا مناخيًا محليًا مباشرًا.**



خريطة (٣) التوزيع الجغرافي لمستوى الملاءمة المناخية بدلالة مؤشر (MSI) لنظام الزراعة (SRI) في محافظة النجف ضمن الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠-١٩٩٠)

المصدر- بالاعتماد على جدول(٤٤).

اعتمد التوزيع الجغرافي لمستوى الملاءمة المناخية الوحدات الإدارية .

اعتمد التوزيع الجغرافي مؤشر (MSI) المتباين مكانيا بدلالة تفاعل المؤشرات المناخية مع المتغيرات المكانية الخاصة بالتربة والمؤشرات الهيدرولوجية .

٤-١-٢- التقييم المناخي لمستوى ملاءمة متطلبات نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠)

٤-١-٢-١- خصائص المؤشرات المناخية وملاءمة (SRI) خلال الدورة المناخية الأولى في محافظة القادسية

يوضح جدول (٤٥) أهم الخصائص الإحصائية للمؤشرات المناخية في محطة الديوانية خلال الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠)، والتي تمثل مرحلة مرجعية أساسية لتحليل التحولات المناخية اللاحقة في المحافظة. وتعكس بيانات هذه الدورة السمات العامة للمناخ السائد في منطقة القادسية خلال عقد زمني اتسم بظروف مناخية أقل تطرفًا مقارنة بالعقود اللاحقة، مما يجعلها أساسًا مناسبًا لتقييم ملاءمة الزراعة، ولا سيما نظام تكثيف زراعة الرز.(SRI)

يبدأ التحليل بالمؤشرات الطاقية بوصفها المحرك الرئيس للنظام المناخي، حيث أظهرت قيم الإشعاع الشمسي مستوى مرتفعًا نسبيًا مع تباين واضح بين حدوده الدنيا والعليا، وهو ما يعكس الموقع الجغرافي لمحافظة القادسية ضمن نطاق المناخ الصحراوي أو شبه الصحراوي ووقوعها ضمن العروض شبه المدارية. ويشير هذا النمط إلى سيادة السماء الصافية وقلة الغطاء السحابي خلال معظم أيام السنة، ولا سيما في فصل الصيف، مما يزيد من وصول الإشعاع الشمسي المباشر. ويُعد هذا المستوى الإشعاعي عاملًا داعمًا لعمليات التمثيل الضوئي ورفع كفاءة التمثيل الكربوني للنبات، وهو ما ينسجم مع المتطلبات المثلى لزراعة الرز ويعزز من كفاءة تطبيق نظام.SRI

أما درجات الحرارة، فقد اتسمت خلال هذه الدورة بمدى حراري واسع يعكس الانتقال الحاد بين شتاء بارد نسبيًا وصيف حار، وهي سمة مميزة للمناخ القاري السائد في الفرات الاوسط. ويؤكد هذا التباين الحراري القارية العالية لمناخ القادسية ، الناتجة عن بعدها عن التأثيرات البحرية. وعلى الرغم من أن المتوسط السنوي لدرجات الحرارة يقع ضمن المدى الفسيولوجي الملائم لنمو الرز، فإن تسجيل قيم مرتفعة خلال فصل الصيف يشير إلى تعرض النبات لفترات من الإجهاد الحراري، مما قد يؤثر في كفاءة التمثيل الضوئي وانتظام الإزهار وعقد السنابل، وهو ما يستدعي إدارة زراعية دقيقة عند تطبيق نظام SRI خلال أشهر الذروة الحرارية.

وفيما يتعلق بالعناصر الجوية الثانوية، أظهرت الرطوبة النسبية نمطًا يعكس الطبيعة الجافة إلى شبه الجافة للمنطقة، حيث تنخفض القيم بشكل ملحوظ خلال فصل الصيف نتيجة ارتفاع درجات الحرارة وشدة التبخر، بينما ترتفع نسبيًا خلال فصل الشتاء والربيع. ويُعد هذا المستوى من الرطوبة ملائمًا نسبيًا لتطبيق نظامSRI ، إذ يسهم في تقليل انتشار الأمراض الفطرية وتحسين

كفاءة النتح، إلا أن الانخفاض الشديد في الرطوبة خلال الصيف قد يزيد من الإجهاد المائي للنبات في حال عدم إدارة الري بكفاءة.

جدول (٤٥) خصائص المؤشرات المناخية لمحطة الديوانية للدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠)

المؤشرات المناخية	الحد الأدنى	الحد الأعلى	المتوسط السنوي
الإشعاع الشمسي (ملّي واط/سم²/يوم)	274	645	474.83
درجة الحرارة (°م)	10.60	35.83	24.14
(%) الرطوبة النسبية	25.68	67.59	43.46
الأمطار (ملم/شهر)	0.00	20.40	8.78
سرعة الرياح (م/ثا)	2.78	5.14	3.86
التبخر–النتح المرجعي (ملم/يوم) ETo	1.62	7.72	4.44
العواصف الغبارية (مرة/شهر)	0.00	1.18	0.31

المصدر: بالاعتماد على معالجة البيانات المناخية الواردة في الجداول (٢٣)، (٢٩)، (٣٣)، (٣٥)، (٣٧)، (٣٩)، (٤١)، والخاصة بمحطة الديوانية للمدة (١٩٨٠–٢٠٢٣)، بعد عزل بيانات الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠)، وباستعمال مخرجات البرنامج الإحصائي SPSS (الإصدار ١٦) .

أما العناصر الهيدرومناخية، فقد بينت بيانات الأمطار محدوديتها الشديدة وعدم انتظامها، مما يؤكد اعتماد الزراعة في محافظة القادسية اعتمادًا شبه كلي على الري السطحي. وتعكس هذه الخصائص مناخًا شحيح الأمطار، حيث يتركز الهطول في فترات قصيرة ومتقطعة خلال الموسم المطري، دون أن يشكل موردًا مائيًا مستدامًا للزراعة. ويبرز هذا الواقع أهمية تبني أنظمة ري عالية الكفاءة، ويؤكد الدور المحوري لنظام SRI في تقليل كميات المياه المستعملة مقارنة بالري التقليدي.

وتشير قيم التبخر–النتح المرجعي (ETo) إلى مستوى متوسط إلى مرتفع من الطلب الجوي على الماء، ولا سيما خلال فصل الصيف، نتيجة تضافر عوامل الحرارة المرتفعة والرطوبة المنخفضة والنشاط الإشعاعي العالي. وتعكس هذه القيم بيئة مناخية تتطلب إدارة دقيقة للاحتياجات المائية للمحاصيل، إلا أن المتوسط السنوي يشير إلى إمكانية التحكم بالري بصورة فعالة عند تطبيق نظامSRI ، الذي أثبت قدرته على خفض الاستهلاك المائي مع الحفاظ على الإنتاجية.

وفيما يخص الظواهر المناخية المتطرفة، سجلت العواصف الغبارية خلال هذه الدورة تكرارًا محدودًا نسبيًا، وهو ما يعكس درجة من الاستقرار المناخي مقارنة بالدورات اللاحقة. ورغم محدودية عددها، إلا أن هذه العواصف قد تؤثر سلبًا في كفاءة التمثيل الضوئي من خلال تقليل الإشعاع الواصل للنبات وترسيب الغبار على الأوراق، فضلًا عن زيادة الإجهاد الفسيولوجي، الأمر الذي يستوجب أخذها بنظر الاعتبار عند إدارة الحقول الزراعية ضمن نظام.SRI

وبناءً على ما تقدم، تُظهر بيانات الدورة المناخية الأولى في محطة الديوانية أن المنطقة تتمتع ببيئة مناخية مشمسة ذات إشعاع شمسي عالٍ، وحرارة سنوية معتدلة ضمن المدى الملائم لزراعة الرز، مع رطوبة نسبية متوسطة إلى منخفضة وأمطار شحيحة، وتبخر–نتح مرتفع نسبيًا خلال الصيف. وتشير هذه الخصائص مجتمعة إلى أن محافظة القادسية (القادسية) تمتلك ملاءمة مناخية جيدة إلى متوسطة لتطبيق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) خلال هذه الدورة، شريطة ضبط إدارة المياه خلال أشهر الصيف وتقليل آثار الإجهاد الحراري.

٤-١-٢-٢- التقييم المناخي لملاءمة متطلبات نظام (SRI) خلال الدورة المناخية الأولى في محافظة القادسية .

تمثّل الدورة المناخية الأولى الممتدة بين عامي (١٩٨٠–١٩٩٠) مرحلة مرجعية مهمة في تحليل العلاقة بين الخصائص المناخية وملاءمة تطبيق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في محافظة القادسية، إذ تُعد هذه الدورة الأساس الزمني الذي يُعتمد عليه في مقارنة التغيرات المناخية التي طرأت خلال الدورات اللاحقة. وقد تميّزت هذه المرحلة بدرجة من الاستقرار النسبي في القيم المناخية المسجّلة مقارنة بما شهدته العقود التالية، فضلًا عن كونها تسبق مرحلة تسارع التغيرات المناخية الإقليمية التي بدأت بالظهور بشكل أوضح منذ تسعينيات القرن الماضي.

وانطلاقًا من ذلك، استهدف التحليل الإحصائي خلال هذه الدورة الكشف عن طبيعة واتجاه وقوة العلاقة بين المؤشرات المناخية الرئيسة ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام تكثيف زراعة الرز (SRI)، وذلك بالاعتماد على معامل ارتباط بيرسون واختبار دلالته الإحصائية عند مستوى دلالة (α = ٠.٠٥). ويعرض جدول (٤٦) نتائج معاملات الارتباط بين المؤشرات المناخية المختلفة ومؤشر الملاءمة المناخية للنظام خلال هذه المدة.

وتُظهر النتائج الإحصائية الواردة في الجدول أن جميع المؤشرات المناخية المدروسة في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الأولى قد ارتبطت ارتباطًا ذا دلالة إحصائية بمؤشر الملاءمة المناخية لنظام(SRI) ، مع تباين واضح في اتجاه وقوة هذه العلاقات. فقد سُجّلت

علاقات ارتباط طردية بين بعض المؤشرات ومؤشر الملاءمة المناخية، في حين سُجّلت علاقات ارتباط عكسية بين مؤشرات أخرى، كما تراوحت قوة هذه العلاقات بين قوية جدًا، وقوية، ومتوسطة، اعتمادًا على القيم المطلقة لمعامل الارتباط.(r) ويُلاحظ أن الإشعاع الشمسي سجّل أعلى قيمة لمعامل الارتباط، حيث بلغ(r = ٠.٩٧٧) ، وهي علاقة طردية قوية جدًا وذات دلالة إحصائية عالية، إذ تجاوزت قيمة (t) المحسوبة القيمة الجدولية المعتمدة عند درجة حرية (df = ١٠).كما أظهرت درجة الحرارة علاقة ارتباط طردية قوية ومعنوية مع مؤشر الملاءمة المناخية، إذ بلغ معامل الارتباط(r = ٠.٨٢٣) ، ما يشير إلى وجود علاقة ارتباط واضحة بين هذا المتغير والمؤشر المدروس خلال هذه الدورة. وفي المقابل، سجّلت الرطوبة النسبية علاقة ارتباط عكسية قوية ومعنوية، حيث بلغ معامل الارتباط(r = –٠.٨٧١) ، في حين أظهرت الأمطار علاقة ارتباط عكسية متوسطة ذات دلالة إحصائية، إذ بلغ معامل الارتباط (r = –٠.٦٧٣).ويعكس هذا التباين في اتجاه العلاقات اختلاف طبيعة الارتباط الإحصائي بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية خلال المدة نفسها. كما أظهرت سرعة الرياح علاقة ارتباط طردية قوية ومعنوية مع مؤشر الملاءمة المناخية، حيث بلغ معامل الارتباط (r = ٠.٧٩١)، في حين سجّل التبخر–النتح المرجعي (ETo) علاقة ارتباط طردية قوية ومعنوية بلغت .(r = ٠.٨٦٤) وتدل هذه القيم على وجود ارتباطات إحصائية واضحة بين هذه المؤشرات ومؤشر الملاءمة المناخية ضمن الإطار الزمني للدورة المناخية الأولى. كما تعكس هذه النتائج أن العناصر المناخية المرتبطة بالطاقة والحرارة تمثل العوامل الأكثر تأثيرًا في رفع مستوى الملاءمة المناخية. بينما تُظهر العلاقات العكسية أن بعض المتغيرات، كالرطوبة والأمطار، قد تحد من كفاءة البيئة المناخية في ظروف معينة. وتشير هذه الأنماط إلى وجود توازن دقيق بين العوامل المناخية الإيجابية والسلبية في تحديد مستوى الملاءمة. كما يمكن الاستفادة من هذه العلاقات في بناء نماذج تنبؤية لتقدير الملاءمة المناخية مستقبلًا. وتؤكد هذه المؤشرات أهمية التحليل الإحصائي في تفسير التباين المكاني والزماني للملاءمة المناخية.

جدول (٤٦) نتائج معامل الارتباط بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠)

المؤشرات المناخية	معامل الارتباط(r)	t المحسوبة	df	tالجدولية (0.05)	قيمة (p)	الدلالة الإحصائية
الإشعاع الشمسي	0.977	15.23	10	2.228	0.000	معنوي
درجة الحرارة	0.823	4.58	10	2.228	0.001	معنوي
الرطوبة النسبية	–0.871	5.59	10	2.228	0.000	معنوي
الأمطار	–0.673	2.88	10	2.228	0.016	معنوي
سرعة الرياح	0.791	4.09	10	2.228	0.002	معنوي
التبخر–النتح المرجعي(ETo)	0.864	5.47	10	2.228	0.000	معنوي
العواصف الغبارية	–0.633	2.61	10	2.228	0.027	معنوي

المصدر: بالاعتماد على البيانات المناخية السنوية لمحطة الديوانية خلال الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠)، والمعالجة إحصائيًا باستعمال معامل ارتباط بيرسون واختبار معنويته عبر البرنامج الإحصائي SPSS (الإصدار ١٦).

أما العواصف الغبارية، فقد سجّلت علاقة ارتباط عكسية متوسطة لكنها ذات دلالة إحصائية، إذ بلغ معامل الارتباط(r = –٠.٦٣٣) ، وهو ما يشير إلى أن هذا المتغير كان مرتبطًا إحصائيًا بمؤشر الملاءمة المناخية خلال هذه الدورة، وإن كانت قوة العلاقة أقل مقارنة ببقية المؤشرات المناخية الأخرى.

وتشير النتائج الإحصائية مجتمعة إلى أن الدورة المناخية الأولى في محافظة القادسية اتسمت بوجود علاقات ارتباط واضحة ومتمايزة من حيث الاتجاه والقوة بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام تكثيف زراعة الرز .(SRI) كما تُظهر النتائج أن جميع المؤشرات المناخية المدروسة خلال هذه الدورة كانت ذات دلالة إحصائية، ما يجعل هذه المرحلة إطارًا مرجعيًا مناسبًا لتحليل تطور هذه العلاقات ومقارنتها بما شهدته الدورات المناخية اللاحقة.

٤-١-٢-٣-التوزيع المكاني لمستوى الملاءمة المناخية لمتطلبات(SRI)

يُقدِّم هذا الجدول (٤٧) والخريطة (٤) صورة مكانية دقيقة لملاءمة نظام الزراعة الذكية للأرز (SRI)في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠)، استنادًا إلى قيم مؤشر الملاءمة المناخية (MSI) الذي يعكس درجة تقارب الخصائص المناخية في كل وحدة إدارية من المتطلبات المثلى للنظام. ويمكن قراءة النمط المكاني للملاءمة من خلال ثلاثة نطاقات مكانية رئيسة)شمالي، أوسط، جنوبي) مع ثلاث درجات للملاءمة (عالية جدًا، عالية، متوسطة).

النطاق المكاني الشمالي أعلى مستويات الملاءمة

(MSI =٠.٨٥-٠.٨٠) ملاءمة عالية جدًا

يضم الإقليم الشمالي للملاءمة المناخية سبع وحدات إدارية، ويمكن تقسيمه داخليًا إلى مجموعتين فرعيتين وفق شدة الملاءمة المناخية. إذ تقع أربع وحدات إدارية هي (غماس، عفك، الدغارة، الشافعية) ضمن فئة الملاءمة العالية جدًا بقيم مؤشر تتراوح بين –٠.٨٢ = MSI) (٠.٨٥، في حين تندرج ثلاث وحدات أخرى هي (الحمزة، سومر، المهناوية) ضمن فئة الملاءمة العالية بقيم تتراوح بين .(٠.٨١–٠.٨٠ = MSI)ويعكس هذا التوزيع استئثار الإقليم الشمالي بأعلى قيم مؤشر الملاءمة المناخية في المحافظة، ما يجعله النطاق المناخي الأكثر دعمًا لتطبيق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) خلال الدورة المناخية الأولى.

دلاليًا، تشير هذه القيم إلى أن عناصر المناخ في الإقليم الشمالي، ولا سيما الإشعاع الشمسي ودرجات الحرارة والرطوبة النسبية وسرعة الرياح والتبخر–النتح المرجعي، تقع في مجملها ضمن أو قريبة من القيم المثلى المعتمدة في بناء مؤشرMSI ، بما يحقق توازنًا مريحًا بين الطاقة المناخية المتاحة ومستويات الإجهاد المناخي. وعمليًا، ينعكس ذلك في قدرة عالية على تحقيق إنتاجية مرتفعة وكفاءة محسّنة في استعمال المياه تحت نظامSRI ، إلى جانب قابلية أكبر لتبنّي الممارسات الزراعية المتقدمة، مثل الري المتناوب والإدارة الدقيقة للمياه والتسميد المتوازن. وبذلك يمكن اعتماد هذا الإقليم منطقة مرجعية (Baseline) عند مقارنة الدورات المناخية اللاحقة أو دراسة تأثير التغير المناخي على ملاءمة تطبيق نظامSRI .

النطاق المكاني الأوسط – (٠.٧٥–٠.٧٩ = MSI) ملاءمة عالية

يضم النطاق المكاني الأوسط أربع وحدات إدارية هي (القادسية، الشامية، الصلاحية، السنية)، وتقع جميعها ضمن مدى(٠.٧٥–٠.٧٩ = MSI) ، أي ضمن فئة الملاءمة العالية لنظام .SRI ويشير هذا التجانس العددي إلى أن النطاق المكاني الأوسط يمثل حزامًا من الاستقرار المناخي النسبي، إذ لا تبلغ عناصر المناخ فيه القيم المثلى القصوى كما في بعض وحدات النطاق المكاني الشمالي، لكنها تظل قريبة منها بدرجة تسمح بتطبيق نظام SRI بكفاءة عالية وبقيود مناخية محدودة. ومن الناحية التطبيقية، يُتوقع أن يحقق هذا النطاق المكاني إنتاجية مستقرة وعالية نسبيًا، مع اعتماد واضح على الإدارة الجيدة للري لتعويض التذبذب المطري. كما يؤدي النطاق المكاني الأوسط دورًا انتقاليًا مهمًا بين أقصى درجات الملاءمة المناخية في الشمال والظروف الأكثر إجهادًا نسبيًا في الجنوب، ما يجعله ذا أهمية خاصة في فهم التدرج المناخي المكاني داخل المحافظة. وتُعد وحداته الإدارية مناسبة لبرامج التوسع المنظّم في تطبيق نظام SRI أو لإجراء التجارب الحقلية التطبيقية، نظرًا لغياب القيود المناخية الحادة.

النطاق المكاني الجنوبي – (٠.٦٥–٠.٧٤ = MSI) ملاءمة متوسطة

يضم النطاق المكاني الجنوبي أربع وحدات إدارية هي (نفر، الشنافية، البدير، السدير)، وتقع جميعها ضمن مدى(٠.٦٥–٠.٧٤ = MSI) ، أي ضمن فئة الملاءمة المتوسطة لنظام .SRI ولا تعني هذه القيم عدم ملاءمة النطاق المكاني، بل تشير إلى أن الظروف المناخية فيه أقل قربًا من النموذج المثالي الذي يستهدفه مؤشرMSI ، وغالبًا ما ترتبط بارتفاع درجات الحرارة وزيادة معدلات التبخر–النتح المرجعي، بما يرفع من شدة الإجهاد المائي.

كما يتسم النطاق المكاني بانخفاض نسبي في الرطوبة الفعّالة أو بزيادة تكرار العواصف الغبارية مقارنة بـ النطاقين المكانيين الشمالي والأوسط، وما يرافق ذلك من تأثيرات سلبية على النمو الفسيولوجي للنبات وكفاءة التمثيل الضوئي. ويؤدي ذلك إلى اعتماد أكبر على الري التعويضي نتيجة محدودية الأمطار الفعّالة وزيادة الفاقد المائي بفعل الحرارة والرياح. ومن منظور الزراعة الذكية، يتطلب هذا النطاق المكاني حزمة تكيفية أوضح تشمل تحسين تصميم شبكات الري، واعتماد أساليب ري دقيقة، واستعمال مصدات الرياح، وتحسين إدارة مواعيد الزراعة، ودمج ممارسات SRI مع تقنيات حفظ الرطوبة، بهدف تقليص الفجوة بين الوضع المناخي الفعلي والقيم المثلى المستهدفة.

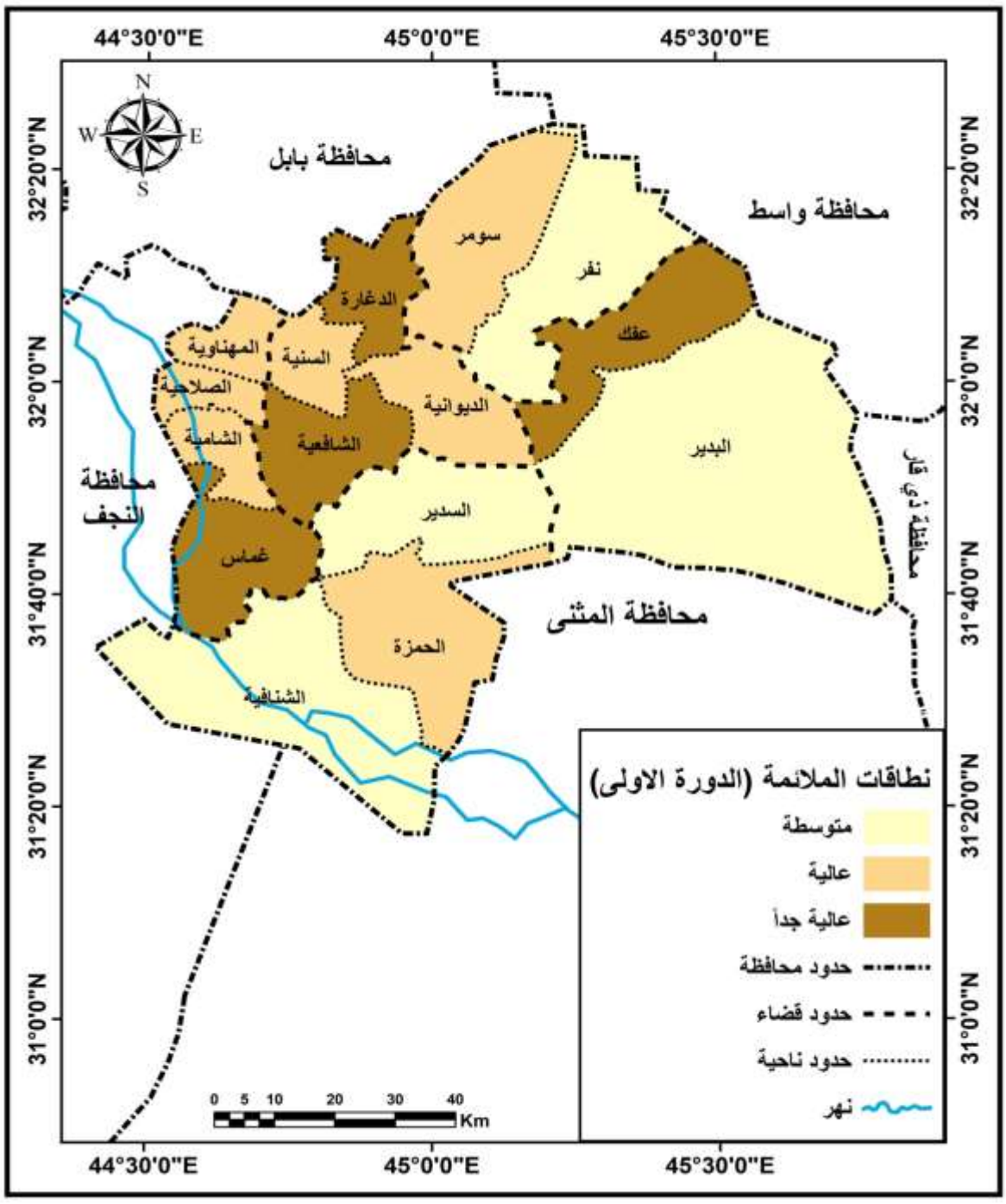
نستنتج أن هذا التوزيع يعني أن نحو ثلاثة أرباع وحدات المحافظة تقريبًا (حوالي ٧٣%) تقع ضمن فئتي الملاءمة العالية والعالية جدًا، وهي نسبة مرتفعة تدل على أن محافظة القادسية – في الدورة المناخية الأولى – تمتعت بقاعدة مناخية قوية وواعدة لتطبيق نظام .SRI في المقابل، يشكّل النطاق المكاني الجنوبي نطاقًا انتقاليًا ذا ملاءمة متوسطة يحتاج إلى تدخلات تكيفية أكثر من غيره. وعلميًا، يمكن استثمار هذه النتائج في ترسيم أقاليم إنتاجية مميَّزة وجعل النطاق المكاني الشمالي محورًا لزراعة الرز ذات الكثافة العالية تحت نظامSRI ، مع اعتماد النطاق المكاني الأوسط منطقة توسع مستقر، والنطاق المكاني الجنوبي كمجال تجريبي لتقنيات التكيّف المناخي. وبناء خط أساس للمقارنة الزمنية، وهذه الخريطة الإقليمية للملاءمة تمثل "خط مرجعي " (Baseline)عند مقارنة الدورات المناخية التالية

(١٩٩١–٢٠٠٠، ٢٠٠١–٢٠١٠، ٢٠١١–٢٠٢٠)، لرصد تأثير الاحترار العالمي والتغيرات المناخية في نقل بعض الوحدات من ملاءمة عالية إلى متوسطة، أو العكس. ودعم التخطيط المكاني للزراعة الذكية من خلال ربط أقاليم الملاءمة بمؤشرات أخرى (المياه السطحية والجوفية، التربة، البنية التحتية للري)، ويمكن صياغة خرائط قرار Decision) (Mapsتُوجِّه الاستثمار الزراعي نحو المناطق الأكثر كفاءة مناخيًا، مع تصميم برامج تكيف خاصة للأقاليم الأقل ملاءمة. وهذا التصنيف ليس مجرد تصنيف عددي للملاءمة، بل خريطة مناخية–زراعية متكاملة توضح أن محافظة القادسية تمتلك في دورتها المناخية الأولى مقومات قوية لتبنّي نظامSRI ، مع ضرورة مراعاة الفروق المكانية بين الشمال والأوسط والجنوب عند التخطيط للتوسع في الزراعة الذكية. كما يُبرز هذا التوزيع أهمية توجيه الموارد الزراعية نحو المناطق الأعلى كفاءة لتعظيم العائد الإنتاجي. ويسهم في تقليل المخاطر المناخية من خلال توزيع الأنشطة الزراعية وفق درجات الملاءمة. كما يدعم بناء استراتيجيات تكيف مرنة تتلاءم مع التغيرات المناخية المستقبلية. ويعزز من كفاءة استخدام المياه عبر تركيز الزراعة في البيئات الأكثر ملاءمة مناخيًا. وتؤكد هذه النتائج دور التحليل المكاني في دعم اتخاذ القرار الزراعي وتحقيق الاستدامة الإنتاجية.

جدول (٤٧) نطاقات الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية(SRI) في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠–١٩٩٠)

رقم	الوحدة الإدارية	مدى (MSI)	ملاءمة (SRI)
١	غماس	0.82 – 0.85	عالية جدًا
٢	عفك	0.82 – 0.85	عالية جدًا
٣	الدغارة	0.82 – 0.85	عالية جدًا
٤	الشافعية	0.82 – 0.85	عالية جدًا
٥	الحمزة	0.80 – 0.81	عالية
٦	سومر	0.80 – 0.81	عالية
٧	المهناوية	0.80 – 0.81	عالية
٨	القادسية	0.75 – 0.79	عالية
٩	الشامية	0.75 – 0.79	عالية
١٠	الصلاحية	0.75 – 0.79	عالية
١١	السنية	0.75 – 0.79	عالية
١٢	نفر	0.65 – 0.74	متوسطة
١٣	الشنافية	0.65 – 0.74	متوسطة
١٤	البدير	0.65 – 0.74	متوسطة
١٥	السدير	0.65 – 0.74	متوسطة

المصدر: بالاعتماد على البيانات المناخية الواردة في الجداول (٢٣)، (٢٩)، (٣٣)، (٣٥)، (٣٧)، (٣٩)، (٤١)، والخاصة بمحطة الديوانية للدورة المناخية الاولى (١٩٨٠–١٩٩٠).



خريطة (٤) التوزيع الجغرافي لمستوى الملاءمة المناخية بدلالة مؤشر (MSI) لنظام الزراعة (SRI) في محافظة القادسية ضمن الدورة المناخية الأولى (١٩٨٠-١٩٩٠)

المصدر :بالاعتماد على قاعدة بيانات جدول (٤٧)

٤-٢- التقييم المناخي لمستوى الملاءمة لمتطلبات نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)

٤-٢-١- التقييم المناخي لملاءمة متطلبات نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)

٤-٢-١-١- خصائص المؤشرات المناخية وملاءمة(SRI) خلال الدورة المناخية الثانية في محافظة النجف .

يوضح جدول (٤٨) الخصائص الإحصائية للمؤشرات المناخية في محطة النجف خلال الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)، والتي تمثل مرحلة انتقالية مهمة في مناخ العراق عامةً ومحافظة النجف على وجه الخصوص. فقد بدأت خلال هذه المدة تظهر بوادر واضحة للتغير المناخي، تمثلت بارتفاع تدريجي في درجات الحرارة، وزيادة معدلات التبخر–النتح المرجعي، وتراجع كميات الأمطار مقارنة بالدورة المناخية الأولى، الأمر الذي يجعل هذه الدورة مفصلية في تقييم تطور ملاءمة الزراعة ولا سيما نظام تكثيف زراعة الرز.(SRI)

يبدأ التحليل بالمؤشرات الطاقية بوصفها المحرك الرئيس للنظام المناخي، حيث تشير بيانات الإشعاع الشمسي إلى استمرار تسجيل مستويات مرتفعة خلال هذه الدورة، قريبة من قيم الدورة الأولى، مما يعكس بقاء الطابع الجاف والمشرق لمناخ النجف. ويظهر التباين الموسمي بوضوح بين أشهر الشتاء والصيف، وهو ما يوفر بيئة داعمة للنشاط الضوئي لمحصول الرز. وتُعد هذه الخصائص الإشعاعية عاملًا إيجابيًا في دعم كفاءة التمثيل الضوئي وتحفيز النمو الجذري والخضري، وهي من المرتكزات الأساسية لنجاح نظام.SRI

أما درجات الحرارة، فقد أظهرت خلال هذه الدورة ارتفاعًا طفيفًا في متوسطها السنوي مقارنة بالدورة الأولى، وهو ما ينسجم مع بداية اتجاه الاحترار المناخي في العراق خلال تسعينات القرن الماضي. وعلى الرغم من أن المتوسط العام بقي ضمن المدى الفسيولوجي الملائم لنمو الرز، فإن اقتراب القيم العليا خلال أشهر الصيف من حدود الإجهاد الحراري يشير إلى زيادة الضغط الحراري على النبات، وما يرافق ذلك من ارتفاع في الاحتياجات المائية وزيادة معدلات التبخر. ومع ذلك، فإن نظام SRI يمتلك قدرة أعلى على التكيف مع هذه الظروف من خلال تحسين انتشار الجذور وتهوية التربة، مما يساهم في تعزيز تحمل النبات للإجهاد الحراري.

جدول (٤٨) خصائص المؤسرات المناخية لمحطة النجف للدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)

المؤشرات المناخية	الحد الأدنى	الحد الأعلى	المتوسط السنوي
الإشعاع الشمسي (ملّي واط/سم²/يوم)	250	642	471.58
درجة الحرارة (°م)	11.03	35.96	24.16
(%) الرطوبة النسبية	22.00	71.36	43.07
الأمطار (ملم/شهر)	0.00	21.43	8.90
سرعة الرياح (م/ثا)	1.01	2.80	1.75
التبخر–النتح المرجعي ETo (ملم/يوم)	1.62	7.68	4.44
العواصف الغبارية (مرة/شهر)	0.00	1.31	0.30

المصدر: بالاعتماد على معالجة البيانات المناخية الواردة في الجداول (٢٢)، (٢٨)، (٣٢)، (٣٤)، (٣٦)، (٣٨)، (٤٠)، والخاصة بمحطة النجف للمدة (١٩٨٠–٢٠٢٣)، بعد عزل بيانات الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠) ، وباستعمال مخرجات البرنامج الإحصائي SPSS (الإصدار ١٦) .

وفيما يخص العناصر الجوية الثانوية، أظهرت الرطوبة النسبية استقرارًا نسبيًا عند مستويات معتدلة قريبة من قيم الدورة الأولى، مما يشير إلى أن الرطوبة لم تشهد تغيرًا جوهريًا خلال هذه المدة. ويسهم هذا المستوى من الرطوبة في الحد جزئيًا من معدلات التبخر، إلا أنه لا يصل إلى مستويات كافية لتقليل الاعتماد على الري المنتظم، الأمر الذي يجعل تطبيق نظام SRI أكثر أهمية في ظل بيئة مناخية تميل إلى الجفاف.

أما العناصر الهيدرومناخية، فقد بينت بيانات الأمطار استمرار محدوديتها وتراجعها مقارنة بالدورة الأولى، مما يعكس بداية الاتجاه النزولي طويل الأمد للهطول المطري في محافظة النجف. ويؤكد هذا الانخفاض أن المورد المطري أصبح شبه معدوم من الناحية الزراعية، وأن زراعة الرز تعتمد اعتمادًا كليًا على الري السطحي، وهو ما يعزز الحاجة إلى أنظمة ري عالية الكفاءة، ويبرز الدور الحيوي لنظام SRI في تقليل كميات المياه المستعملة مقارنة بالأساليب التقليدية.

وتشير بيانات سرعة الرياح إلى تسجيل قيم منخفضة إلى معتدلة، أقل نسبيًا من القيم المسجلة في الدورة الأولى، وهو ما يعكس انخفاضًا في حركة الكتل الهوائية خلال هذه المدة. ويسهم هذا الانخفاض في تقليل الفقد المائي الناتج عن التبخر السطحي، ويدعم تطبيق أساليب الري المتقطع التي يعتمدها نظامSRI ، دون أن يؤدي إلى آثار سلبية على تهوية المحصول.

أما التبخر–النتح المرجعي(ETo) ، فقد سجل ارتفاعًا طفيفًا مقارنة بالدورة الأولى، مما يشير إلى زيادة الطلب الجوي على الماء نتيجة ارتفاع درجات الحرارة وتراجع الأمطار. ويُعد هذا الارتفاع أحد المؤشرات المبكرة على تصاعد تأثيرات التغير المناخي خلال تسعينات القرن العشرين، حيث يزداد الضغط على الموارد المائية، الأمر الذي يجعل نظام SRI خيارًا أكثر ملاءمة بفضل قدرته على خفض الاستهلاك المائي مع الحفاظ على مستويات الإنتاج.
وفيما يتعلق بالظواهر المناخية المتطرفة، سجلت العواصف الغبارية خلال هذه الدورة تكرارًا منخفضًا نسبيًا، مع ميل طفيف للزيادة مقارنة ببعض فترات الدورة الأولى. وعلى الرغم من محدودية عددها، فإن استمرار هذه الظاهرة يعكس الظروف الجافة وقابلية التربة للتعرية، وقد تسهم في تقليل الإشعاع الواصل للنبات ورفع مستويات الإجهاد الفسيولوجي، إلا أن انخفاض تكرارها النسبي خلال هذه الدورة كان عاملًا إيجابيًا لنمو الرز مقارنة بالدورات اللاحقة.
وبناءً على ما تقدم، تشير بيانات الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠) إلى أن محافظة النجف بدأت تشهد إرهاصات واضحة للتغير المناخي، تمثلت في بقاء الإشعاع الشمسي عند مستويات مرتفعة، وارتفاع تدريجي في درجات الحرارة، وتراجع الأمطار، وزيادة التبخر–النتح المرجعي، مع استقرار نسبي في الرطوبة وانخفاض حركة الرياح. وتعكس هذه التغيرات انتقال البيئة المناخية نحو مزيد من الجفاف والحرارة مقارنة بالدورة الأولى، مما يقلل من كفاءة الزراعة التقليدية للرز، ويعزز في المقابل أهمية نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) بوصفه خيارًا مائيًا أكثر كفاءة وقدرة على التكيف مع الضغوط المناخية المتزايدة

٤-٢-١-٢- التقييم المناخي لملاءمة متطلبات نظام (SRI) خلال الدورة المناخية الثانية في محافظة النجف

تمثل الدورة المناخية الثانية الممتدة بين عامي (١٩٩١–٢٠٠٠) مرحلة انتقالية في الخصائص المناخية السائدة في محافظة النجف، إذ تُعد هذه المدة حلقة وصل بين الاستقرار النسبي الذي ميّز الدورة المناخية الأولى، وبين التحولات المناخية الأكثر وضوحًا التي برزت خلال الدورات اللاحقة. وقد أُجري التحليل الإحصائي لهذه الدورة بهدف دراسة طبيعة واتجاه وقوة العلاقة بين

المؤشرات المناخية الرئيسة ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام تكثيف زراعة الرز(SRI) ، بالاعتماد على معامل ارتباط بيرسون واختبار دلالته الإحصائية، وبعدد مشاهدات ثابت بلغ (١٢) مشاهدة ودرجة حرية(df = ١٠) ، بما يضمن الاتساق المنهجي وإمكانية المقارنة مع نتائج الدورات المناخية الأخرى.

وتُظهر النتائج الإحصائية الواردة في جدول (٤٩) أن العلاقات بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام (SRI) خلال هذه الدورة اتسمت بعدم التجانس، إذ سجّلت بعض العناصر علاقات ارتباط ذات دلالة إحصائية، في حين لم تبلغ عناصر أخرى مستوى الدلالة المعتمدة عند .(α = ٠.٠٥) ويعكس هذا التباين اختلاف درجة ارتباط المتغيرات المناخية بمؤشر الملاءمة المناخية خلال هذه المرحلة الزمنية.

فقد أظهر الإشعاع الشمسي علاقة ارتباط عكسية قوية ومعنوية إحصائيًا مع مؤشر الملاءمة المناخية، حيث بلغ معامل الارتباط(r = −٠.٧٣١) ، وتجاوزت قيمة (t) المحسوبة القيمة الجدولية، كما بلغت قيمة .(p = ٠.٠٠٧) وتشير هذه النتائج إلى وجود ارتباط إحصائي واضح بين الإشعاع الشمسي ومؤشر الملاءمة المناخية خلال هذه الدورة، مع اتجاه عكسي للعلاقة مقارنة ببعض المؤشرات الأخرى.

أما درجة الحرارة، فقد سجّلت علاقة ارتباط عكسية متوسطة مع مؤشر الملاءمة المناخية، إلا أن هذه العلاقة لم تبلغ مستوى الدلالة الإحصائية، إذ بلغت قيمة .(p = ٠.١٦٨) ويعني ذلك أن الارتباط المسجّل بين هذا المتغير ومؤشر الملاءمة المناخية خلال هذه الدورة لم يكن ذا دلالة إحصائية وفق المستوى المعتمد، رغم اتجاهه العكسي.

وفيما يتعلق بالرطوبة النسبية، فقد أظهرت علاقة ارتباط طردية متوسطة، لكنها غير معنوية إحصائيًا، حيث بلغت قيمة .(p = ٠.١١٢) ويشير ذلك إلى أن الارتباط بين الرطوبة النسبية ومؤشر الملاءمة المناخية خلال هذه الدورة لم يصل إلى مستوى الدلالة الإحصائية، ما يعكس محدودية هذا الارتباط ضمن الإطار الزمني المدروس.

في المقابل، برز عنصر الأمطار بعلاقة ارتباط طردية قوية ومعنوية إحصائيًا مع مؤشر الملاءمة المناخية، إذ بلغ معامل الارتباط (r = ٠.٧٧٣) وقيمة(p = ٠.٠٠٣) ، مع تجاوز قيمة (t)المحسوبة للقيمة الجدولية. وتُظهر هذه النتائج وجود ارتباط إحصائي واضح بين الأمطار ومؤشر الملاءمة المناخية خلال الدورة المناخية الثانية.

كما سجّلت سرعة الرياح علاقة ارتباط عكسية قوية ومعنوية إحصائيًا، حيث بلغ معامل الارتباط (r = –٠.٧٨٢) وقيمة(p = ٠.٠٠٣) ، وهو ما يدل على وجود علاقة ارتباط إحصائي معتبر بين هذا المتغير ومؤشر الملاءمة المناخية خلال هذه المدة.

جدول (٤٩) نتائج معامل الارتباط بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI)في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)

المؤشرات المناخية	معامل الارتباط(r)	t المحسوبة	Df	tالجدولية (٠.٠٥)	قيمة (p)	الدلالة الإحصائية
الإشعاع الشمسي	–0.731	3.43	10	2.228	0.007	معنوي
درجة الحرارة	–0.425	1.46	10	2.228	0.168	غير معنوي
الرطوبة النسبية	0.482	1.69	10	2.228	0.112	غير معنوي
الأمطار	0.773	3.86	10	2.228	0.003	معنوي
سرعة الرياح	–0.782	3.97	10	2.228	0.003	معنوي
التبخر–النتح المرجعي(ETo)	–0.562	2.07	10	2.228	0.057	غير معنوي
العواصف الغبارية	–0.617	2.36	10	2.228	0.033	معنوي

المصدر: بالاعتماد على البيانات المناخية السنوية لمحطة النجف خلال الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)، والمعالجة إحصائيًا باستعمال معامل ارتباط بيرسون (Pearson r) واختبار معنويته الإحصائية عبر البرنامج الإحصائي SPSS(الإصدار ١٦).

وسجّل التبخر–النتح المرجعي (ETo) علاقة ارتباط عكسية متوسطة مع مؤشر الملاءمة المناخية، إلا أن هذه العلاقة لم تبلغ مستوى الدلالة الإحصائية، إذ بلغت قيمة(p = ٠.٠٥٧) ، وهي قيمة قريبة من مستوى الدلالة المعتمد، لكنها لا تحقق شرط المعنوية الإحصائية وفق (α = ٠.٠٥).

أما العواصف الغبارية، فقد أظهرت علاقة ارتباط عكسية متوسطة ومعنوية إحصائيًا، حيث بلغ معامل الارتباط (r = –٠.٦١٧) وقيمة(p = ٠.٠٣٣) ، مما يشير إلى وجود ارتباط إحصائي واضح بين هذا المتغير ومؤشر الملاءمة المناخية خلال هذه الدورة.

وتشير النتائج الإحصائية مجتمعة، كما وردت في جدول (٤٩)، إلى أن الدورة المناخية الثانية في محافظة النجف اتسمت بتباين في اتجاه وقوة ودلالة العلاقات بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام تكثيف زراعة الرز .(SRI) فقد ظهرت بعض المتغيرات بعلاقات ذات دلالة إحصائية واضحة، في حين لم تبلغ متغيرات أخرى هذا المستوى من الدلالة، وهو ما يجعل هذه الدورة مرحلة انتقالية من حيث نمط الاستجابة الإحصائية للنظام الزراعي الذكي تجاه المتغيرات المناخية.

٤-٢-١-٣- التوزيع المكاني لمستوى الملاءمة المناخية لمتطلبات نظام (SRI) .

يبين الجدول (٥٠) والخريطة (٥) نطاقات الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)، أن مؤشر الملاءمة المناخية (MSI)قد شهد تراجعًا واضحًا مقارنة بالدورة المناخية الأولى. إذ أصبحت معظم الوحدات الإدارية تقع ضمن مدى (٠.٥٦–٠.٦٩) المصنَّف ضمن فئة الملاءمة المتوسطة، في حين انخفضت قيم المؤشر في بعض الوحدات إلى أقل من (٠.٥٦) لتقع ضمن فئة الملاءمة المنخفضة. ويشير ذلك إلى أن المحافظة فقدت خلال هذه الدورة نطاقات الملاءمة العالية والعالية جدًا التي كانت سائدة خلال المدة (١٩٨٠–١٩٩٠)، ولا سيما في النطاق المكاني الشمالي .وبناءً على ذلك، أُعيد تصنيف التوزيع المكاني لـ نطاقات الملاءمة المناخية داخل المحافظة وفق الوحدات الإدارية كما يأتي

النطاق المكاني الشمالي – (٠.٦٩–٠.٥٦ = MSI) ملاءمة متوسطة

يشمل **النطاق المكاني الشمالي** وحدات (الحيرة، الكوفة، النجف، القادسية، الرضوية، العباسية، الحرية)، وقد تميّز خلال الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠) بتسجيل مستويات مرتفعة من الإشعاع الشمسي بلغت قيمًا قريبة من (٥٢٠–٥٠٠واط/م^2)، ما يدل على استمرار توفر الطاقة الإشعاعية اللازمة لعمليات التمثيل الضوئي. كما اتسمت هذه الوحدات بدرجات حرارة قريبة من الحد الفسيولوجي الأمثل لنمو محصول الرز (٢٨°–٢٥م)، إلا أن هذه المرحلة شهدت تزايدًا ملحوظًا في تكرار تجاوز القيم العليا خلال أشهر الصيف، الأمر الذي أدى إلى ارتفاع مستويات الإجهاد الحراري وانعكس سلبًا على كفاءة الأداء الفسيولوجي للنبات.

وفيما يخص الرطوبة النسبية، فقد سُجّلت عند مستويات معتدلة أسهمت في الحد من انتشار الأمراض النباتية، غير أن تذبذبها الموسمي، بالتزامن مع ارتفاع درجات الحرارة، ساهم في زيادة معدلات التبخر–النتح المرجعي(ETo) ، ما زاد من الضغط المائي على المحصول. كما

أسهمت سرعات الرياح المعتدلة في تحسين التهوية وتقليل الرطوبة الزائدة حول النبات، إلا أنها في الوقت نفسه عززت الفواقد المائية عند اقترانها بارتفاع الحرارة والإشعاع.

وعلى الرغم من توفر ظروف مساعدة على تحسين إدارة مياه الري وتهوية الجذور عند تطبيق نظام الزراعة الذكية(SRI) ، فإن القيمة العامة لمؤشر الملاءمة المناخية (MSI) تراجعت إلى مستوى الملاءمة المتوسطة مقارنة بالدورة المناخية الأولى. ويُعزى هذا التراجع إلى تزايد تكرار العواصف الغبارية خلال تسعينيات القرن الماضي، وارتفاع درجات حرارة الصيف فوق المدى الفسيولوجي المثالي في بعض الفترات، فضلًا عن تذبذب الرطوبة النسبية وازدياد معدلات التبخر–النتح، إضافة إلى الضغوط المرتبطة بتراجع موارد الري. ورغم هذا التراجع، ظل النطاق المكاني الشمالي من أكثر مناطق محافظة النجف ملاءمة نسبيًا لتطبيق نظام SRI خلال هذه الدورة مقارنة بـ النطاق المكاني الجنوبي، وإن أصبح تفوقه المناخي أقل وضوحًا، الأمر الذي يستلزم اعتماد ممارسات SRI المتقدمة لتعزيز كفاءة استعمال المياه والتكيّف مع الضغوط المناخية المتزايدة.

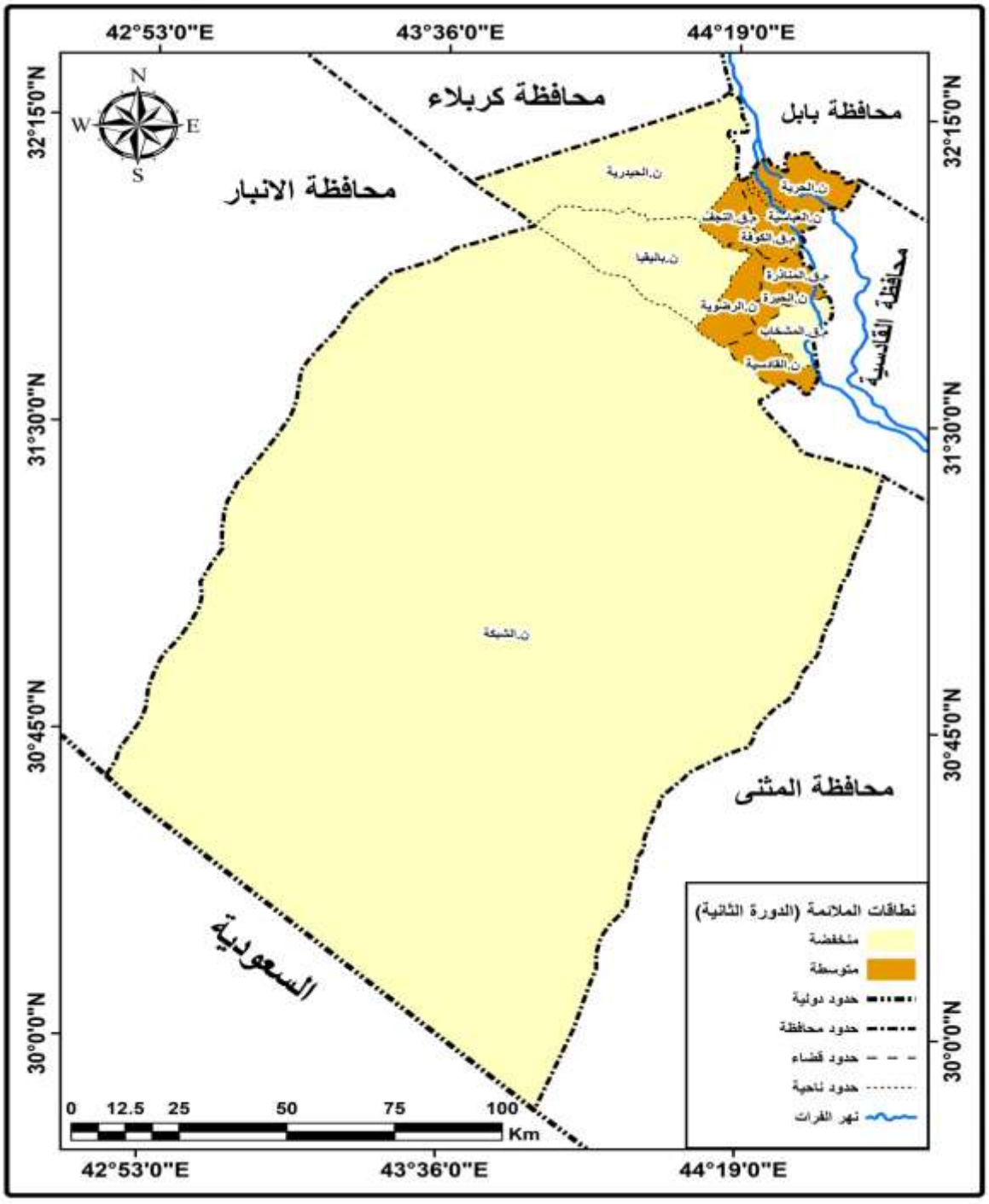
النطاق المكاني الجنوبي – (MSI = ٠.٥٠–٠.٥٥) ملاءمة منخفضة

يشمل النطاق المكاني الجنوبي وحدات (المشخاب، الحيدرية، بانيقيا)، وقد شهد خلال الدورة المناخية الثانية تراجعًا واضحًا في قيم مؤشر الملاءمة المناخية مقارنة بالدورة الأولى، إذ انخفضت القيم من (٠.٦٠–٠.٦٥) إلى (٠.٥٠–٠.٥٥)، ما يعكس تصاعد الإجهاد الحراري–المائي. ويُعزى ذلك إلى ارتفاع درجات الحرارة وشح الأمطار وتراجع الرطوبة النسبية خلال فصل الصيف، وهو ما أدى إلى زيادة معدلات التبخر–النتح المرجعي وارتفاع الضغط المائي على محصول الرز. كما تميّز النطاق المكاني بانخفاض نسبي في الإشعاع الشمسي الفعّال مقارنة بالنطاق الشمالي نتيجة زيادة الغبار الجوي والرطوبة، فضلًا عن تسجيل درجات حرارة صيفية مرتفعة مصحوبة بتبخر عالٍ، وأمطار شتوية محدودة التأثير، ما جعل الموارد المائية تعتمد بصورة شبه كاملة على الري السطحي. وأسهمت هذه العوامل مجتمعة في تصنيف النطاق المكاني ضمن فئة الملاءمة المنخفضة لتطبيق نظامSRI ، حيث أصبحت زراعة الرز ممكنة فقط بمستويات إنتاجية أدنى، وباعتماد إدارة مائية دقيقة جدًا وإجراءات تكيفية مشددة. كما أن تزايد الإجهاد المائي يحد من كفاءة امتصاص العناصر الغذائية ويؤثر في نمو النبات. وتؤكد هذه الظروف ضرورة تكثيف الجهود لتحسين إدارة المياه وتطبيق تقنيات زراعية ملائمة لرفع مستوى الإنتاج ضمن هذا النطاق.

جدول (٥٠) نطاقات الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)

رقم	الوحدة الإدارية	مدى (MSI)	ملاءمة (SRI)
١	المشخاب	٠.٥٠–٠.٥٥	منخفضة
٢	القادسية	٠.٥٦–٠.٦٩	متوسطة
٣	الرضوية	٠.٥٦–٠.٦٩	متوسطة
٤	الحيرة	٠.٥٦–٠.٦٩	متوسطة
٥	العباسية	٠.٥٦–٠.٦٩	متوسطة
٦	الكوفة	٠.٥٦–٠.٦٩	متوسطة
٧	النجف	٠.٥٦–٠.٦٩	متوسطة
٨	الحرية	٠.٥٦–٠.٦٩	متوسطة
٩	الحيدرية	٠.٥٠–٠.٥٥	منخفضة
١٠	بانيقيا	٠.٥٠–٠.٥٥	منخفضة

المصدر :بالاعتماد على البيانات المناخية الواردة في الجداول (٢٢)، (٢٨)، (٣٢)، (٣٤)، (٣٦)، (٣٨)، (٤٠)، والخاصة بالدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)..



خريطة (٥) التوزيع الجغرافي لمستوى الملاءمة المناخية بدلالة مؤشر (MSI) لنظام الزراعة (SRI) في محافظة النجف ضمن الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)

المصدر- بالاعتماد على قاعدة بيانات جدول (٥٠)

٤-٢-٢- التقييم المناخي لمدى ملاءمة متطلبات نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)

٤-٢-٢-١- خصائص المؤشرات المناخية وملاءمة (SRI)خلال الدورة المناخية الثانية في محافظة القادسية .

يوضح جدول (٥١) الخصائص الإحصائية للمؤشرات المناخية في محطة الديوانية خلال الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)، والتي تمثل مرحلة انتقالية في الخصائص المناخية للمنطقة، اتسمت بوضوح التذبذب الموسمي وازدياد مؤشرات الضغط المناخي مقارنة بالدورة الأولى. وتُعد هذه الخصائص ذات أهمية خاصة في تقييم مدى ملاءمة تطبيق نظام الزراعة الذكية للرز (SRI)، الذي يعتمد على الإدارة الدقيقة للمياه والعناصر البيئية. يبدأ التحليل بالمؤشرات الطاقية، حيث تشير بيانات الإشعاع الشمسي إلى تباين موسمي واضح بين أشهر الشتاء ذات الإشعاع المنخفض وأشهر الصيف ذات الإشعاع المرتفع، وهو ما يعكس الطبيعة شبه الجافة لمناخ القادسية وسيادة السماء الصافية خلال جزء كبير من السنة. ويقع المتوسط السنوي للإشعاع ضمن النطاق الملائم لنجاح زراعة الرز، مما يوفر طاقة كافية لدعم عمليات التمثيل الضوئي والنمو الخضري، ويعزز كفاءة استعمال المياه، وهو أحد المرتكزات الأساسية لفلسفة نظام .SRI غير أن الارتفاع الكبير في الإشعاع خلال الصيف، عند اقترانه بدرجات حرارة مرتفعة، يؤدي إلى زيادة الطلب المائي، مما يستدعي إدارة ري دقيقة. أما الخصائص الحرارية، فتُظهر بيانات درجات الحرارة مدى حراريًا واسعًا يعكس انتقالًا واضحًا بين شتاء معتدل إلى بارد نسبيًا وصيف حار، وهي سمة مميزة للمناخ القاري في الفرات الأوسط. ويقع المتوسط السنوي لدرجات الحرارة قريبًا من المدى الفسيولوجي الأمثل لنمو الرز، مما يشير إلى ملاءمة عامة للبيئة الحرارية خلال هذه الدورة، خاصة عند ضبط مواعيد الزراعة بحيث تتزامن المراحل الحساسة للنبات مع الفترات الأقل حرارة. ومع ذلك، فإن القيم المرتفعة خلال ذروة الصيف قد تفرض إجهادًا حراريًا على النبات في حال تزامنت مع نقص المياه، وهو ما يجعل تطبيق نظام SRIمشروطًا بإدارة زمنية ومائية دقيقة. كما أن هذا التباين الحراري يعزز أهمية التوقيت الزراعي في تحقيق أفضل استجابة إنتاجية للمحصول. وتُظهر هذه الخصائص المناخية أن النجاح في تطبيق نظام SRI يرتبط بقدرة المزارع على التكيف مع التغيرات الموسمية. وتؤكد هذه المعطيات ضرورة التكامل بين الإدارة المناخية والزراعية لضمان استقرار الإنتاج وتحسين كفاءته.

جدول (٥١) خصائص المؤشرات المناخية لمحطة الديوانية للدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)

المؤشرات المناخية	الحد الأدنى	الحد الأعلى	المتوسط السنوي
الإشعاع الشمسي (ملّي واط/سم²/يوم)	258	648	480.58
درجة الحرارة (°م)	11.50	36.06	24.59
(%) الرطوبة النسبية	28.45	72.86	47.77
الأمطار (ملم/شهر)	0.00	32.79	12.68
سرعة الرياح (م/ثا)	1.66	3.26	2.44
التبخر–النتح المرجعي (ملم/يوم) ETo	1.57	7.44	4.30
العواصف الغبارية (مرة/شهر)	0.00	2.00	0.59

المصدر: بالاعتماد على معالجة البيانات المناخية الواردة في الجداول (٢٣)، (٢٩)، (٣٣)، (٣٥)، (٣٧)، (٣٩)، (٤١)، والخاصة بمحطة الديوانية للمدة (١٩٨٠–٢٠٢٣)، بعد عزل بيانات الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)، وباستعمال مخرجات البرنامج الإحصائي SPSS (الإصدار ١٦) .

وفيما يتعلق بالعناصر الجوية الثانوية، تعكس الرطوبة النسبية نطاقًا واسعًا بين فصول السنة، حيث تنخفض خلال أشهر الصيف الحار مما يعزز التبخر والنتح، وترتفع نسبيًا خلال الشتاء وبدايات الربيع. ويشير المتوسط السنوي إلى رطوبة معتدلة تُعد مناسبة نسبيًا لزراعة الرز، إذ تسهم في تقليل الضغوط الفسيولوجية المرتبطة بالجفاف الشديد، دون أن تصل إلى

مستويات عالية قد تشجع انتشار الأمراض الفطرية. وعليه، فإن الرطوبة لا تشكل قيدًا حادًا على ملاءمة نظام SRI خلال هذه الدورة، لكنها تتطلب مراقبة دقيقة عند تزامن ارتفاعها مع درجات حرارة عالية.

أما العناصر الهيدرومناخية، فتؤكد بيانات الأمطار الطبيعة شبه الجافة لمناخ القادسية ، حيث تتسم الأمطار بالتذبذب وتركزها في فترات قصيرة، مع وجود أشهر جافة تمامًا. ويشير المتوسط العام إلى أن الهطول المطري غير كافٍ لتلبية الاحتياجات المائية لمحصول الرز، مما يجعل الزراعة في هذه المنطقة زراعة ريّية بالكامل تقريبًا. وفي هذا السياق، تُعد الأمطار عنصرًا تكميأتيا محدود التأثير، بينما يعتمد نجاح نظام SRI أساسًا على كفاءة إدارة الموارد المائية السطحية أو الجوفية، وتعزيز المرونة المائية من خلال التخزين وتنويع مصادر المياه.

وتشير بيانات سرعة الرياح إلى تسجيل قيم منخفضة إلى معتدلة، وهي سرعات تسهم إيجابيًا في تحسين تهوية الحقول وتقليل الرطوبة الزائدة قرب سطح النبات، مما يحد من انتشار بعض الأمراض، لكنها في الوقت نفسه قد تزيد من معدلات التبخر–النتح عند تزامنها مع إشعاع وحرارة مرتفعين. وتبقى هذه السرعات ضمن نطاق يمكن التعامل معه من خلال إجراءات تكيّفية مثل مصدات الرياح وتقنيات الري الدقيقة المعتمدة في نظامSRI. ويُظهر التبخر–النتح المرجعي (ETo)مستوىً متوسطًا إلى مرتفع من الطلب المناخي على الماء، مع ارتفاع واضح خلال أشهر الصيف نتيجة تضافر عوامل الإشعاع والحرارة والرياح. ويعكس هذا المؤشر ضغطًا مائيًا متزايدًا على المحاصيل، مما يجعل من تطبيق تقنيات—SRI كالتناوب في الري، وتحسين بنية التربة، وزيادة المادة العضوية، وتقليل الفواقد—ضرورة أساسية لضمان استدامة الإنتاج مع الحفاظ على الموارد المائية. أما العواصف الغبارية، فقد سُجلت خلال هذه الدورة بمعدلات منخفضة إلى متوسطة، مع وجود أشهر خالية منها وأخرى تشهد تكرارًا محدودًا. ورغم أن تأثيرها ليس دائمًا، إلا أنها قد تؤدي إلى تقليل الإشعاع الواصل للنبات مؤقتًا وترسيب الغبار على الأوراق، مما يرفع مستوى الإجهاد الفسيولوجي. ومع ذلك، فإن انخفاض متوسط تكرارها يجعلها عامل مخاطرة محدود يمكن التكيف معه من خلال إجراءات بيئية وإدارية مناسبة. وبناءً على التحليل المتكامل لعناصر المناخ خلال الدورة المناخية الثانية في محطة الديوانية، يمكن القول إن الإشعاع الشمسي والحرارة والتبخر–النتح المرجعي تشكل بيئة طاقية محفِّزة لنمو الرز بنظامSRI ، شريطة توفر إدارة مائية عالية الكفاءة. كما أن الرطوبة النسبية المتوسطة وسرعة الرياح المعتدلة تسهم في توازن بيئي مقبول، في حين تبقى شحة الأمطار العامل الأكثر تأثيرًا في تحديد نجاح النظام. وعليه، تُظهر هذه الدورة أن محافظة القادسية تمتعت بملاءمة مناخية جيدة إلى حد كبير لتطبيق نظام الزراعة الذكية للرز(SRI) ، مع بروز إدارة المياه بوصفها المحور الحاسم في استراتيجيات التكيف والاستدامة الزراعية. كما أن استقرار هذه العناصر المناخية نسبيًا يوفر فرصة لتعظيم الإنتاجية عند تحسين كفاءة الإدارة الزراعية. وتبرز أهمية التكامل بين التقنيات الحديثة والمعرفة المحلية لتحقيق أفضل استجابة للمحصول. كما يسهم التكيف التدريجي مع التغيرات المناخية في تقليل المخاطر المحتملة على الإنتاج. وتؤكد هذه المؤشرات أن الاستثمار في إدارة الموارد المائية يمثل الأساس في تعزيز استدامة النظام الزراعي.

٤-٢-٢-٢- التقييم المناخي لملاءمة متطلبات نظام (SRI) خلال الدورة المناخية الثانية في محافظة القادسية .

تُظهر النتائج الإحصائية الواردة في جدول (٥٢) أن الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠) في محافظة القادسية اتسمت بوجود علاقات ارتباط واضحة ومتباينة من حيث الاتجاه والقوة بين المؤشرات المناخية المختلفة ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية .(SRI) وقد جرى تحليل هذه العلاقات بالاعتماد على معامل ارتباط بيرسون واختبار دلالته الإحصائية عند مستوى معنوية(α = ٠.٠٥) ، بما يتيح توصيف طبيعة الارتباطات الإحصائية خلال هذه المرحلة الزمنية دون الخوض في تفسيرها التطبيقي.

وتبيّن نتائج الجدول أن غالبية المؤشرات المناخية سجّلت معاملات ارتباط ذات دلالة إحصائية مع مؤشر الملاءمة المناخية، مع اختلاف اتجاه هذه العلاقات بين طردي وعكسي، وتفاوت قوتها بين قوية جدًا، وقوية، ومتوسطة. ويعكس هذا التباين أن استجابة مؤشر الملاءمة المناخية خلال الدورة الثانية لم تكن موحّدة تجاه جميع العناصر المناخية، بل اتخذت أنماطًا متعددة بحسب طبيعة كل مؤشر.

فقد أظهر الإشعاع الشمسي علاقة ارتباط عكسية قوية ومعنوية إحصائيًا، حيث بلغ معامل الارتباط(r = –٠.٩٢٠) ، مع قيمة(p = ٠.٠٠٠) ، وتجاوزت قيمة (t) المحسوبة القيمة الجدولية المعتمدة. ويشير هذا إلى وجود ارتباط إحصائي واضح بين الإشعاع الشمسي ومؤشر الملاءمة المناخية خلال هذه الدورة، مع اتجاه عكسي للعلاقة.

كما سجّلت درجة الحرارة علاقة ارتباط عكسية قوية ومعنوية إحصائيًا، إذ بلغ معامل الارتباط (r = –٠.٨٦٠)عند مستوى دلالة مرتفع(p = ٠.٠٠٠) ، ما يدل على وجود ارتباط إحصائي معتبر بين هذا المتغير ومؤشر الملاءمة المناخية خلال المدة نفسها.

وفي المقابل، أظهرت الرطوبة النسبية علاقة ارتباط طردية قوية ومعنوية إحصائيًا، حيث بلغ معامل الارتباط (r = ٠.٩٠٠) وقيمة(p = ٠.٠٠٠) ، بما يشير إلى ارتباط إحصائي واضح بين الرطوبة النسبية ومؤشر الملاءمة المناخية خلال هذه الدورة.

كما سجّلت الأمطار أقوى علاقة ارتباط طردية ومعنوية إحصائيًا بين جميع المؤشرات المناخية المدروسة، إذ بلغ معامل الارتباط (r = ٠.٩٥٠) مع قيمة(p = ٠.٠٠٠) ، وهو ما يعكس قوة الارتباط الإحصائي بين هذا المتغير ومؤشر الملاءمة المناخية ضمن الإطار الزمني للدورة الثانية.

وأظهرت سرعة الرياح علاقة ارتباط عكسية متوسطة إلى قوية ومعنوية إحصائيًا، حيث بلغ معامل الارتباط (r = –٠.٦٧٠) وقيمة(p = ٠.٠١٦) ، ما يدل على وجود ارتباط إحصائي واضح، وإن كانت قوة العلاقة أقل مقارنة ببعض المؤشرات الأخرى.

كما سجّل التبخر–النتح المرجعي (ETo) علاقة ارتباط عكسية قوية ومعنوية إحصائيًا، حيث بلغ معامل الارتباط (r = –٠.٩٣٠) مع قيمة(p = ٠.٠٠٠) ، ما يشير إلى ارتباط إحصائي مرتفع بين هذا المتغير ومؤشر الملاءمة المناخية خلال هذه الدورة.

جدول (٥٢) نتائج معامل الارتباط بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)

المؤشرات المناخية	معامل الارتباط(r)	t المحسوبة	Df	tالجدولية (٠.٠٥)	قيمة (p)	الدلالة الإحصائية
الإشعاع الشمسي	–0.920	7.57	10	2.228	0.000	معنوي
درجة الحرارة	–0.860	5.63	10	2.228	0.000	معنوي
الرطوبة النسبية	0.900	6.92	10	2.228	0.000	معنوي
الأمطار	0.950	9.64	10	2.228	0.000	معنوي
سرعة الرياح	–0.670	2.86	10	2.228	0.016	معنوي
التبخر–النتح المرجعي (ETo)	–0.930	8.02	10	2.228	0.000	معنوي
العواصف الغبارية	–0.200	0.64	10	2.228	0.528	غير معنوي

المصدر: بالاعتماد على البيانات المناخية السنوية لمحافظة القادسية خلال الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)، والمعالجة إحصائيًا باستعمال معامل ارتباط بيرسون (Pearson r) واختبار معنويته الإحصائية عبر البرنامج الإحصائي SPSS(الإصدار ١٦)

في حين لم تُظهر العواصف الغبارية علاقة ارتباط ذات دلالة إحصائية مع مؤشر الملاءمة المناخية، إذ بلغ معامل الارتباط (r = –٠.٢٠٠) مع قيمة(p = ٠.٥٢٨) ، وهي قيمة أعلى من مستوى الدلالة المعتمد، مما يشير إلى أن هذا المتغير لم يسجّل ارتباطًا إحصائيًا معنويًا خلال هذه المرحلة.

وتشير النتائج الإحصائية مجتمعة، كما وردت في جدول (٥٢)، إلى أن الدورة المناخية الثانية في محافظة القادسية اتسمت بتباين واضح في اتجاه وقوة ودلالة العلاقات بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية .(SRI) فقد ظهرت معظم المؤشرات بعلاقات ذات دلالة إحصائية، في حين اقتصر عدم المعنوية على مؤشر العواصف الغبارية، وهو ما يعكس اختلاف نمط الارتباط الإحصائي بين عناصر المناخ المختلفة خلال هذه الدورة مقارنة بالدورة المناخية الأولى.

٤-٢-٢-٣- التوزيع المكاني لمستوى الملاءمة المناخية لمتطلبات نظام (SRI)

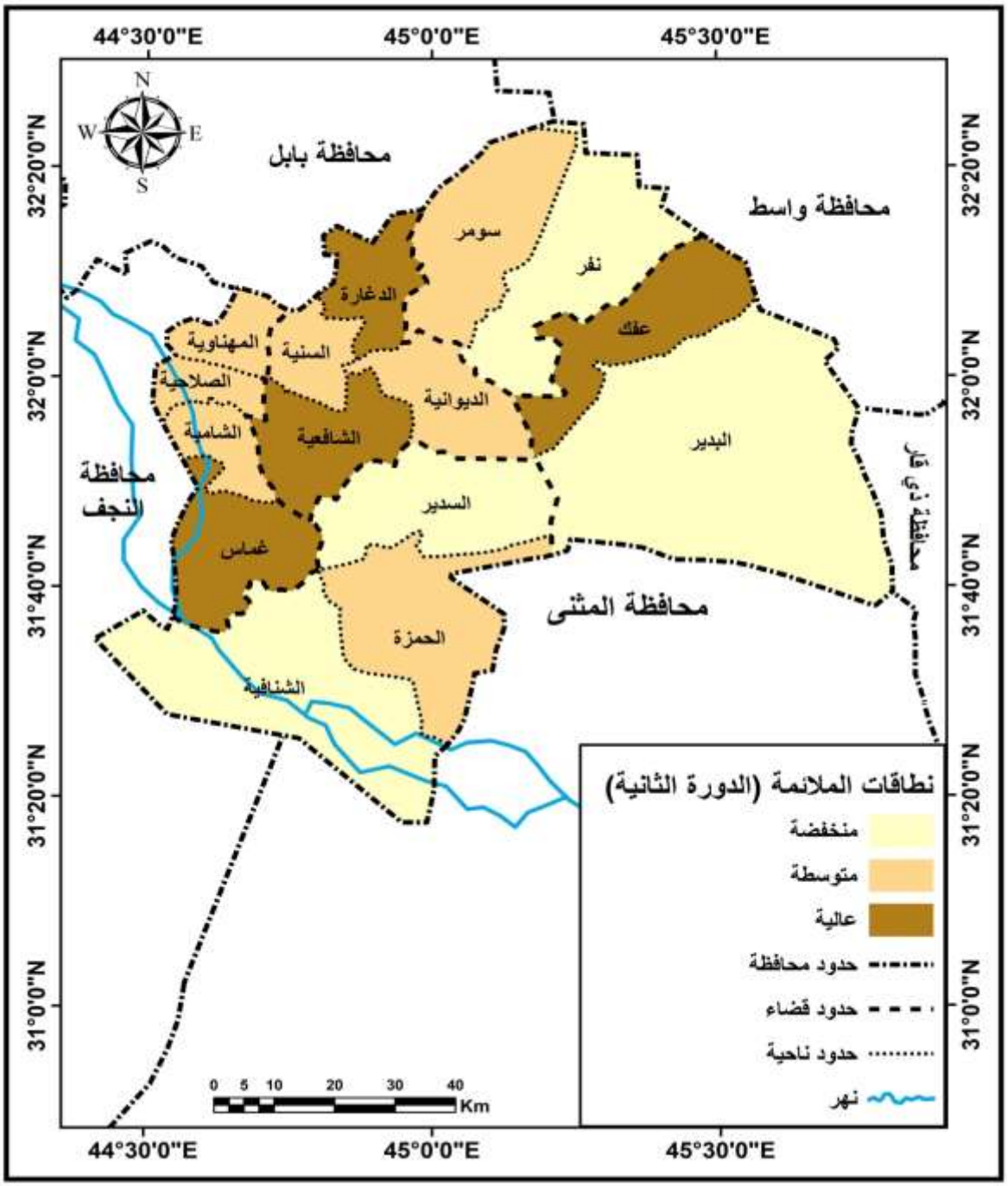
تتجلى في الجدول (٥٣) والخريطة (٦) البنية المناخية المكانية لمحافظة القادسية خلال الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)، من خلال تقسيم الوحدات الإدارية إلى ثلاثة نطاقات للملاءمة المناخية (شمالي–أوسط–جنوبي)، وتحديد درجة ملاءمة تطبيق نظام الزراعة الذكية للأرز (SRI)بالاستناد إلى مؤشر الملاءمة المناخية .(MSI) ويعكس هذا التصنيف خريطة مكانية واضحة للتغير في ملاءمة تطبيق نظام SRI داخل المحافظة، نتيجة تفاعل مجموعة من العوامل المناخية الرئيسة، ولا سيما درجات الحرارة، والإشعاع الشمسي، وسرعة الرياح، والتبخر–النتح المرجعي(ETo) ، وكميات الأمطار، كما بيّنها التحليل الإحصائي الخاص بهذه الدورة. وفيما يأتي تحليل النطاقات المناخية ترتيبًا من الأعلى إلى الأدنى ملاءمة: كما يُظهر التباين المكاني في قيم مؤشر (MSI) اختلافًا واضحًا في كفاءة البيئة المناخية بين الوحدات الإدارية. ويعكس هذا التباين تأثير العوامل المناخية المحلية المرتبطة بالموقع الجغرافي لكل نطاق. كما يتضح أن التدرج من الشمال إلى الجنوب يرتبط بزيادة الإجهاد الحراري والمائي على المحصول. وتبرز أهمية هذا التصنيف في توجيه القرارات الزراعية وفق الخصائص المناخية لكل نطاق. كما يساعد في تحديد أولويات الاستثمار الزراعي في المناطق الأكثر ملاءمة لتطبيق نظام.SRI ويُسهم هذا التحليل في فهم ديناميكية التغير المناخي وتأثيره على الإنتاج الزراعي في المحافظة.

كما يوفر قاعدة علمية لتطوير استراتيجيات تكيف تتناسب مع خصائص كل نطاق مكاني. وتظهر النتائج أن تحسين إدارة الموارد المائية يمثل عاملًا حاسمًا في رفع مستوى الملاءمة. كما أن التباين في كفاءة التهوية والإشعاع الشمسي يسهم في اختلاف الإنتاجية بين النطاقات. وتؤكد هذه المعطيات أهمية التكامل بين التحليل المناخي والتخطيط الزراعي لتحقيق أفضل النتائج الإنتاجية.

جدول (٥٣) نطاقات الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)

رقم	الوحدة الإدارية	مدى (MSI)	ملاءمة (SRI)
١	غماس	0.76 – 0.85	عالية
٢	عفك	0.76 – 0.85	عالية
٣	الدغارة	0.76 – 0.85	عالية
٤	الشافعية	0.76 – 0.85	عالية
٥	القادسية	0.66 – 0.75	متوسطة مستقرة
٦	الشامية	0.66 – 0.75	متوسطة مستقرة
٧	الصلاحية	0.66 – 0.75	متوسطة مستقرة
٨	السنية	0.66 – 0.75	متوسطة مستقرة
٩	الحمزة	0.66 – 0.75	متوسطة مستقرة
١٠	سومر	0.66 – 0.75	متوسطة مستقرة
١١	المهناوية	0.66 – 0.75	متوسطة مستقرة
١٢	نفر	0.55 – 0.65	منخفضة
١٣	الشنافية	0.55 – 0.65	منخفضة
١٤	البدير	0.55 – 0.65	منخفضة
١٥	السدير	0.55 – 0.65	منخفضة

المصدر: بالاعتماد على البيانات المناخية الواردة في الجداول (٢٣)، (٢٩)، (٣٣)، (٣٥)، (٣٧)، (٣٩)، (٤١)، والخاصة بمحطة الديوانية للدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠).



خريطة (٦) التوزيع الجغرافي لمستوى الملاءمة المناخية بدلالة مؤشر (MSI) لنظام الزراعة (SRI) في محافظة القادسية ضمن الدورة المناخية الثانية (١٩٩١–٢٠٠٠)

المصدر- بالاعتماد على قاعدة بيانات جدول (٥٣)

النطاق المكاني الشمالي – ملاءمة عالية(MSI = ٠.٧٦–٠.٨٥)

يضم النطاق المكاني الشمالي أربع وحدات إدارية هي (غماس، عفك، الدغارة، الشافعية)، وقد سجّل أعلى مستويات الملاءمة المناخية خلال الدورة المناخية الثانية، لاحتفاظه بخصائص مناخية أكثر توافقًا مع متطلبات نظام تكثيف زراعة الرز .(SRI) فقد تميّز النطاق المكاني بمستويات إشعاع شمسي متوازنة، إذ أظهرت نتائج التحليل الإحصائي أن تجاوز الإشعاع الشمسي لحدود الاعتدال يرتبط بعلاقة عكسية قوية مع مؤشر الملاءمة، في حين حافظ النطاق المكاني الشمالي على مستويات إشعاعية مناسبة دون تطرف حاد.

كما اتسم النطاق المكاني بدرجات حرارة أقل حدّة مقارنة بالمناطق الجنوبية، الأمر الذي أسهم في خفض مستويات الإجهاد الحراري وتقليل الآثار السلبية لارتفاع التبخر–النتح المرجعي .(ETo) وسُجّلت رطوبة نسبية أعلى نسبيًا، وهي من العناصر الداعمة لنجاح نظامSRI ، وقد أظهرت علاقة ارتباط طردية قوية مع مؤشر الملاءمة. كذلك تميّز النطاق المكاني بسرعات رياح أقل مقارنة بـ النطاق المكاني الجنوبي، ما حدّ من الفواقد المائية وأتاح ظروفًا أفضل لتطبيق الري المتناوب. وأسهم انتظام الأمطار نسبيًا في تعزيز قيم مؤشر الملاءمة المناخية، ولا سيما في وحدات غماس وعفك والدغارة والشافعية. وبذلك يُعد النطاق المكاني الشمالي النطاق الأكثر ملاءمة نسبيًا لتطبيق نظام SRI خلال هذه الدورة، مشكّلًا نواة مناخية داعمة للإنتاج الزراعي المستقر.

النطاق المكاني الأوسط – ملاءمة متوسطة مستقرة(MSI = ٠.٦٦–٠.٧٥)

تندرج وحدات النطاق المكاني الأوسط)القادسية، الشامية، الصلاحية، السنية، الحمزة، سومر، المهناوية) ضمن نطاق الملاءمة المتوسطة المستقرة، إذ تراوحت قيم مؤشر الملاءمة المناخية بين (٠.٦٦–٠.٧٥). ويُقصد بالملاءمة المتوسطة المستقرة أن قيم المؤشر لم تُسجّل تذبذبًا حادًا خلال هذه الدورة، على الرغم من ابتعادها النسبي عن حدود الملاءمة العالية. وتتميّز هذه المنطقة بدرجات حرارة معتدلة نسبيًا، إلا أنها لم تبلغ في المتوسط القيم الفسيولوجية المثلى لنمو الرز (نحو ٢٦°م)، إذ تراوح المتوسط الحراري بين (٢٤–٢٥°م)، مع تسجيل تذبذب موسمي في بعض الأشهر، ما أسهم في خفض مستوى الملاءمة.

كما سُجّلت رطوبة نسبية متوسطة (نحو ٤٧–٥٠%)، وهي ضمن نطاق مقبول لتطبيق نظام SRI، لكنها أقل دعمًا مقارنة بـ النطاق المكاني الشمالي .وأسهم تذبذب الأمطار وانخفاض متوسطها عن القيم المثلى، كما بيّنه اختبار(T) ، في زيادة الاعتماد شبه الكامل على الري السطحي. وعلى الرغم من بقاء قيم التبخر–النتح المرجعي (ETo) ضمن الحدود المقبولة، فإن

ارتباطه العكسي القوي مع مؤشر الملاءمة المناخية (r ≈ -٠.٩٣) يجعل أي ارتفاع مفاجئ في درجات الحرارة أو سرعات الرياح مؤثرًا مباشرة في خفض ملاءمة تطبيق نظام .SRI ويمثل النطاق المكاني الأوسط بذلك نطاقًا انتقاليًا مناخيًا، لا يتسم بملاءمة عالية ولا منخفضة، ويعتمد نجاح تطبيق نظام SRI فيه على الإدارة الدقيقة للمياه، وتحديد مواعيد زراعة مناسبة، والحد من تأثير الحرارة المرتفعة والرياح خلال بعض أشهر الموسم.

ثالثًا: النطاق المكاني الجنوبي – (منخفضة٠.٦٥–٠.٥٥ = MSI)

يشمل الإقليم الجنوبي وحدات (نفر، الشنافية، البدير، السدير)، وجميعها تقع ضمن أدنى مستويات الملاءمة المناخية خلال الدورة المناخية الثانية. ويعكس هذا النطاق المكاني مجموعة من القيود المناخية الواضحة التي تحدّ من كفاءة تطبيق نظام تكثيف زراعة الرز(SRI) ، وفي مقدمتها الارتفاع الكبير في درجات الحرارة الصيفية، والتي أظهرت علاقة عكسية قوية مع مؤشر الملاءمة، ما أدى إلى زيادة الإجهاد الحراري وانخفاض كفاءة النمو وارتفاع الاحتياجات المائية. كما تميّز النطاق المكاني بسرعات رياح أعلى مقارنة ببقية النطاقات المكانية، وهو المتغير الوحيد الذي ظهر ذا دلالة إحصائية معنوية(Sig = ٠.٠١٦) ، إذ تسهم الرياح العالية في زيادة الفواقد المائية وخفض كفاءة الري. وارتفعت قيم التبخر–النتح المرجعي (ETo) خلال فصل الصيف إلى مستويات لا تتلاءم مع فلسفة نظام SRI القائمة على ترشيد استعمال المياه. وعلى الرغم من أن الأمطار ترتبط بعلاقة طردية قوية مع مؤشر الملاءمة المناخية، فإن متوسطها في هذا النطاق المكاني كان منخفضًا وغير منتظم، ما قلّص أثرها الإيجابي. كما أسهم تزايد تكرار العواصف الغبارية في خفض الإشعاع الشمسي الفعّال وزيادة الإجهاد الميكانيكي للنبات. وبذلك يمثل النطاق المكاني الجنوبي نطاق تحديات مناخية واضحة، وتتطلب زراعة الرز فيه ضمن نظام SRI تطبيق حزمة من الإجراءات التكيفية المشددة والإدارة المائية عالية الدقة. كما يؤدي تذبذب الرطوبة النسبية إلى عدم استقرار البيئة المناخية المحيطة بالنبات، مما ينعكس سلبًا على نموه. وتسهم هذه الظروف في تقليل كفاءة امتصاص العناصر الغذائية، نتيجة ضعف النشاط الحيوي في التربة. كما أن ارتفاع درجات الحرارة مع الجفاف يزيد من احتمالية تدهور البنية الفيزيائية للتربة. وتؤكد هذه المعطيات ضرورة تكامل الإدارة الزراعية والمائية للتخفيف من حدة القيود المناخية في هذا النطاق.

٤-٣- التقييم المناخي لمستوى الملاءمة لمتطلبات نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في الدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)

٤-٣-١- التقييم المناخي لمستوى ملاءمة متطلبات نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)

٤-٣-١-١- خصائص المؤشرات المناخية وملاءمة (SRI) خلال الدورة المناخية الثالثة في محافظة النجف .

تمثل الدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠) مرحلة متقدمة من التحولات المناخية التي تسارعت في محافظة النجف منذ نهاية التسعينات، إذ تُظهر بيانات هذه الدورة اتجاهات أوضح نحو ارتفاع درجات الحرارة، وتراجع الرطوبة، وانخفاض الأمطار، مع استمرار ارتفاع الطلب المائي للغطاء النباتي، بما يعكس اشتداد آثار التغير المناخي في البيئات الجافة وشبه الجافة في العراق. ويوضح جدول (٥٤) خلاصة إحصائية للمؤشرات المناخية الرئيسة التي تتحكم في البيئة الزراعية خلال هذه المدة، الأمر الذي يجعل تحليلها أساسًا لتقييم مدى تراجع ملاءمة الزراعة التقليدية للرز وارتفاع الحاجة إلى نظم أكثر كفاءة مثل نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) المعتمد على إدارة دقيقة للمياه والظروف البيئية.

يبدأ التحليل بالمؤشرات الطاقية، حيث تشير بيانات الإشعاع الشمسي إلى استمرار البيئة عالية السطوع في النجف مع تباين موسمي واضح بين أشهر الشتاء والصيف. ورغم بقاء الإشعاع ضمن المستويات الداعمة للنمو الضوئي لمحصول الرز، فإن الميل النسبي نحو انخفاض المتوسط مقارنة بالدورتين السابقتين قد يرتبط بازدياد تأثير العواصف الغبارية وتدهور صفاء الغلاف الجوي خلال العقد الأول من القرن الحادي والعشرين. ومع ذلك، يبقى الإشعاع عاملًا إيجابيًا في دعم التمثيل الضوئي والنمو الخضري، ويستفيد منه نظام SRI في تعزيز كفاءة النمو المبكر ورفع القدرة الإنتاجية، شرط اقتران ذلك بإدارة مائية تقلل أثر الإجهاد الحراري خلال ذروة الصيف.

أما درجات الحرارة، فتُظهر بيانات الدورة الثالثة ارتفاعًا أوضح في المتوسط السنوي مقارنة بالدورتين الأولى والثانية، وهو مؤشر مباشر على اشتداد الاحترار المناخي في النجف. وعلى الرغم من أن المتوسط العام ما يزال ضمن المدى الفسيولوجي الملائم لنمو الرز، فإن اقتراب القيم العليا في الصيف من حدود الإجهاد الحراري يشير إلى تصاعد خطر تراجع كفاءة التمثيل الضوئي واضطراب بعض المراحل الحساسة للنبات عند تزامن الحرارة المرتفعة مع شحة الماء. وتبرز هنا أهمية نظام SRI بوصفه أكثر قدرة على التكيف نسبيًا عبر تحسين تهوية التربة وتوسيع انتشار الجذور، بما يدعم تحمل النبات للضغوط الحرارية ويعزز كفاءة استعمال المياه.

وفيما يخص الرطوبة النسبية، تُظهر الدورة الثالثة انخفاضًا ملحوظًا في المتوسط مقارنة بالدورتين السابقتين، بما يؤكد انتقال المناخ نحو مزيد من الجفاف. ويؤدي انخفاض الرطوبة إلى زيادة النتح وفقدان الماء من النبات، ورفع حاجة المحصول إلى إدارة دقيقة للري، لا سيما خلال فترات الحرارة المرتفعة. ورغم أن الرطوبة المنخفضة قد تقلل من احتمالات انتشار بعض الأمراض الفطرية، فإن أثرها الأبرز يتمثل في تعزيز الضغط المائي، وهو ما يجعل تطبيق تقنيات SRI (كالري المتناوب وضبط رطوبة التربة) أكثر ضرورة للحفاظ على استقرار النمو وتقليل الهدر المائي.

جدول (٥٤) خصائص المؤشرات المناخية لمحطة النجف للدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)

المؤشرات المناخية	الحد الأدنى	الحد الأعلى	المتوسط السنوي
الإشعاع الشمسي (ملّي واط/سم²/يوم)	257	626	451.83
درجة الحرارة (°م)	10.95	37.79	25.30
(%) الرطوبة النسبية	23.09	63.55	41.44
الأمطار (ملم/شهر)	0.00	13.69	6.95
سرعة الرياح (م/ثا)	0.95	2.73	1.77
التبخر–النتح المرجعي ETo (ملم/يوم)	1.57	7.53	4.38
العواصف الغبارية (مرة/شهر)	0.00	2.20	0.68

المصدر: بالاعتماد على معالجة البيانات المناخية الواردة في الجداول (٢٢)، (٢٨)، (٣٢)، (٣٤)، (٣٦)، (٣٨)، (٤٠)، والخاصة بمحطة النجف للمدة (١٩٨٠–٢٠٢٣)، بعد عزل بيانات **الدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)**، وباستعمال مخرجات البرنامج الإحصائي **SPSS(الإصدار ١٦)**

أما الأمطار، فتؤكد بيانات هذه الدورة تراجع الهطول إلى مستويات شحيحة جدًا مقارنة بالدورات السابقة، بما يعكس اتساع ظاهرة الجفاف وتقلص المورد المطري إلى دور ثانوي شبه معدوم من الناحية الزراعية. وهذا يعني أن زراعة الرز في النجف أصبحت تعتمد اعتمادًا كليًا على الري السطحي (وأحيانًا الجوفي)، الأمر الذي يرفع من حساسية النظام الزراعي لأي اختلال في الإمدادات المائية. وفي هذا السياق، يتعاظم الدور الوظيفي لنظام SRI بوصفه خيارًا لترشيد مياه الري وتقليل الفاقد مقارنة بالأساليب التقليدية التي تعتمد الإغمار المستمر.

وتشير بيانات سرعة الرياح إلى قيم منخفضة إلى معتدلة، وهي ظروف تقلل نسبيًا من الأثر المباشر للرياح في زيادة التبخر مقارنة بالبيئات الأعلى رياحًا، لكنها لا تلغي تأثيرها عند اقترانها بالإشعاع والحرارة خلال أشهر الصيف. وتوفر هذه الخصائص فرصة أفضل لرفع كفاءة الري المتقطع الذي يعتمد عليه نظامSRI ، لأن انخفاض سرعة الرياح يحد من فقد الماء السطحي ويُحسن التحكم برطوبة منطقة الجذور.

ويُظهر التبخر–النتح المرجعي (ETo) خلال الدورة الثالثة مستوىً مرتفعًا نسبيًا من الطلب المناخي على الماء، مع ارتفاع واضح خلال أشهر الصيف، وهو ما يُعد مؤشرًا مركزيًا على تصاعد ضغط الجفاف وزيادة الاحتياجات المائية للمحاصيل. وتمثل هذه السمة تحديًا مباشرًا للزراعة التقليدية التي تعتمد على كميات كبيرة من المياه، في حين تزداد جدوى نظام SRI لكونه يركز على رفع كفاءة استعمال الماء، وتقليل الهدر، وتحسين خصائص التربة بما يعزز استفادة النبات من الماء المتاح.

وفيما يخص العواصف الغبارية، تُظهر بيانات هذه الدورة زيادة مقارنة بالدورتين الأولى والثانية، وهو ما يرتبط بتدهور الغطاء النباتي واشتداد الجفاف وتزايد قابلية التربة للتعرية. وتؤثر هذه العواصف في كفاءة الإنتاج الزراعي عبر تقليل الإشعاع الفعلي الواصل للنبات، وترسيب الغبار على الأوراق، وما يرافق ذلك من خفض التمثيل الضوئي ورفع الإجهاد الفسيولوجي. ورغم أن نظام SRI قد يمنح النبات قدرة أعلى على المقاومة النسبيّة بفعل قوة الجذور وتحسن التهوية، إلا أن تصاعد النشاط الغباري يبقى عامل ضغط بيئي يستلزم إجراءات تكيّفية مساندة (مثل الأحزمة الخضراء ومصدات الرياح والإدارة الزمنية للعمليات الحقلية).

وبناءً على ما تقدم، تكشف بيانات الدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠) عن انتقال واضح لمناخ النجف نحو ظروف أكثر حرارة وجفافًا، مع تراجع الرطوبة والأمطار وارتفاع الطلب المائي وازدياد العواصف الغبارية. وتؤدي هذه التحولات إلى تقليل ملاءمة الزراعة التقليدية للرز، في حين ترفع من أهمية نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) بوصفه خيارًا أكثر كفاءة مائيًا وأكثر قدرة على التكيف مع تصاعد الضغوط المناخية، شريطة إدارة دقيقة للمياه ولا سيما خلال أشهر الصيف، واعتماد إجراءات تكيّفية تقلل أثر الغبار والإجهاد الحراري.

٤-٣-١-٢- التقيم المناخي لملاءمة متطلبات نظام (SRI) خلال الدورة المناخية الثالثة في محافظة النجف

تُظهر النتائج الإحصائية الواردة في جدول (٥٥) طبيعة العلاقات الإحصائية بين المؤشرات المناخية المختلفة ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الثالثة الممتدة بين عامي (٢٠٠١–٢٠١٠). وقد أُجري التحليل الإحصائي باستعمال معامل ارتباط بيرسون واختبار دلالته الإحصائية عند مستوى معنوية(٠.٠٥ = α) ، وبدرجة حرية(١٠ = df) ، بهدف توصيف اتجاه وقوة العلاقات الإحصائية خلال هذه المرحلة الزمنية، دون الخوض في تفسير سببي أو تطبيقي للنتائج.

وتبيّن نتائج الجدول أن غالبية المؤشرات المناخية خلال هذه الدورة سجّلت معاملات ارتباط ذات دلالة إحصائية مع مؤشر الملاءمة المناخية، مع تباين واضح في اتجاه هذه العلاقات بين الطردي والعكسي، وتفاوت في قوتها بين قوية جدًا، وقوية، ومتوسطة. ويعكس هذا التباين اختلاف نمط الارتباط الإحصائي بين عناصر المناخ المختلفة ومؤشر الملاءمة المناخية خلال الدورة المناخية الثالثة مقارنة بالدورات السابقة.

فقد أظهر الإشعاع الشمسي علاقة ارتباط عكسية قوية جدًا ومعنوية إحصائيًا مع مؤشر الملاءمة المناخية، حيث بلغ معامل الارتباط(٠.٩٢٠– = r) ، وتجاوزت قيمة (t) المحسوبة القيمة الجدولية المعتمدة، مع قيمة احتمال .(٠.٠٠٠ = p) وتشير هذه القيم إلى وجود ارتباط إحصائي واضح بين الإشعاع الشمسي ومؤشر الملاءمة المناخية خلال هذه الدورة، مع اتجاه عكسي للعلاقة.

كما سجّلت درجة الحرارة علاقة ارتباط عكسية قوية ومعنوية إحصائيًا، إذ بلغ معامل الارتباط (٠.٨٦٠– = r)مع قيمة احتمال(٠.٠٠٠ = p) ، وتجاوزت قيمة (t) المحسوبة القيمة الجدولية، ما يدل على وجود ارتباط إحصائي معتبر بين هذا المتغير ومؤشر الملاءمة المناخية ضمن الإطار الزمني المدروس.

وفي المقابل، أظهرت الرطوبة النسبية علاقة ارتباط طردية قوية جدًا ومعنوية إحصائيًا، حيث بلغ معامل الارتباط (٠.٩٠٠ = r) وقيمة(٠.٠٠٠ = p) ، مع تجاوز قيمة (t) المحسوبة للقيمة الجدولية. وتشير هذه النتائج إلى وجود ارتباط إحصائي واضح بين الرطوبة النسبية ومؤشر الملاءمة المناخية خلال الدورة المناخية الثالثة.

كما أظهرت الأمطار أعلى قيمة لمعامل الارتباط الطردي بين جميع المؤشرات المناخية المدروسة، إذ بلغ معامل الارتباط (٠.٩٥٠ = r) مع قيمة احتمال(٠.٠٠٠ = p) ، وتجاوزت

قيمة (t) المحسوبة القيمة الجدولية بفارق كبير، ما يعكس قوة الارتباط الإحصائي بين هذا المتغير ومؤشر الملاءمة المناخية خلال هذه الدورة.

وسجّلت سرعة الرياح علاقة ارتباط عكسية متوسطة إلى قوية ومعنوية إحصائيًا، حيث بلغ معامل الارتباط (r = –٠.٦٧٠) مع قيمة احتمال(p = ٠.٠١٦) ، وتجاوزت قيمة (t) المحسوبة القيمة الجدولية، ما يدل على وجود ارتباط إحصائي واضح، وإن كانت قوة العلاقة أقل مقارنة ببقية المؤشرات ذات الارتباط العالي.

جدول (٥٥) نتائج معامل الارتباط بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)

المؤشرات المناخية	معامل الارتباط(r)	t المحسوبة	df	tالجدولية (٠.٠٥)	قيمة (p)	الدلالة الإحصائية
الإشعاع الشمسي	-0.920	7.57	10	2.228	0.000	معنوي
درجة الحرارة	-0.860	5.63	10	2.228	0.000	معنوي
الرطوبة النسبية	0.900	6.92	10	2.228	0.000	معنوي
الأمطار	0.950	9.64	10	2.228	0.000	معنوي
سرعة الرياح	-0.670	2.86	10	2.228	0.016	معنوي
التبخر–النتح المرجعي(ETo)	-0.930	8.02	10	2.228	0.000	معنوي
العواصف الغبارية	-0.200	0.64	10	2.228	0.528	غير معنوي

المصدر: بالاعتماد على البيانات المناخية السنوية لمحطة النجف خلال الدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)، والمعالجة إحصائيًا باستعمال معامل ارتباط بيرسون (Pearson r) واختبار معنويته عبر البرنامج الإحصائي SPSS(الإصدار ١٦).

كما أظهر التبخر–النتح المرجعي (ETo) علاقة ارتباط عكسية قوية جدًا ومعنوية إحصائيًا، إذ بلغ معامل الارتباط (r = –٠.٩٣٠) مع قيمة احتمال(p = ٠.٠٠٠) ، وتجاوزت قيمة (t) المحسوبة القيمة الجدولية، وهو ما يشير إلى وجود ارتباط إحصائي مرتفع بين هذا المتغير ومؤشر الملاءمة المناخية خلال هذه الدورة.

في المقابل، لم تُظهر العواصف الغبارية علاقة ارتباط ذات دلالة إحصائية مع مؤشر الملاءمة المناخية، حيث بلغ معامل الارتباط(r = –٠.٢٠٠) ، وكانت قيمة(p = ٠.٥٢٨) ، وهي أعلى من مستوى الدلالة المعتمد، كما جاءت قيمة (t) المحسوبة أقل من القيمة الجدولية، ما يدل على عدم معنوية هذا الارتباط خلال الدورة المناخية الثالثة.

وتشير النتائج الإحصائية مجتمعة، كما وردت في جدول (٥٥)، إلى أن الدورة المناخية الثالثة في محافظة النجف اتسمت بتباين واضح في اتجاه وقوة ودلالة العلاقات بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام تكثيف زراعة الرز .(SRI) فقد سجّلت معظم المؤشرات المناخية علاقات ارتباط ذات دلالة إحصائية، في حين اقتصر عدم المعنوية على مؤشر العواصف الغبارية، وهو ما يوضح نمط الاستجابة الإحصائية لمؤشر الملاءمة المناخية خلال هذه المرحلة مقارنة بالدورات المناخية السابقة.

٤-٣-١-٣- التوزيع المكاني لمستوى الملاءمة المناخية لمتطلبات نظام(SRI)

تُظهر بيانات الدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠ (**استمرار التراجع في مستوى الملاءمة المناخية** لتطبيق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) مقارنة بالدورتين الأولى والثانية، ويعكس النمط العام ازدياد تأثيرات الإجهاد الحراري، وارتفاع معدلات التبخر–النتح المرجعي، وتزايد تواتر العواصف الغبارية، إلى جانب تذبذب الإشعاع الشمسي الفعّال، وهي جميعها مظاهر ارتبطت بتسارع التغيرات المناخية في العراق بعد عام ٢٠٠٠. وبناءً على ذلك، أُعيد تصنيف أقاليم الملاءمة المناخية داخل محافظة النجف خلال هذه الدورة كما يأتي:

النطاق المكاني الشمالي – ملاءمة متوسطة(MSI = ٠.٥٥–٠.٦٩)

يشمل النطاق المكاني الشمالي وحدات (الحيرة، الكوفة، النجف)، وقد احتفظ خلال الدورة المناخية الثالثة بمستوى ملاءمة متوسطة مقارنة ببقية النطاقات المكانية في المحافظة. وتتميّز هذه الوحدات باستقرار نسبي في الإشعاع الشمسي، مع رطوبة نسبية معتدلة ودرجات حرارة أقل حدّة مقارنة بـ النطاق المكاني الجنوبي، إلا أن هذه الخصائص لم تعد كافية لرفع قيم مؤشر الملاءمة المناخية إلى مستويات الملاءمة العالية التي سادت في الدورات السابقة. ويُعزى ذلك إلى تزايد الإجهاد الحراري وارتفاع معدلات التبخر–النتح المرجعي، فضلًا عن التأثير المتزايد للعواصف الغبارية، ما أسهم في تراجع نسبي في كفاءة تطبيق نظامSRI ، مع بقاء وحدتي الحيرة والكوفة في وضع أفضل نسبيًا داخل هذا النطاق المكاني.

النطاق المكاني الأوسط – ملاءمة متوسطة(MSI = ٠.٥٥–٠.٦٩)

يشمل النطاق المكاني الأوسط وحدات (القادسية، الرضوية، العباسية، الحرية)، وتقع جميعها ضمن نطاق الملاءمة المتوسطة خلال هذه الدورة. ويعكس هذا النطاق المكاني طابعًا انتقاليًا مناخيًا بين ظروف أكثر إجهادًا جنوبًا وظروف أقل حدّة شمالًا، مع توازن نسبي في عناصر الحرارة والرطوبة والإشعاع. غير أن مقارنة قيم مؤشر MSI لهذه الوحدات مع نتائج الدورة المناخية الثانية تشير إلى تراجع واضح في مستوى الملاءمة، ما يعني أن تطبيق نظام SRI أصبح ممكنًا بإنتاجية متوسطة تعتمد بدرجة كبيرة على الإدارة الدقيقة للمياه، وضبط مواعيد الزراعة، وتحسين التهوية والتسميد. كما أن هذا التراجع يستدعي تعزيز إجراءات التكيف الزراعي لضمان استقرار الإنتاج في ظل التغيرات المناخية. وتبرز أهمية المتابعة المستمرة للظروف المناخية لتقليل تأثير التذبذب في عناصر الحرارة والرطوبة على كفاءة المحصول.

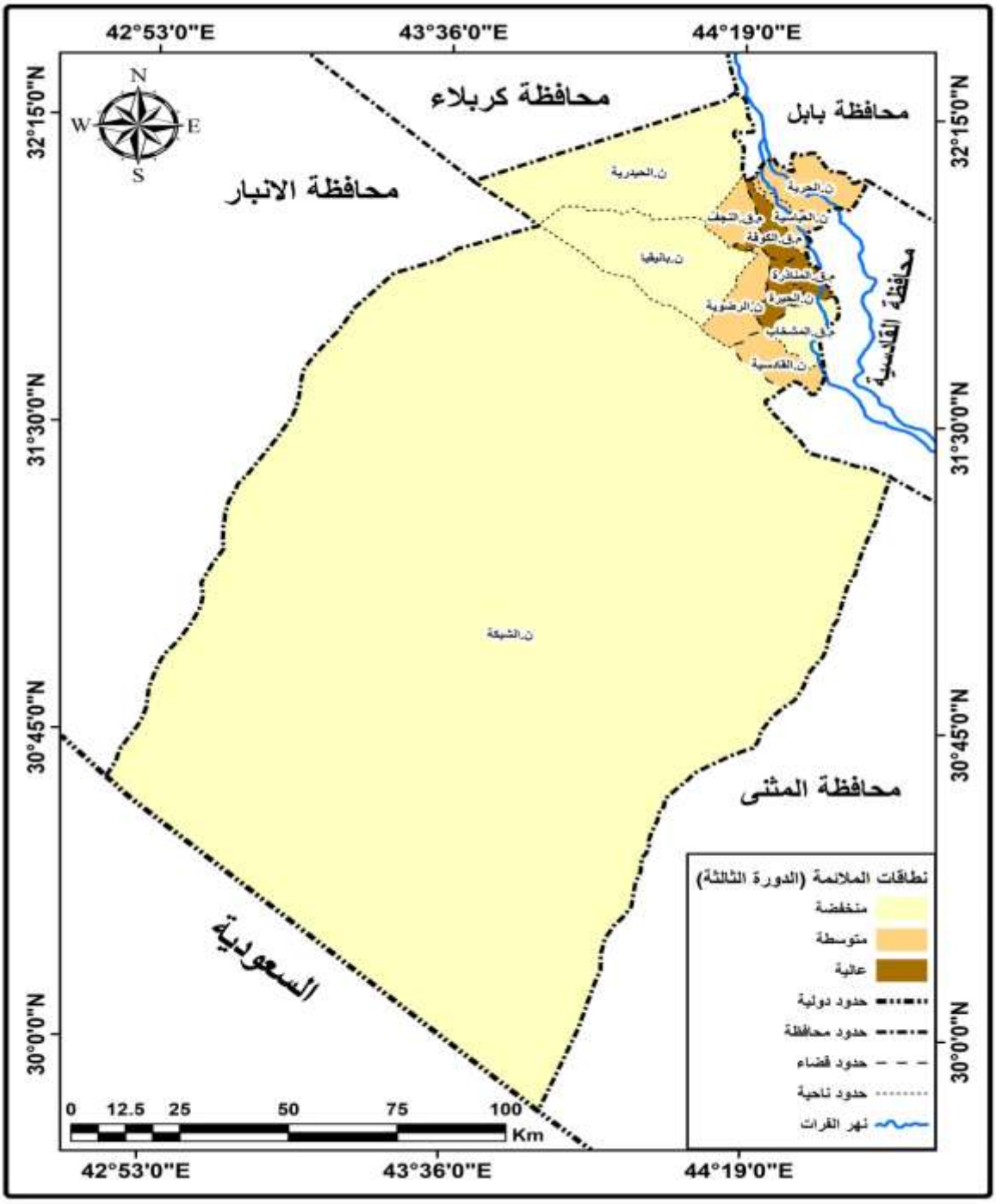
النطاق المكاني الجنوبي – ملاءمة منخفضة(MSI < ٠.٥٥)

يشمل النطاق المكاني الجنوبي وحدات (المشخاب، الحيدرية، بانيقيا)، وقد سجّل أدنى مستويات الملاءمة المناخية خلال الدورة المناخية الثالثة. ويُعزى ذلك إلى الارتفاع الملحوظ في درجات الحرارة الصيفية، وشح الأمطار، وازدياد معدلات التبخر–النتح المرجعي، فضلًا عن ضعف قدرة التربة على الاحتفاظ بالرطوبة. وقد جعلت هذه العوامل مجتمعة الظروف المناخية في هذا النطاق المكاني حدّية وغير داعمة للنمو الأمثل لمحصول الرز، مما حدّ من كفاءة تطبيق نظام SRI وجعل نجاحه مرهونًا بإجراءات تكيفية عالية الكلفة والدقة. كما يؤدي ارتفاع الإجهاد الحراري إلى تسريع مراحل النمو الخضري على حساب مرحلة الامتلاء، مما ينعكس سلبًا على الإنتاجية. وتسهم محدودية الرطوبة الأرضية في زيادة الحاجة إلى تكرار الري، الأمر الذي يرفع من كلفة الإنتاج ويضغط على الموارد المائية. كذلك تزداد احتمالية تدهور خصائص التربة نتيجة التبخر العالي وتراكم الأملاح في الطبقات السطحية. ويُضعف ذلك من كفاءة امتصاص العناصر الغذائية الضرورية لنمو النبات وتطوره. لذا يتطلب هذا النطاق تبني استراتيجيات تكيف متقدمة تشمل تحسين إدارة المياه واختيار أصناف أكثر تحمّلًا للظروف البيئية القاسية.

جدول (٥٦) نطاقات الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)

رقم	الوحدة الإدارية	مدى (MSI)	ملاءمة (SRI)
١	المشخاب	0.50 – 0.55	منخفضة
٢	القادسية	0.55 – 0.69	متوسطة
٣	الرضوية	0.55 – 0.69	متوسطة
٤	الحيرة	0.55 – 0.69	متوسطة
٥	العباسية	0.55 – 0.69	متوسطة
٦	الكوفة	0.55 – 0.69	متوسطة
٧	النجف	0.55 – 0.69	متوسطة
٨	الحرية	0.55 – 0.69	متوسطة
٩	الحيدرية	< 0.55	منخفضة
١٠	بانيقيا	< 0.55	منخفضة

المصدر :بالاعتماد على البيانات المناخية الواردة في الجداول (٢٢)، (٢٨)، (٣٢)، (٣٤)، (٣٦)، (٣٨)، (٤٠)، والخاصة بالدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)..



خريطة (٧) التوزيع الجغرافي لمستوى الملاءمة المناخية بدلالة مؤشر (MSI) لنظام الزراعة (SRI) في محافظة النجف ضمن الدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)

المصدر- بالاعتماد على قاعدة بيانات جدول (٥٦)

٤-٣-٢- التقييم المناخي لملاءمة متطلبات (SRI) في محافظة القادسية

٤-٣-٢-١- خصائص المؤشرات المناخية وملاءمة (SRI)خلال الدورة المناخية الثالثة في محافظة القادسية .

يوضح جدول (٥٧) الخصائص الإحصائية للمؤشرات المناخية في محطة الديوانية خلال الدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)، اعتمادًا على ثلاثة مقاييس إحصائية رئيسة هي الحد الأدنى، والحد الأعلى، والمتوسط السنوي، والتي تعكس السلوك المناخي العام ودرجة التذبذب الموسمي للعناصر المؤثرة في البيئة الزراعية. وتمثل هذه الدورة مرحلة متقدمة من التحولات المناخية في الفرات الاوسط، اتسمت بتزايد مؤشرات الجفاف وارتفاع الطلب المائي، الأمر الذي يجعل تحليلها أساسًا لتقييم ملاءمة الزراعة الذكية للرز وفق نظام تكثيف زراعة الرز.(SRI)

يبدأ التحليل بالمؤشرات الطاقية، حيث تشير بيانات الإشعاع الشمسي إلى تباين موسمي واضح بين الإشعاع الشتوي المنخفض والإشعاع الصيفي المرتفع، وهو ما يعكس الطبيعة شبه الجافة لمناخ القادسية . ويقع المتوسط السنوي للإشعاع ضمن النطاق الملائم لنمو الرز، بما يوفر طاقة ضوئية كافية لدعم عمليات التمثيل الضوئي والنمو الخضري. كما أن غياب التطرف الإشعاعي الشديد، مقارنة ببعض المحطات الجنوبية، يسهم في الحفاظ على مستوى مناسب من "الطاقة المناخية" للنبات. ومع ذلك، فإن الارتفاع الملحوظ للإشعاع خلال الصيف قد يؤدي إلى زيادة الطلب المائي وتسارع فقد الرطوبة من التربة، الأمر الذي يستدعي إدارة ري دقيقة عند تطبيق نظام.SRI

أما الخصائص الحرارية، فتُظهر بيانات الدورة الثالثة مدى حراريًا واسعًا يعكس مناخًا شبه جاف حار صيفًا ومعتدلًا إلى بارد شتاءً. ويقع المتوسط السنوي لدرجات الحرارة ضمن المدى الفسيولوجي الأمثل لنمو الرز، مما يدل على ملاءمة عامة للبيئة الحرارية خلال هذه الدورة. غير أن الاقتراب من القيم العليا خلال أشهر الصيف يشير إلى احتمالية حدوث إجهاد حراري قد يؤثر في عقد الحبوب ويرفع الاحتياجات المائية للنبات. وعلى الرغم من ذلك، تبقى المحطة حراريًا ضمن نطاق مناسب لتطبيق الزراعة الذكية(SRI) ، شريطة ضبط توقيت الزراعة لتجنب ذروة الحرارة الصيفية.

وفيما يخص الرطوبة النسبية، تعكس القيم المسجلة نطاقًا يتراوح بين مستويات منخفضة في بعض أشهر الصيف ومستويات أعلى نسبيًا خلال الشتاء والربيع، مع متوسط سنوي يميل إلى الانخفاض مقارنة بالقيم المثالية لنمو مريح للأرز. ويؤدي انخفاض الرطوبة إلى زيادة معدلات التبخر والنتح ورفع حساسية النبات للإجهاد المائي، مما يعزز الحاجة إلى إدارة ري دقيقة للحفاظ

على رطوبة التربة. وفي المقابل، فإن وجود أشهر ذات رطوبة أعلى نسبيًا يسهم في تحقيق توازن جزئي ويحد من الوصول إلى مستويات حرجة من انتشار الأمراض الفطرية، وهو ما يتوافق نسبيًا مع متطلبات نظام.SRI

أما الأمطار، فتؤكد بيانات هذه الدورة استمرار شح الهطول المطري وغيابه خلال أشهر طويلة، مع تركزه في كميات محدودة خلال الشتاء والربيع. وتعكس هذه الخصائص مناخًا جافًا يعتمد فيه الإنتاج الزراعي اعتمادًا شبه كامل على الري الاصطناعي، مما يجعل إدارة المياه العامل الحاسم في نجاح الزراعة. وفي هذا السياق، تمثل الأمطار عنصرًا تكميلياتيا محدود التأثير، بينما يرتبط نجاح نظام SRI بكفاءة منظومة الري وقدرتها على تعويض العجز المطري.

جدول (٥٧) خصائص المؤشرات المناخية لمحطة الديوانية للدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)

المؤشرات المناخية	الحد الأدنى	الحد الأعلى	المتوسط السنوي
الإشعاع الشمسي (ملّي واط/سم²/يوم)	264	633	470.17
درجة الحرارة (°م)	11.65	36.53	25.05
(%) الرطوبة النسبية	25.48	64.51	42.10
الأمطار (ملم/شهر)	0.00	18.40	8.51
سرعة الرياح (م/ثا)	1.28	3.20	2.03
التبخر–النتح المرجعي ETo (ملم/يوم)	1.50	7.31	4.21
العواصف الغبارية (مرة/شهر)	0.09	2.73	0.99

المصدر: بالاعتماد على معالجة البيانات المناخية الواردة في الجداول (٢٣)، (٢٩)، (٣٣)، (٣٥)، (٣٧)، (٣٩)، (٤١)، والخاصة بمحطة الديوانية للمدة (١٩٨٠–٢٠٢٣)، بعد عزل بيانات الدورة **المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)**، وباستعمال مخرجات البرنامج الإحصائي SPSS (الإصدار ١٦) .

وتشير بيانات سرعة الرياح إلى تسجيل قيم معتدلة عمومًا، قريبة من النطاق الملائم لتطبيق نظام SRI، إذ تسهم في تحسين تهوية الحقول وتقليل الرطوبة الزائدة قرب سطح النبات، مع تقليل الفاقد المائي الناتج عن الرياح مقارنة بالمناطق الأعلى رياحًا. وعلى الرغم من وجود فترات تصل فيها سرعة الرياح إلى مستويات أعلى نسبيًا، فإنها لا تمثل قيدًا مناخيًا رئيسًا على تطبيق النظام.

ويُعد التبخر–النتح المرجعي (ETo) المؤشر الأكثر دلالة على الضغط المناخي الواقع على الموارد المائية خلال هذه الدورة، إذ يعكس تضافر تأثيرات الإشعاع والحرارة والرياح والرطوبة. وتشير القيم المرتفعة خلال أشهر الصيف إلى طلب مائي عالٍ، في حين تمثل القيم الشتوية المنخفضة ظروفًا ملائمة للنبات. ويعكس المتوسط السنوي مستوى تبخر–نتح مقبولًا لكنه مرتفع نسبيًا، ما يجعل نجاح نظام SRI مرتبطًا بدرجة كبيرة بكفاءة الري، وتقليل الفاقد بالتسرب، وتحسين قدرة التربة على الاحتفاظ بالرطوبة.

وفيما يتعلق بالعواصف الغبارية، تُظهر بيانات الدورة الثالثة ارتفاعًا في متوسط تكرارها مقارنة بالدورة الثانية، وهو ما يعكس تزايد تأثيرات الجفاف وتدهور الغطاء النباتي. وتؤثر هذه العواصف في كفاءة النظام الزراعي عبر تقليل الإشعاع الواصل للنبات، وترسيب الغبار على الأوراق، ورفع مستويات الإجهاد الفسيولوجي، إضافة إلى إعاقة بعض العمليات الحقلية. ومع ذلك، فإن تكرارها لم يصل إلى مستويات حرجة من شأنها أن تخرج المنطقة من نطاق الملاءمة المناخية لتطبيقSRI ، وإن كانت تتطلب إجراءات تكيّفية داعمة.

وبناءً على التحليل المتكامل لعناصر المناخ خلال الدورة المناخية الثالثة في محطة الديوانية (القادسية)، يمكن وصف هذه الدورة بأنها ذات ملاءمة مناخية متوسطة إلى جيدة لتطبيق نظام الزراعة الذكية للرز(SRI) ، لكنها تتضمن تحديات واضحة تتمثل في شح الأمطار، وانخفاض الرطوبة، وارتفاع التبخر–النتح خلال الصيف، وتزايد العواصف الغبارية. ومع ذلك، تبقى القيم المتوسطة ضمن حدود يمكن إدارتها تقنيًا من خلال ممارساتSRI ، مما يجعل هذا النظام أكثر ملاءمة واستدامة مقارنة بالأساليب التقليدية في ظل تصاعد الضغوط المناخية.

٤-٣-٢-٢- التقييم المناخي لملاءمة متطلبات نظام (SRI)خلال الدورة المناخية الثالثة في محافظة القادسية

تُظهر النتائج الإحصائية الواردة في جدول (٥٨) طبيعة العلاقات الإحصائية بين المؤشرات المناخية المختلفة ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الثالثة الممتدة بين عامي (٢٠٠١–٢٠١٠). وقد جرى تحليل هذه

العلاقات باستعمال معامل ارتباط بيرسون واختبار دلالته الإحصائية عند مستوى معنوية = α) (٠.٠٥، وبدرجة حرية(١٠ = df) ، بهدف توصيف اتجاه وقوة الارتباطات الإحصائية خلال هذه المرحلة الزمنية.

وتبيّن نتائج الجدول وجود تباين واضح في اتجاه وقوة ودلالة معاملات الارتباط بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية. فقد سجّلت بعض المؤشرات علاقات ارتباط ذات دلالة إحصائية، في حين لم تبلغ مؤشرات أخرى مستوى الدلالة المعتمد، كما اختلف اتجاه الارتباط بين الطردي والعكسي، وتفاوتت قوة العلاقات بين قوية، ومتوسطة، وضعيفة.

فقد أظهر الإشعاع الشمسي علاقة ارتباط عكسية متوسطة ومعنوية إحصائيًا مع مؤشر الملاءمة المناخية، حيث بلغ معامل الارتباط(٠.٦٠٩- = r) ، وتجاوزت قيمة (t) المحسوبة القيمة الجدولية المعتمدة، مع قيمة احتمال .(٠.٠٣٥ = p) وتشير هذه القيم إلى وجود ارتباط إحصائي واضح بين هذا المتغير ومؤشر الملاءمة المناخية خلال هذه الدورة، مع اتجاه عكسي للعلاقة.

أما درجة الحرارة، فقد سجّلت علاقة ارتباط عكسية ضعيفة وغير معنوية إحصائيًا، إذ بلغ معامل الارتباط(٠.٢٦٠- = r) ، وكانت قيمة (t) المحسوبة أقل من القيمة الجدولية، مع قيمة احتمال مرتفعة .(٠.٤١٥ = p) ويعني ذلك أن العلاقة المسجّلة بين درجة الحرارة ومؤشر الملاءمة المناخية لم تبلغ مستوى الدلالة الإحصائية خلال هذه الدورة.

وفيما يخص الرطوبة النسبية، فقد أظهرت علاقة ارتباط طردية متوسطة لكنها غير معنوية إحصائيًا، حيث بلغ معامل الارتباط(٠.٤٣٥ = r) ، ولم تتجاوز قيمة (t) المحسوبة القيمة الجدولية، مع قيمة احتمال .(٠.١٥٨ = p) وتشير هذه النتائج إلى أن الارتباط بين هذا المتغير ومؤشر الملاءمة المناخية لم يكن ذا دلالة إحصائية ضمن الإطار الزمني المدروس.

كما سجّلت الأمطار علاقة ارتباط طردية متوسطة لكنها غير معنوية إحصائيًا عند مستوى (٠.٠٥)، إذ بلغ معامل الارتباط(٠.٥٦٠ = r) ، وكانت قيمة (t) المحسوبة أقل بقليل من القيمة الجدولية، مع قيمة احتمال .(٠.٠٥٨ = p) ويعكس ذلك اقتراب العلاقة من مستوى الدلالة الإحصائية دون تحقيقه.

وأظهرت سرعة الرياح علاقة ارتباط عكسية قوية ومعنوية إحصائيًا، حيث بلغ معامل الارتباط (٠.٨٤٤- = r)، وتجاوزت قيمة (t) المحسوبة القيمة الجدولية بفارق واضح، مع قيمة احتمال .(٠.٠٠١ = p)وتشير هذه القيم إلى وجود ارتباط إحصائي قوي بين هذا المتغير ومؤشر الملاءمة المناخية خلال هذه الدورة.

جدول (٥٨) نتائج معامل الارتباط بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)

المؤشرات المناخية	معامل الارتباط(r)	t المحسوبة	df	tالجدولية (0.05)	قيمة (p)	الدلالة الإحصائية
الإشعاع الشمسي	−0.609	2.45	10	2.228	0.035	معنوي
درجة الحرارة	−0.260	0.86	10	2.228	0.415	غير معنوي
الرطوبة النسبية	0.435	1.49	10	2.228	0.158	غير معنوي
الأمطار	0.560	2.08	10	2.228	0.058	غير معنوي
سرعة الرياح	−0.844	4.47	10	2.228	0.001	معنوي
التبخر–النتح المرجعي(ETo)	−0.411	1.38	10	2.228	0.184	غير معنوي
العواصف الغبارية	−0.669	2.73	10	2.228	0.017	معنوي

المصدر: بالاعتماد على البيانات المناخية السنوية لمحافظة القادسية خلال الدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)، والمعالجة إحصائيًا باستعمال معامل ارتباط بيرسون (Pearson r) واختبار معنويته عبر البرنامج الإحصائي SPSS (الإصدار ١٦)

كما أظهر التبخر–النتح المرجعي (ETo) علاقة ارتباط عكسية متوسطة لكنها غير معنوية إحصائيًا، إذ بلغ معامل الارتباط(r = –٠.٤١١) ، وكانت قيمة (t) المحسوبة أقل من القيمة الجدولية، مع قيمة احتمال(p = ٠.١٨٤) ، ما يدل على عدم معنوية هذا الارتباط وفق المستوى المعتمد.

وفيما يتعلق بالعواصف الغبارية، فقد سجّلت علاقة ارتباط عكسية متوسطة ومعنوية إحصائيًا، حيث بلغ معامل الارتباط(r = –٠.٦٦٩) ، وتجاوزت قيمة (t) المحسوبة القيمة الجدولية، مع قيمة احتمال .(p = ٠.٠١٧) وتشير هذه النتائج إلى وجود ارتباط إحصائي معنوي بين هذا المتغير ومؤشر الملاءمة المناخية خلال هذه الدورة.

وتشير النتائج الإحصائية مجتمعة، كما وردت في جدول (٥٨)، إلى أن الدورة المناخية الثالثة في محافظة القادسية اتسمت بتباين في اتجاه وقوة ودلالة العلاقات بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية .(SRI) فقد ظهرت بعض المتغيرات بعلاقات ذات دلالة إحصائية واضحة، في حين لم تبلغ متغيرات أخرى هذا المستوى من الدلالة، وهو ما

يوضّح نمط الاستجابة الإحصائية لمؤشر الملاءمة المناخية خلال هذه المرحلة مقارنة بالدورات المناخية السابقة.

٤-٣-٢-٣- التوزيع المكاني لمستوى الملاءمة المناخية لمتطلبات نظام (SRI)

يوضح الجدول (٥٩) والخريطة (٨) تحليلًا علميًا وصورة مكانية دقيقة لـ نطاقات الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية للأرز (SRI) في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)، بالاستناد إلى قيم مؤشر الملاءمة المناخية .(MSI) ويكشف هذا التحليل عن تحول مناخي سلبي وتراجع ملحوظ في مستوى الملاءمة المناخية في عدد من الوحدات الإدارية مقارنة بالدورات المناخية السابقة، وهو ما يعكس اشتداد الظروف المناخية القاسية خلال هذه المرحلة، ولا سيما ارتفاع درجات الحرارة، وتزايد العواصف الغبارية، وارتفاع معدلات التبخر–النتح المرجعي، إلى جانب تراجع الرطوبة النسبية وكميات الأمطار، وكما يأتي

النطاق المكاني الشمالي – ملاءمة عالية نسبيًا(٠.٧٠–٠.٦١ = MSI)

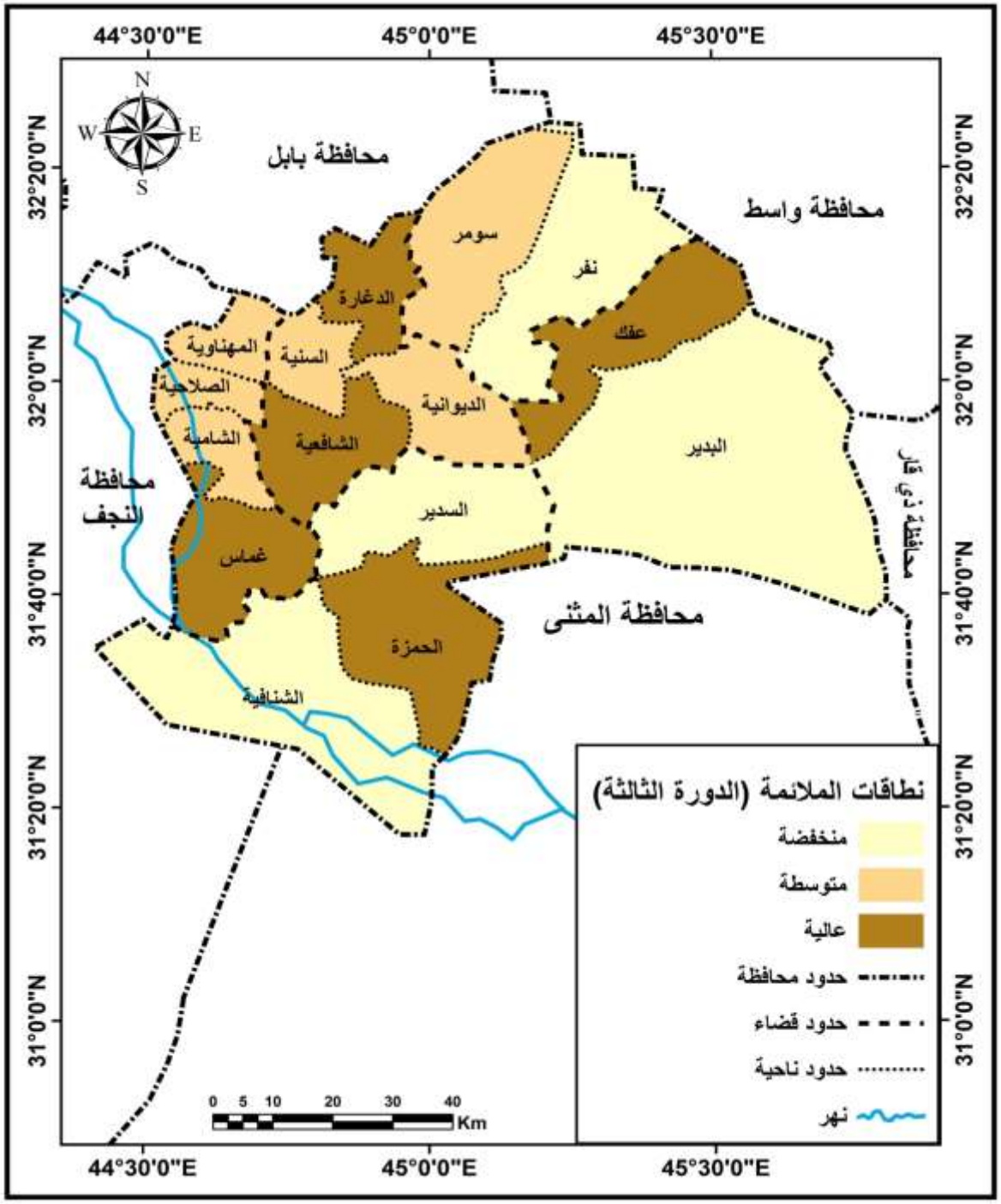
يضم النطاق المكاني الشمالي الوحدات الإدارية (غماس، عفك، الحمزة، الدغارة، الشافعية)، وقد سجّل أعلى مستويات الملاءمة المناخية في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الثالثة مقارنة ببقية النطاقات المكانية .ويُعزى ذلك إلى توافر ظروف مناخية أكثر توافقًا نسبيًا مع متطلبات نظام تكثيف زراعة الرز(SRI) ، إذ اتسم النطاق المكاني بدرجات حرارة معتدلة نسبيًا بلغ متوسطها خلال هذه الدورة نحو (٢٥°م)، وهي قريبة من المدى الفسيولوجي الملائم لنمو الرز، فضلًا عن انخفاض تكرار موجات الحر الشديدة مقارنة بـ النطاق المكاني الجنوبي.

كما تميّز النطاق المكاني بسرعات رياح أقل نسبيًا، وهو عامل مهم نظرًا لارتباط الرياح بعلاقة عكسية قوية مع مؤشر الملاءمة خلال هذه الدورة، ما أسهم في تقليل الفواقد المائية وتحسين كفاءة الري المتناوب. وسُجّلت كذلك رطوبة نسبية أعلى نسبيًا أظهرت ارتباطًا طرديًا متوسطًا مع مؤشر الملاءمة، إلى جانب تأثير أقل للعواصف الغبارية مقارنة بالمناطق الوسطى والجنوبية، رغم كونها عنصرًا مقيّدًا ذا دلالة إحصائية خلال هذه الدورة. وبذلك يمثل النطاق المكاني الشمالي النطاق الأكثر ملاءمة نسبيًا لتطبيق نظام SRI خلال هذه المرحلة، مع ملاحظة تراجع قيم الملاءمة مقارنة بالدورات السابقة نتيجة الضغوط المناخية المتزايدة.

جدول (٥٩) نطاقات الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)

رقم	الوحدة الإدارية	مدى (MSI)	ملاءمة (SRI)
١	غماس	0.60–0.70	عالية نسبيًا
٢	عفك	0.60–0.70	عالية نسبيًا
٣	الحمزة	0.60–0.70	عالية نسبيًا
٤	الدغارة	0.60–0.70	عالية نسبيًا
٥	الشافعية	0.60–0.70	عالية نسبيًا
٦	القادسية	0.55–0.60	متوسطة
٧	الشامية	0.55–0.60	متوسطة
٨	سومر	0.55–0.60	متوسطة
٩	المهناوية	0.55–0.60	متوسطة
١٠	الصلاحية	0.55–0.60	متوسطة
١١	السنية	0.55–0.60	متوسطة
١٢	نفر	0.45–0.54	منخفضة
١٣	الشنافية	0.45–0.54	منخفضة
١٤	البدير	0.45–0.54	منخفضة
١٥	السدير	0.45–0.54	منخفضة

المصدر: بالاعتماد على البيانات المناخية الواردة في الجداول (٢٣)، (٢٩)، (٣٣)، (٣٥)، (٣٧)، (٣٩)، (٤١)، والخاصة بمحطة الديوانية للدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠).



خريطة (٨): التوزيع الجغرافي لمستوى الملاءمة المناخية لتطبيق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI)في محافظة القادسية، وفق مؤشر الملاءمة المناخية(MSI) ، خلال الدورة المناخية الثالثة (٢٠٠١ـ٢٠١٠).

المصدر – بالاعتماد على جدول (٥٩)

النطاق المكاني الأوسط – ملاءمة متوسطة(٠.٦٠–٠.٥٥ = MSI)

يشمل النطاق المكاني الأوسط الوحدات الإدارية (سومر، المهناوية، القادسية، الشامية، الصلاحية، السنية)، وجميعها وقعت ضمن فئة الملاءمة المتوسطة خلال الدورة المناخية الثالثة. ويعكس هذا النطاق المكاني حالة من الاستقرار المناخي النسبي، لا ترقى إلى مستوى التميّز المسجّل في النطاق المكاني الشمالي، لكنها أفضل من الظروف المناخية السائدة في النطاق المكاني الجنوبي.

وتتسم المنطقة بدرجات حرارة تقع ضمن النطاق المقبول لنمو الرز، إلا أن تسجيل قمم حرارية صيفية مرتفعة أسهم في خفض مستوى الملاءمة من "عالية" إلى "متوسطة". كما سُجّلت رطوبة نسبية دون المستوى المثالي لتطبيق نظامSRI ، إذ بلغ متوسطها نحو (٤٢%) مقارنة بالقيمة المثلى المقدّرة بنحو (٥٠%). واتسمت الأمطار بقلة كميتها وعدم انتظامها، وكان لها تأثير معنوي مقيِّد وفق نتائج التحليل الإحصائي، ما عزّز الاعتماد على الري السطحي. كذلك اقتربت سرعات الرياح من الحد الأعلى المقبول، وأظهرت علاقة ارتباط عكسية قوية مع مؤشر الملاءمة ($r \approx -0.844$)، إلى جانب تكرار العواصف الغبارية، الأمر الذي أثّر في كفاءة التمثيل الضوئي والتهوية. وتعكس هذه المعطيات أن النطاق المكاني الأوسط قادر على دعم زراعة SRI بإنتاجية متوسطة تعتمد على الإدارة الدقيقة للمياه وضبط توقيت الزراعة.

النطاق المكاني الجنوبي – ملاءمة منخفضة(٠.٥٤–٠.٤٥ = MSI)

يمثل النطاق المكاني الجنوبي أدنى مستويات الملاءمة المناخية خلال الدورة المناخية الثالثة، ويشمل الوحدات الإدارية (نفر، الشنافية، البدير، السدير)، وجميعها وقعت ضمن فئة الملاءمة المنخفضة. ويُعد هذا النطاق المكاني الأكثر تأثرًا بالضغوط المناخية، حيث سجّل أعلى درجات الحرارة وتكرار موجات الحر الصيفية، ما أدى إلى ارتفاع معدلات التبخر–النتح المرجعي وزيادة الإجهاد الحراري على النبات.

كما تميّز النطاق المكاني بسرعات رياح أعلى، وكانت الرياح عنصرًا مقيّدًا بشدة خلال هذه الدورة($r \approx -0.844$) ، إذ ترتفع قيمها باتجاه الجنوب، ما يزيد الفواقد المائية ويخفض كفاءة الري. وسُجّلت العواصف الغبارية بتكرار أعلى وكان تأثيرها ذا دلالة إحصائية (Sig = ٠.٠٢٨)، الأمر الذي حدّ من الإشعاع الشمسي الفعّال وزاد من الإجهاد الميكانيكي للنبات. وإلى جانب ذلك، سُجّلت أدنى كميات أمطار في المحافظة، ورغم كون الأمطار عنصرًا داعمًا للملاءمة المناخية، فإن انخفاض متوسطها قلّص أثرها الإيجابي. وتعكس هذه الظروف مجتمعة أن النطاق المكاني الجنوبي أصبح الأقل.

ملاءمة لتطبيق نظام SRI خلال هذه الدورة، حيث تتطلب زراعة الرز فيه إجراءات تكيفية مشددة وإدارة مائية عالية الدقة.

يتضح وجود تحول مناخي سلبي بدأت ملامحه تظهر في هذه الدورة، وهو ما يعكس التغير المناخي بصورة مباشرة في القادسية. وتُظهر نتائج الدورة المناخية الثالثة أن محافظة القادسية مرت بمرحلة تراجع ملحوظ في الملاءمة المناخية لنظام SRI، حيث أصبحت المناطق ذات الملاءمة العالية محصورة في الشمال، بينما توسعت مناطق الملاءمة المتوسطة وضعفت مناطق الجنوب.

٤-٤- التقييم المناخي لمستوى الملاءمة لمتطلبات نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في الدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)

٤-٤-١- التقييم المناخي لمستوى ملاءمة متطلبات نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)

٤-٤-١-١- خصائص المؤشرات المناخية وملاءمة (SRI) خلال الدورة المناخية الرابعة في محافظة النجف .

تمثل الدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٠) المرحلة الأكثر تطرفًا مناخيًا بين الدورات الأربع في محافظة النجف، إذ تعكس هذه المدة ذروة تسارع التغير المناخي في المنطقة من خلال تسجيل أعلى المعدلات الحرارية، وأدنى مستويات الرطوبة النسبية، واستمرار تراجع الهطول المطري، وارتفاع معدلات التبخر–النتح، إلى جانب تزايد النشاط الغباري. وتُعد هذه الدورة الأحدث والأكثر تأثرًا بالتحولات المناخية في العراق، الأمر الذي يجعلها مؤشرًا واضحًا على تدهور البيئة المناخية الملاءمة لزراعة الرز، ولا سيما بالأساليب التقليدية.

يوضح جدول (٦٠) الخصائص الإحصائية للمؤشرات المناخية الرئيسة في محطة النجف خلال هذه الدورة، ويُظهر تحولات واضحة مقارنة بالدورات الثلاث السابقة، بما يؤكد اشتداد تأثيرات التغير المناخي في البيئة الزراعية المحلية.

يبدأ التحليل بالمؤشرات الطاقية، حيث تشير بيانات الإشعاع الشمسي إلى استمرار تسجيل مستويات مرتفعة من السطوع الشمسي، مع انخفاض طفيف في المتوسط السنوي مقارنة بالدورات السابقة. ويُعزى هذا الانخفاض النسبي إلى تزايد العواصف الغبارية التي تقلل من الإشعاع الفعلي الواصل إلى سطح الأرض والنبات. وعلى الرغم من ذلك، يبقى الإشعاع الشمسي ضمن الحدود الملاءمة لدعم عمليات التمثيل الضوئي لمحصول الرز، ويُعد عاملًا إيجابيًا عند تطبيق نظام SRI الذي يعزز كفاءة امتصاص الضوء عبر تحسين البنية الخضرية والجذرية للنبات، إلا أن فعاليته تتأثر سلبًا عند تصاعد النشاط الغباري.

أما الخصائص الحرارية، فتُظهر بيانات الدورة الرابعة تسجيل أعلى متوسط سنوي لدرجات الحرارة مقارنة بجميع الدورات السابقة، وهو ما يعكس اشتداد مسار الاحترار المناخي في محافظة النجف. وعلى الرغم من وقوع المتوسط العام ضمن المجال الفسيولوجي المقبول لنمو الرز، فإن اقتراب القيم العليا خلال فصل الصيف من حدود قصوى مرتفعة يشير إلى اتساع مدة الإجهاد الحراري، ولا سيما خلال المراحل الحساسة من نمو النبات. ويؤدي هذا الإجهاد إلى زيادة الاحتياجات المائية وتعاظم معدلات التبخر–النتح، مما يقلل من كفاءة الزراعة التقليدية المعتمدة على الإغمار المستمر. وفي هذا السياق، تبرز أهمية نظام SRI بوصفه أكثر قدرة على التكيف، من خلال تحسين تهوية التربة، وتعزيز نمو الجذور، ورفع كفاءة الاستفادة من الرطوبة الأرضية.

وفيما يخص الرطوبة النسبية، تُظهر بيانات الدورة الرابعة أدنى متوسط سنوي مسجل بين جميع الدورات، ما يعكس انتقال مناخ النجف إلى مرحلة جفاف شديد خلال العقد الأخير. ويؤدي هذا الانخفاض الحاد في الرطوبة إلى زيادة فقد الماء من التربة والنبات، وارتفاع درجات الحرارة المحسوسة، وتعاظم الإجهاد المائي، وهو ما يضعف بشكل كبير ملاءمة الزراعة التقليدية للرز. كما أن وصول الرطوبة إلى مستويات متدنية جدًا خلال بعض الأشهر يُعد من أبرز مظاهر التغير المناخي الحديثة في المنطقة، ويزيد الحاجة إلى نظم ري تعتمد على التحكم الدقيق بالرطوبة الأرضية، كما هو الحال في نظام.SRI

أما الأمطار، فتؤكد بيانات هذه الدورة استمرار الهطول المطري عند مستويات منخفضة جدًا، مماثلة لما سُجل في الدورة الثالثة، وأقل بكثير من الدورة الأولى. ويعكس هذا النمط استمرار الجفاف المزمن واتساع التذبذب المطري، مع تركز الهطول في عدد محدود جدًا من الأيام خلال السنة. وتبقى الأمطار غير قادرة على دعم أي نشاط زراعي دون ري، مما يجعل إدارة الموارد المائية الاصطناعية ضرورة حتمية، ويعزز أهمية تبني نظام SRI لترشيد استهلاك المياه وتقليل الفاقد. وتشير بيانات سرعة الرياح إلى تسجيل قيم معتدلة، لكنها أعلى نسبيًا من الدورة الثالثة، وهو ما يسهم في زيادة التبخر السطحي وتحريك الغبار، وبالتالي زيادة الضغط على الموارد المائية. ويؤدي هذا النشاط الريحي إلى تعزيز الجفاف السطحي للتربة، الأمر الذي يتطلب ضبط مواعيد الري والحفاظ على رطوبة مناسبة في منطقة الجذور، وهي من الركائز الأساسية التي يعتمد عليها نظام.SRI

ويُظهر التبخر–النتح المرجعي (ETo) خلال الدورة الرابعة بقاء المتوسط السنوي عند مستويات مرتفعة، ليعكس أعلى درجات الضغط المائي على النبات مقارنة بالدورات السابقة. ويعود ذلك

إلى تضافر ارتفاع الحرارة، وانخفاض الرطوبة، وتزايد النشاط الغباري، وهو ما يجعل هذه الدورة من أكثر الفترات تحديًا للزراعة التقليدية. ويؤكد هذا المؤشر أن نظام SRI لم يعد خيارًا تحسينيا، بل أصبح ضرورة ملحة لتقليل الهدر المائي ورفع كفاءة استعمال الموارد المتاحة في ظل ندرة المياه.

جدول (٦٠) خصائص المؤشرات المناخية لمحطة النجف للدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)

المؤشرات المناخية	الحد الأدنى	الحد الأعلى	المتوسط السنوي
الإشعاع الشمسي (ملّي واط/سم²/يوم)	257	625	454.75
درجة الحرارة (°م)	11.10	39.02	25.57
(%) الرطوبة النسبية	16.43	62.30	35.92
الأمطار (ملم/شهر)	0.00	21.59	8.34
سرعة الرياح (م/ثا)	1.44	2.76	2.02
التبخر–النتح المرجعي ETo (ملم/يوم)	1.64	7.66	4.44
العواصف الغبارية (مرة/شهر)	0.00	1.25	0.43

المصدر: بالاعتماد على معالجة البيانات المناخية الواردة في الجداول **(٢٢)**، **(٢٨)**، **(٣٢)**، **(٣٤)**، **(٣٦)**، **(٣٨)**، **(٤٠)**، والخاصة بمحطة النجف للمدة **(٢٠٢٣–١٩٨٠)**، بعد عزل بيانات **الدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)**، وباستعمال مخرجات البرنامج الإحصائي **SPSS(الإصدار ١٦)**.

وفيما يتعلق بالعواصف الغبارية، تُظهر بيانات الدورة الرابعة زيادة ملحوظة في تكرار هذه الظاهرة مقارنة بالدورتين الأولى والثانية، وهو ما يرتبط بتدهور الغطاء النباتي، واتساع التصحر، وانكشاف التربة، وتأثر النجف بقربها من مناطق صحراوية نشطة جنوب وغرب العراق. وتؤدي هذه العواصف إلى تقليل الإشعاع الفعلي الواصل للنبات، وخفض كفاءة التمثيل الضوئي، وزيادة الإجهاد الفسيولوجي، وإعاقة العمليات الحقلية. وعلى الرغم من أن نظام SRI يعزز مقاومة النبات نسبيًا عبر تحسين قوة الجذور والتهوية، فإن تصاعد النشاط الغباري يبقى عامل ضغط بيئي مؤثرًا في الإنتاج الزراعي.

وبناءً على ما تقدم، تشير بيانات الدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٠) إلى أن محافظة النجف بلغت مرحلة متقدمة من التطرّف المناخي، تمثلت في أعلى درجات حرارة مسجلة منذ ثمانينات القرن الماضي، وأدنى مستويات الرطوبة، واستمرار شح الأمطار، وارتفاع التبخر–النتح، وتزايد العواصف الغبارية. وقد أدت هذه التحولات إلى تراجع ملاءمة الزراعة التقليدية للرز بشكل واضح، في حين تعاظمت أهمية نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) بوصفه خيارًا استراتيجيًا لا غنى عنه، لما يوفره من كفاءة عالية في استعمال المياه، وقدرة أفضل على تحمل الإجهاد الحراري والجفاف، وتحسين استدامة الإنتاج الزراعي في ظل التغير المناخي المتسارع.

٤-٤-١-٢- التقيم المناخي لملاءمة متطلبات نظام (SRI) خلال الدورة المناخية الرابعة في محافظة النجف

تُبيّن النتائج الإحصائية الواردة في جدول (٦١) طبيعة العلاقات بين المؤشرات المناخية المختلفة ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الرابعة الممتدة بين عامي (٢٠١١–٢٠٢٣). وقد جرى تحليل هذه العلاقات باستعمال معامل ارتباط بيرسون واختبار دلالته الإحصائية عند مستوى معنوية (α = ٠.٠٥) وبدرجة حرية(df = ١٠) ، بما يتيح توصيف اتجاه وقوة ودلالة العلاقات الإحصائية خلال هذه المرحلة.

وتُظهر نتائج الجدول وجود تباين واضح في اتجاه وقوة معاملات الارتباط، إذ سُجّلت علاقات ارتباط ذات دلالة إحصائية لبعض المؤشرات، في حين لم تبلغ مؤشرات أخرى مستوى الدلالة المعتمد، مع اختلاف اتجاه العلاقة بين الطردي والعكسي، وتفاوت قوتها بين ضعيفة ومتوسطة.

فقد أظهر الإشعاع الشمسي علاقة ارتباط عكسية متوسطة لكنها غير معنوية إحصائيًا، حيث بلغ معامل الارتباط(r = –٠.٤٠٥) ، وكانت قيمة (t) المحسوبة أقل من القيمة الجدولية، مع قيمة احتمال .(p = ٠.١٩١) وتشير هذه القيم إلى عدم تحقق الدلالة الإحصائية لهذه العلاقة خلال الدورة المناخية الرابعة.

كما سجّلت درجة الحرارة علاقة ارتباط عكسية ضعيفة وغير معنوية إحصائيًا، إذ بلغ معامل الارتباط(r = –٠.٢٥٠) ، وكانت قيمة (t) المحسوبة دون القيمة الجدولية، مع قيمة احتمال (p = ٠.٤٣٤)، وهو ما يدل على عدم وجود علاقة ذات دلالة إحصائية بين هذا المتغير ومؤشر الملاءمة المناخية خلال هذه المدة.

وفيما يخص الرطوبة النسبية، فقد أظهرت علاقة ارتباط طردية ضعيفة وغير معنوية إحصائيًا، حيث بلغ معامل الارتباط(r = ٠.٢٩٠) ، ولم تتجاوز قيمة (t) المحسوبة القيمة الجدولية، مع قيمة احتمال(p = ٠.٣٦١) ، ما يشير إلى عدم معنوية العلاقة إحصائيًا.

أما الأمطار، فقد سجّلت علاقة ارتباط طردية متوسطة ومعنوية إحصائيًا، إذ بلغ معامل الارتباط (r = ٠.٥٩٨)، وتجاوزت قيمة (t) المحسوبة القيمة الجدولية، مع قيمة احتمال .(p = ٠.٠٤٠) وتشير هذه النتائج إلى وجود علاقة ذات دلالة إحصائية بين الأمطار ومؤشر الملاءمة المناخية خلال هذه الدورة. وسجّلت سرعة الرياح علاقة ارتباط عكسية متوسطة ومعنوية إحصائيًا، حيث بلغ معامل الارتباط(r = −٠.٥٩٠) ، وتجاوزت قيمة (t) المحسوبة القيمة الجدولية، مع قيمة احتمال(p = ٠.٠٤٤) ، مما يؤكد تحقق الدلالة الإحصائية لهذه العلاقة.

كما أظهر التبخر–النتح المرجعي (ETo) علاقة ارتباط عكسية متوسطة لكنها غير معنوية إحصائيًا، إذ بلغ معامل الارتباط(r = −٠.٤٢١) ، وكانت قيمة (t) المحسوبة أقل من القيمة الجدولية، مع قيمة احتمال(p = ٠.١٧٣) ، وهو ما يشير إلى عدم معنوية هذه العلاقة ضمن مستوى الدلالة المعتمد.

جدول (٦١) نتائج معامل الارتباط بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)

المؤشرات المناخية	معامل الارتباط(r)	t المحسوبة	Df	tالجدولية (٠.٠٥)	قيمة (p)	الدلالة الإحصائية
الإشعاع الشمسي	−0.405	1.35	10	2.228	0.191	غير معنوي
درجة الحرارة	−0.250	0.81	10	2.228	0.434	غير معنوي
الرطوبة النسبية	0.290	0.96	10	2.228	0.361	غير معنوي
الأمطار	0.598	2.43	10	2.228	0.040	معنوي
سرعة الرياح	−0.590	2.37	10	2.228	0.044	معنوي
التبخر–النتح المرجعي(ETo)	−0.421	1.42	10	2.228	0.173	غير معنوي
العواصف الغبارية	−0.670	2.73	10	2.228	0.017	معنوي

المصدر: بالاعتماد على البيانات المناخية السنوية لمحطة النجف خلال الدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)، والمعالجة إحصائيًا باستعمال معامل ارتباط بيرسون (Pearson r) واختبار معنويته باستعمال البرنامج الإحصائي SPSS (الإصدار ١٦).

وفيما يتعلق بالعواصف الغبارية، فقد سُجّلت علاقة ارتباط عكسية متوسطة ومعنوية إحصائيًا، حيث بلغ معامل الارتباط(r = –٠.٦٧٠) ، وتجاوزت قيمة (t) المحسوبة القيمة الجدولية، مع قيمة احتمال(p = ٠.٠١٧) ، ما يدل على وجود علاقة ذات دلالة إحصائية خلال هذه الدورة.

وتشير النتائج الإحصائية مجتمعة، كما وردت في جدول (٦٢)، إلى أن الدورة المناخية الرابعة في محافظة النجف اتسمت بتباين في دلالة العلاقات الإحصائية بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية(SRI) ، إذ انحصرت العلاقات المعنوية في عدد محدود من المتغيرات، في حين لم تُظهر بقية المؤشرات علاقات ذات دلالة إحصائية وفق مستوى المعنوية المعتمد.

٤-٤-١-٣- التوزيع المكاني لمستوى الملاءمة المناخية لمتطلبات نظام (SRI)

يبين الجدول (٦٢) والخريطة (٩) **نطاقات** الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الرابعة الممتدة للمدة (٢٠١١–٢٠٢٣)، ويُظهر أن مؤشر الملاءمة المناخية (MSI) شهد تراجعًا واضحًا مقارنة بالدورات المناخية السابقة، ولا سيما الدورة الأولى. وتبرز هذه الدورة بوصفها من أكثر الفترات تأثرًا بالتغير المناخي الحاد على مستوى المحافظة، إذ تميزت بارتفاع غير مسبوق في درجات الحرارة، وتزايد موجات الحر الشديدة، وارتفاع معدلات التبخر–النتح المرجعي، فضلًا عن تراجع الرطوبة النسبية وعدم انتظام الموارد المائية، ولا سيما في المناطق الوسطى والجنوبية. ويعكس هذا النمط استمرار تدهور الظروف المناخية عبر الزمن، وما يرافقه من تقلص في نطاقات الملاءمة المناخية لتطبيق نظام.SRI .

النطاق المكاني الشمالي (٠.٦٠ ≥ MSI) وأقل من ٠.٧٠) – عالي الملاءمة

يضم النطاق المكاني الشمالي وحدتي الحيرة والكوفة، اللتين سجلتا أعلى قيم لمؤشر الملاءمة المناخية خلال الدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)، إذ تراوحت قيم MSI فيهما ضمن المدى (≤٠.٦٠ وأقل من ٠.٧٠)، ما يضعهما ضمن فئة الملاءمة العالية نسبيًا لتطبيق نظام الزراعة الذكية للأرز .(SRI) ويُعزى هذا التصنيف إلى توافر ظروف مناخية أكثر توازنًا مقارنة ببقية وحدات المحافظة، تمثلت في تسجيل إشعاع شمسي فعّال ومستقر نسبيًا خلال موسم النمو، ورطوبة نسبية معتدلة أسهمت في الحد من شدة الإجهاد الحراري والمائي على النبات.

كما بقيت درجات الحرارة ضمن أو قريبة من المدى الفسيولوجي الملائم لنمو الرز في معظم سنوات هذه الدورة، مع تأثير أقل نسبيًا للعواصف الغبارية مقارنة بالمناطق الجنوبية، الأمر الذي

ساعد على الحفاظ على كفاءة العمليات الفسيولوجية للنبات وتحسين فرص نجاح الري المتقطع المعتمد في نظام .SRI وعلى الرغم من التراجع العام في قيم مؤشر الملاءمة المناخية على مستوى المحافظة، فقد حافظ النطاق المكاني الشمالي على موقعه بوصفه النطاق الأكثر ملاءمة نسبيًا خلال هذه الدورة.

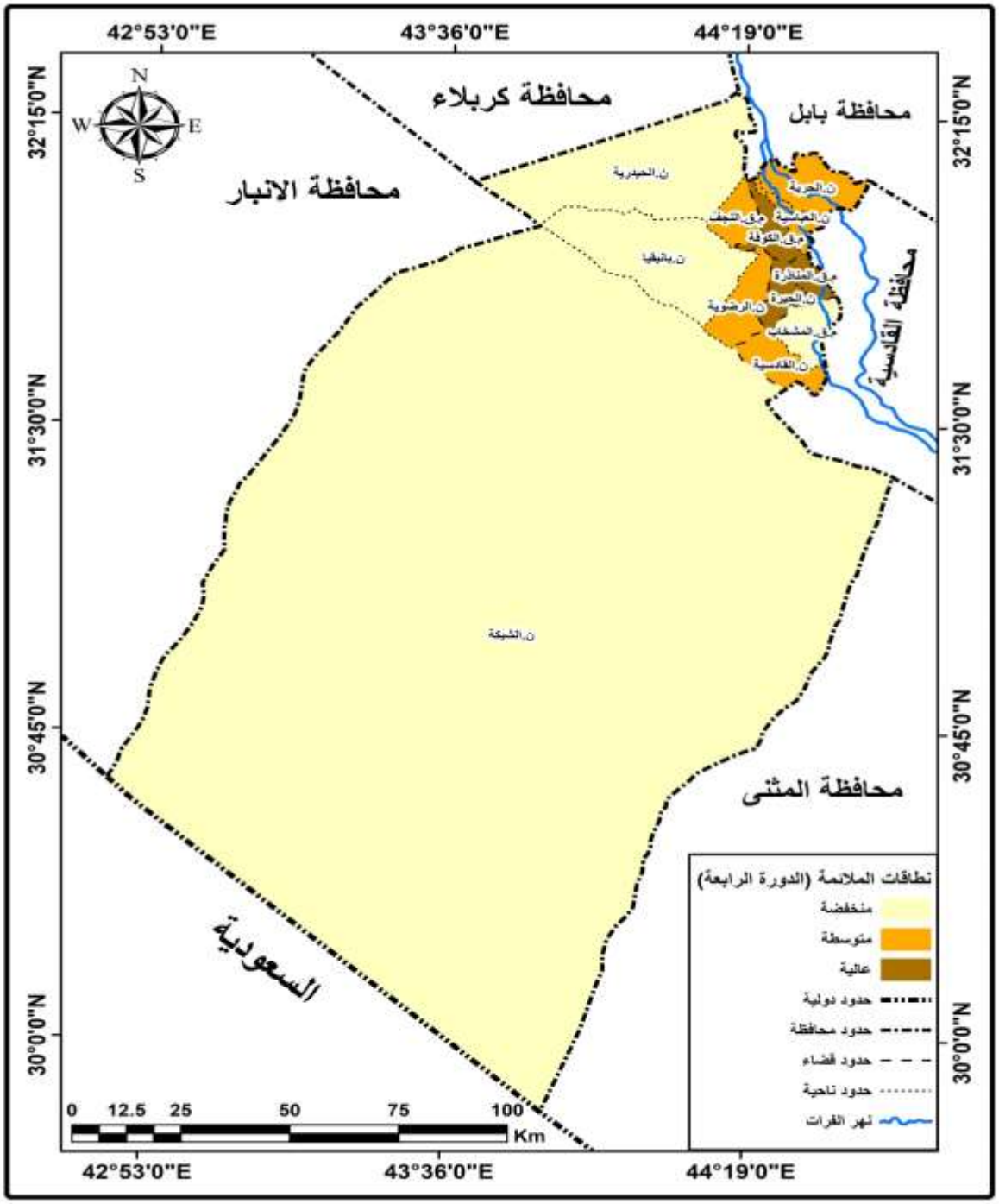
النطاق المكاني الأوسط – ملاءمة متوسطة (٠.٥٠ ≤ MSIوأقل من ٠.٦٠)

يشمل النطاق المكاني الأوسط وحدات القادسية، الرضوية، العباسية، النجف، والحرية، وجميعها وقعت ضمن فئة الملاءمة المتوسطة خلال المدة (٢٠١١–٢٠٢٣). ويعكس هذا النطاق المكاني حالة من الاستقرار المناخي النسبي مقارنة بـ النطاق المكاني الجنوبي، إلا أن الظروف المناخية السائدة لم تعد كافية لرفع مستوى الملاءمة إلى الفئات العليا، نتيجة تسجيل درجات حرارة مرتفعة نسبيًا خلال بعض أطوار النمو الحرجة، ولا سيما خلال فصل الصيف. كما سُجّل ارتفاع ملحوظ في معدلات التبخر–النتح المرجعي(ETo) ، ما حدّ من فعالية الري المتقطع الذي يُعد أحد المرتكزات الأساسية في نظامSRI ، فضلًا عن تذبذب الرطوبة النسبية وتراجع انتظام الإطلاقات المائية. وبناءً على ذلك، يوفر النطاق المكاني الأوسط ظروفًا متوسطة الملاءمة لتطبيق نظامSRI ، تعتمد فيها الإنتاجية بدرجة كبيرة على الإدارة الدقيقة للمياه، وتحسين توقيت الزراعة، والحد من آثار الإجهاد الحراري. كما أن التباين المكاني في خصائص التربة داخل هذا النطاق يسهم في اختلاف كفاءة الاحتفاظ بالمياه بين الوحدات الإدارية. ويؤدي ذلك إلى تفاوت في استجابة المحصول لممارسات الري والإدارة الزراعية. كما تبرز أهمية تحسين كفاءة شبكات الري للحد من الفواقد المائية وتعزيز الاستفادة من الموارد المتاحة. ويساعد اعتماد تقنيات الزراعة الحديثة في تقليل تأثير التذبذب المناخي وتحسين استقرار الإنتاج. كذلك يُعد اختيار الأصناف الملائمة للظروف الحرارية عاملاً حاسمًا في رفع كفاءة الإنتاج ضمن هذا النطاق. كما أن ضبط مواعيد الزراعة يسهم في تجنب فترات الإجهاد الحراري المرتفع خلال مراحل النمو الحساسة. وتؤكد هذه المعطيات ضرورة التكامل بين الإدارة المائية والزراعية لتحقيق أفضل استثمار للملاءمة المتوسطة المتاحة.

جدول (٦٢) نطاقات الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة النجف خلال الدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)

رقم	الوحدة الإدارية	مدى (MSI)	ملاءمة (SRI)
١	المشخاب	وأقل من 0.50 0.40 ≥	منخفضة
٢	القادسية	وأقل من 0.60 0.50 ≥	متوسطة
٣	الرضوية	وأقل من 0.60 0.50 ≥	متوسطة
٤	الحيرة	وأقل من 0.70 0.60 ≥	عالية نسبيًا
٥	العباسية	وأقل من 0.60 0.50 ≥	متوسطة
٦	الكوفة	وأقل من 0.70 0.60 ≥	عالية نسبيًا
٧	النجف	وأقل من 0.60 0.50 ≥	متوسطة
٨	الحرية	وأقل من 0.60 0.50 ≥	متوسطة
٩	الحيدرية	وأقل من 0.50 0.40 ≥	منخفضة
١٠	بانيقيا	وأقل من 0.50 0.40 ≥	منخفضة

المصدر :بالاعتماد على البيانات المناخية الواردة في الجداول (٢٢)، (٢٨)، (٣٢)، (٣٤)، (٣٦)، (٣٨)، (٤٠)، والخاصة بالدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)



خريطة (٩) التوزيع الجغرافي لمستوى الملاءمة المناخية بدلالة مؤشر (MSI) لنظام الزراعة (SRI) في محافظة النجف ضمن الدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)

المصدر- بالاعتماد على قاعدة بيانات جدول (٦٢)

النطاق المكاني الجنوبي – ملاءمة منخفضة ٠.٤٠ ≥ MSI) وأقل من ٠.٥٠)

يشمل النطاق المكاني الجنوبي وحدات المشخاب، الحيدرية، وبانيقيا، وقد سجلت هذه الوحدات أدنى قيم لمؤشر الملاءمة المناخية خلال الدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)، ضمن مدى (≤٠.٤٠ وأقل من ٠.٥٠)، ما يضعها ضمن فئة الملاءمة المنخفضة لتطبيق نظام .SRI ويُعزى هذا الانخفاض إلى تصاعد الضغوط المناخية خلال هذه المدة، ولا سيما الارتفاع الحاد في درجات الحرارة بعد عام ٢٠١٥، حيث تجاوزت موجات الحر في بعض السنوات (٥٥°م)، ما أدى إلى زيادة شدة الإجهاد الحراري وانخفاض ملاءمة النمو الفسيولوجي لمحصول الرز. كما أسهم الارتفاع الكبير في معدلات التبخر–النتح المرجعي، والانخفاض الشديد في الرطوبة النسبية، في رفع الضغط المائي وتقليل كفاءة الري المتقطع. وأدى تزايد تكرار العواصف الغبارية إلى خفض الإشعاع الشمسي الفعّال وتقليل كفاءة التمثيل الضوئي، إلى جانب تراجع الإطلاقات المائية وتدهور موارد الري، ولا سيما في مناطق المشخاب وبانيقيا والحيدرية. ونتيجة لذلك، يمثل هذا النطاق المكاني النطاق الأضعف ملاءمة لتطبيق نظام SRI خلال المدة (٢٠١١–٢٠٢٣)، وسجل أدنى قيم MSI مقارنة ببقية النطاقات المكانية في المحافظة. كما أدى تكرار موجات الحر إلى تسريع مراحل النمو وتقليص فترة الامتلاء، مما أثر سلبًا في تكوين الحبوب. وتسهم درجات الحرارة المرتفعة في زيادة معدلات التنفس النباتي على حساب التمثيل الضوئي، مما يضعف الكفاءة الإنتاجية. كما يؤدي الانخفاض الحاد في الرطوبة النسبية إلى زيادة فقد الماء من الأنسجة النباتية وحدوث حالات ذبول متكررة. ويفاقم ذلك من الحاجة إلى زيادة عدد الريات، الأمر الذي يرفع من الضغط على الموارد المائية المحدودة. كما أن ضعف خصائص التربة في الاحتفاظ بالرطوبة يسهم في تسريع فقد المياه وتقليل كفاءة استخدامها. وتؤدي الظروف الجافة إلى زيادة تراكم الأملاح في التربة، مما يحد من امتصاص العناصر الغذائية. كما تتأثر العمليات الحيوية للنبات نتيجة التذبذب الحراري الكبير بين فترات النهار والليل. ويؤدي ذلك إلى انخفاض كفاءة التلقيح وارتفاع نسبة السنابل الفارغة في الحقول. كما تبرز الحاجة إلى اعتماد تقنيات زراعية متقدمة للتخفيف من آثار الإجهاد الحراري والمائي. وتؤكد هذه المعطيات أن نجاح تطبيق نظام SRI في هذا النطاق يتطلب إدارة دقيقة ومتكاملة للموارد المائية والتربة.

٤-٤-٢- التقييم المناخي لمستوى ملاءمة متطلبات نظام تكثيف زراعة الرز (SRI)في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)

٤-٤-٢-١- خصائص المؤشرات المناخية وملاءمة (SRI)خلال الدورة المناخية الرابعة في محافظة القادسية .

يوضح جدول (٦٣) الخصائص الإحصائية للمؤشرات المناخية في محطة الديوانية خلال الدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)، اعتمادًا على مؤشرات الحد الأدنى والحد الأعلى والمتوسط السنوي، والتي تعكس السلوك المناخي العام ودرجة التذبذب الموسمي للعناصر المؤثرة في البيئة الزراعية. وتمثل هذه الدورة المرحلة الأكثر تأثرًا بظواهر الاحتباس الحراري والجفاف والتطرف المناخي مقارنة بالدورات الثلاث السابقة، ما يجعل تحليلها ضروريًا لتقييم مدى ملاءمة الزراعة الذكية للأرز وفق نظام تكثيف زراعة الرز.(SRI)

يبدأ التحليل بالمؤشرات الطاقية، حيث تشير بيانات الإشعاع الشمسي إلى تباين موسمي واضح بين الإشعاع الشتوي المنخفض والإشعاع الصيفي المرتفع، وهو ما يعكس الطابع شبه الجاف لمناخ القادسية. ويظهر المتوسط السنوي للإشعاع استقرارًا نسبيًا مقارنة بالدورة الثالثة، مع بقائه دون القيمة المثالية قليلًا، مما يدل على توفر طاقة ضوئية كافية لدعم عمليات التمثيل الضوئي والنمو الخضري لمحصول الرز. كما أن غياب التطرف الإشعاعي الشديد، مقارنة ببعض المحطات الجنوبية، يحافظ على مستوى مناسب من "الطاقة المناخية" للنبات. ومع ذلك، فإن الارتفاع الصيفي للإشعاع، عند تزامنه مع درجات حرارة مرتفعة وسرعات رياح معتدلة، يضع النظام الزراعي ضمن نطاق الإجهاد الأعلى نسبيًا، ويؤدي إلى زيادة الطلب المائي، الأمر الذي يستدعي إدارة ري دقيقة عند تطبيق نظام.SRI

أما الخصائص الحرارية، فتُظهر بيانات هذه الدورة ارتفاعًا واضحًا في القيم العليا لدرجات الحرارة مقارنة بالدورات السابقة، مع اتساع التذبذب الحراري بين الشتاء والصيف. ويقع المتوسط السنوي لدرجات الحرارة عند الحد الأعلى من المدى الفسيولوجي الملائم لنمو الرز، مما يعني أن المشكلة الرئيسة لا تكمن في المتوسط العام، بل في فترات الذروة الحرارية خلال الصيف، ولا سيما أثناء مرحلة الإزهار، حيث يرتفع خطر الإجهاد الحراري، وتزداد الاحتياجات المائية، وتتراجع كفاءة التمثيل الضوئي. وتُعد هذه الدورة من أكثر الدورات تأثيرًا حراريًا على الزراعة في محافظة القادسية، وهو ما يبرز الحاجة إلى نظم زراعية أكثر كفاءة في إدارة الإجهاد الحراري مثل نظام.SRI

الضوئي في الأيام الحارة. هذه الدورة تُعد من أكثر الدورات تسخينًا وتأثيرًا على الزراعة في القادسية.

جدول (٦٣) خصائص المؤشرات المناخية لمحطة الديوانية للدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)

المؤشرات المناخية	الحد الأدنى	الحد الأعلى	المتوسط السنوي
الإشعاع الشمسي (ملّي واط/سم²/يوم)	265	629	465.92
درجة الحرارة (°م)	11.98	38.41	25.90
(%) الرطوبة النسبية	28.10	67.54	43.96
الأمطار (ملم/شهر)	0.00	18.78	6.92
سرعة الرياح (م/ثا)	1.99	2.69	2.27
التبخر–النتح المرجعي (ملم/يوم) ETo	1.55	7.39	4.26
العواصف الغبارية (مرة/شهر)	0.00	0.84	0.25

المصدر: بالاعتماد على معالجة البيانات المناخية الواردة في الجداول (٢٣)، (٢٩)، (٣٣)، (٣٥)، (٣٧)، (٣٩)، (٤١)، والخاصة بمحطة الديوانية للمدة (١٩٨٠–٢٠٢٣)، بعد عزل بيانات الدورة **المناخية الثالثة (٢٠٠١–٢٠١٠)**، وباستعمال مخرجات البرنامج الإحصائي SPSS (الإصدار ١٦) .

وفيما يخص الرطوبة النسبية، تشير القيم المسجلة إلى مستويات قريبة من الدورة الثالثة، مع متوسط سنوي أدنى من المستوى المثالي لتطبيق نظام .SRI ويؤدي انخفاض الرطوبة خلال أشهر الصيف إلى تعزيز الجفاف الهوائي وزيادة معدلات التبخر والنتح، في حين تسهم القيم الأعلى خلال الشتاء في تحسين الظروف البيئية مؤقتًا دون أن تعوض الإجهاد الصيفي. وعليه، فإن الرطوبة لا تشكل قيدًا حادًا على تطبيقSRI ، لكنها تزيد من حساسية النظام للجفاف في فترات الحرارة المرتفعة، ما يستلزم إدارة دقيقة لرطوبة التربة.

أما الأمطار، فتؤكد بيانات الدورة الرابعة استمرار هيمنة المناخ الجاف، مع انخفاض واضح في المتوسط السنوي وتشتت كبير في الهطول المطري، حيث يتركز في عدد محدود جدًا من الأشهر. وتمثل الأمطار في هذه الدورة أحد أكبر القيود المناخية، إذ أصبحت غير قادرة على أداء أي دور داعم للزراعة، مما يجعل نظام SRI معتمدًا اعتمادًا شبه كامل على الري السطحي، ويزيد من التعرض لمخاطر الجفاف الزراعي والانقطاع المائي.

وتشير بيانات سرعة الرياح إلى تسجيل قيم معتدلة، قريبة من القيمة المثالية نسبيًا لتطبيق نظام SRI، مع كونها أقل من مستويات الرياح المسجلة في الدورة الثالثة، وهو ما يُعد جانبًا إيجابيًا نسبيًا في هذه الدورة. فالرياح المعتدلة تسهم في تحسين تهوية الحقول والحد من بعض الأمراض

الفطرية، لكنها في الوقت نفسه ترفع معدلات التبخر وتسهم في زيادة التبخر–النتح المرجعي، ما يجعل كفاءة الري عاملًا حاسمًا في نجاح النظام.

ويعكس التبخر–النتح المرجعي (ETo) تضافر تأثيرات الإشعاع والحرارة المرتفعة والرطوبة المتوسطة وسرعة الرياح المعتدلة، حيث تُسجل القيم العليا خلال أشهر الصيف مستويات مرتفعة من الطلب المائي، وهي من أعلى القيم المسجلة خلال الدورات المناخية الأربع. ويشير ذلك إلى حاجة ماسة لري متواتر ومنظم، مع ارتفاع مخاطر الإجهاد المائي في حال ضعف الإدارة. ويؤكد هذا المؤشر أن نجاح نظام SRI في هذه الدورة مرتبط بشكل مباشر بكفاءة إدارة الري، وتقليل الفاقد بالتسرب، وتحسين قدرة التربة على الاحتفاظ بالرطوبة.

وفيما يتعلق بالعواصف الغبارية، تُظهر بيانات الدورة الرابعة انخفاضًا ملحوظًا في تكرار هذه الظاهرة مقارنة بالدورة الثالثة، وهو جانب إيجابي نسبيًا قد يعود إلى تركز بعض السنوات المطرية أو تحسن موضعي في الغطاء النباتي أو عوامل بيئية محلية في محيط محطة القادسية. ويسهم انخفاض العواصف الغبارية في تحسين كمية الإشعاع الواصل للنبات، وتقليل الإجهاد الميكانيكي والفسيولوجي، وتحسين جودة الهواء المحيط بالمحصول، وهو ما يدعم نسبيًا تطبيق نظام.SRI

وبناءً على التحليل المتكامل لعناصر المناخ خلال الدورة المناخية الرابعة في محافظة القادسية، يتضح أن البيئة المناخية أصبحت أكثر حرارة وأشد جفافًا وأكثر طلبًا للمياه مقارنة بالدورات السابقة، مع انحسار نسبي لبعض الظواهر السلبية مثل الرياح الشديدة والعواصف الغبارية. وعلى الرغم من أن ملاءمة الظروف المناخية لتطبيق نظام الزراعة الذكية للأرز (SRI) ما تزال قائمة بدرجة متوسطة، فإن نجاح النظام في هذه الدورة أصبح مشروطًا بإدارة مائية دقيقة جدًا، وضبط مواعيد الزراعة، وتحسين كفاءة الري. وتمثل هذه الدورة مرحلة انتقالية حرجة تُظهر بوضوح تصاعد تأثيرات التغير المناخي في محافظة القادسية، وتؤكد أن نظام SRI لم يعد خيارًا تحسينياً، بل أداة تكيف أساسية لضمان استدامة إنتاج الرز في ظل المناخ المتطرف.

٤-٤-٢-٢- التقيم المناخي لملاءمة متطلبات نظام (SRI) خلال الدورة المناخية الرابعة في محافظة القادسية

تُظهر النتائج الإحصائية الواردة في جدول (٦٤) طبيعة العلاقات الإحصائية بين المؤشرات المناخية المختلفة ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الرابعة الممتدة بين عامي (٢٠١١–٢٠٢٣). وقد جرى تحليل هذه العلاقات باستعمال معامل ارتباط بيرسون واختبار دلالته الإحصائية عند مستوى معنوية = α)

(٠.٠٥وبدرجة حرية(df = ١٠) ، بهدف توصيف اتجاه وقوة ودلالة العلاقات الإحصائية خلال هذه المرحلة.

وتبيّن نتائج الجدول وجود تباين واضح في اتجاه وقوة معاملات الارتباط بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية، إذ سُجّلت علاقات ذات دلالة إحصائية لبعض المتغيرات، في حين لم تبلغ متغيرات أخرى مستوى الدلالة المعتمد، مع اختلاف اتجاه العلاقات بين الطردي والعكسي، وتفاوت قوتها بين ضعيفة، ومتوسطة، وقوية.

فقد أظهر الإشعاع الشمسي علاقة ارتباط عكسية متوسطة ومعنوية إحصائيًا، حيث بلغ معامل الارتباط(r = –٠.٥٩٣) ، وتجاوزت قيمة (t) المحسوبة القيمة الجدولية المعتمدة، مع قيمة احتمال .(p = ٠.٠٤٢) وتشير هذه القيم إلى تحقق الدلالة الإحصائية للعلاقة خلال هذه الدورة.

أما درجة الحرارة، فقد سجّلت علاقة ارتباط عكسية ضعيفة وغير معنوية إحصائيًا، إذ بلغ معامل الارتباط(r = –٠.٢٨٥) ، وكانت قيمة (t) المحسوبة أقل من القيمة الجدولية، مع قيمة احتمال(p = ٠.٣٧٠) ، ما يدل على عدم تحقق الدلالة الإحصائية لهذه العلاقة.

وفيما يخص الرطوبة النسبية، فقد أظهرت علاقة ارتباط طردية ضعيفة وغير معنوية إحصائيًا، حيث بلغ معامل الارتباط(r = ٠.٣٧٥) ، ولم تتجاوز قيمة (t) المحسوبة القيمة الجدولية، مع قيمة احتمال(p = ٠.٢٢٩) ، وهو ما يشير إلى عدم معنوية العلاقة إحصائيًا.

كما سجّلت الأمطار علاقة ارتباط طردية متوسطة لكنها غير معنوية إحصائيًا عند مستوى (٠.٠٥)، إذ بلغ معامل الارتباط(r = ٠.٥٣٤) ، وكانت قيمة (t) المحسوبة أقل من القيمة الجدولية، مع قيمة احتمال(p = ٠.٠٧٤) ، ما يعكس عدم تحقق الدلالة الإحصائية وفق المستوى المعتمد.

وسجّلت سرعة الرياح علاقة ارتباط عكسية قوية ومعنوية إحصائيًا، حيث بلغ معامل الارتباط (r = –٠.٩٢٤)، وتجاوزت قيمة (t) المحسوبة القيمة الجدولية بفارق كبير، مع قيمة احتمال p) (٠.٠٠٠ =، ما يدل على وجود علاقة ذات دلالة إحصائية عالية خلال هذه الدورة.

كما أظهر التبخر–النتح المرجعي (ETo) علاقة ارتباط عكسية متوسطة لكنها غير معنوية إحصائيًا، إذ بلغ معامل الارتباط(r = –٠.٤٥٩) ، وكانت قيمة (t) المحسوبة أقل من القيمة الجدولية، مع قيمة احتمال(p = ٠.١٣٤) ، وهو ما يشير إلى عدم معنوية هذه العلاقة إحصائيًا.

جدول (٦٤) نتائج معامل الارتباط بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)

المؤشرات المناخية	معامل الارتباط(r)	t المحسوبة	df	tالجدولية (٠.٠٥)	قيمة (p)	الدلالة الإحصائية
الإشعاع الشمسي	−0.593	2.38	10	2.228	0.042	معنوي
درجة الحرارة	−0.285	0.94	10	2.228	0.370	غير معنوي
الرطوبة النسبية	0.375	1.26	10	2.228	0.229	غير معنوي
الأمطار	0.534	1.94	10	2.228	0.074	غير معنوي
سرعة الرياح	−0.924	7.74	10	2.228	0.000	معنوي
التبخر–النتح المرجعي(ETo)	−0.459	1.52	10	2.228	0.134	غير معنوي
العواصف الغبارية	−0.687	2.91	10	2.228	0.013	معنوي

المصدر: بالاعتماد على البيانات المناخية السنوية لمحافظة القادسية خلال الدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)، والمعالجة إحصائيًا باستعمال معامل ارتباط بيرسون (Pearson r) واختبار معنويته باستعمال البرنامج الإحصائي SPSS (الإصدار ١٦).

وفيما يتعلق بالعواصف الغبارية، فقد سُجِّلت علاقة ارتباط عكسية متوسطة ومعنوية إحصائيًا، حيث بلغ معامل الارتباط(r = −٠.٦٨٧) ، وتجاوزت قيمة (t) المحسوبة القيمة الجدولية، مع قيمة احتمال(p = ٠.٠١٣) ، ما يدل على تحقق الدلالة الإحصائية لهذه العلاقة خلال الدورة المناخية الرابعة.

وتشير النتائج الإحصائية مجتمعة، كما وردت في جدول (٦٥)، إلى أن الدورة المناخية الرابعة في محافظة القادسية اتسمت بتباين في دلالة العلاقات الإحصائية بين المؤشرات المناخية ومؤشر الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية(SRI) ، إذ انحصرت العلاقات المعنوية في عدد محدد من المتغيرات، في حين لم تُظهر بقية المؤشرات علاقات ذات دلالة إحصائية وفق مستوى المعنوية المعتمد.

٤-٤-٢-٣- التوزيع المكاني لمستوى الملاءمة المناخية لمتطلبات نظام (SRI)

تمثل هذه الدورة ذروة تأثير التغيرات المناخية في محافظة القادسية، كما يوضحها الجدول (٦٥) والخريطة (١٠)، ولا سيما من حيث ارتفاع درجات الحرارة، وزيادة معدلات التبخر–النتح المرجعي، وتراجع كميات الأمطار، وازدياد تأثير الرياح. وقد انعكست هذه العوامل مجتمعة بوضوح على التوزيع المكاني لمستويات الملاءمة المناخية بين **نطاقات** المحافظة. وبغية ضمان الدقة التصنيفية ومنع أي تداخل عددي، جرى اعتماد حدود فاصلة غير متداخلة لتقسيم **نطاقات** الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) خلال الدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣) كما يأتي:

النطاق المكاني الشمالي – ملاءمة عالية نسبيًا(٠.٧٥–٠.٦٥ = MSI)

يشمل النطاق المكاني الشمالي الوحدات الإدارية (غماس، عفك، الحمزة، الدغارة، الشافعية)، وقد سجل أعلى مستويات الملاءمة المناخية في المحافظة خلال هذه الدورة. ويُعزى ذلك إلى توافر أفضل مزيج نسبي من العناصر المناخية مقارنة ببقية النطاقات المكانية، إذ كانت درجات الحرارة أقل تطرفًا من الجنوب، حيث بلغت أعلى قيمة حرارية خلال الدورة نحو (٣٨°م)، إلا أن تأثيرها في شمال القادسية كان أقل حدّة. كما اتسم النطاق المكاني بسرعات رياح أقل نسبيًا، وهو العامل الأكثر تقييدًا في هذه الدورة (ارتباط عكسي قوي($r = -0.924$ ، ما خفّض الفواقد المائية مقارنة بالمناطق الجنوبية.

وسُجّلت رطوبة نسبية أفضل نسبيًا، إذ بلغ المتوسط العام للدورة نحو (٤٤%)، وهي قيمة دون المستوى المثالي لنمو الرز، لكنها أعلى مقارنة ببقية النطاقات المكانية .كما حظي النطاق المكاني بنصيب أعلى نسبيًا من الأمطار الشتوية، رغم شحها العام، إلى جانب انخفاض تكرار العواصف الغبارية، حيث تراجع متوسطها إلى (٠.٢٥ مرة/سنة)، ما جعل الشمال أقل تأثرًا بها. وبذلك يمثل هذا النطاق المكاني النطاق المناخي الأكثر قدرة على دعم زراعة الرز بنظام SRI خلال الدورة الرابعة، رغم التراجع العام في مستويات الملاءمة مقارنة بالدورات السابقة.

النطاق المكاني الأوسط – ملاءمة متوسطة(٠.٦٥>–٠.٥٥ = MSI)

يمثل النطاق المكاني الأوسط نطاق ملاءمة متوسطة مستقرة نسبيًا، ويشمل الوحدات (سومر، المهناوية، القادسية، الشامية، الصلاحية، السنية). ويتسم هذا النطاق المكاني بظروف مناخية تقع بين المقبولة والمقيّدة، إذ سجل متوسط حرارة بلغ نحو (٢٥.٩°م)، وهي قيمة مناسبة لنمو الرز، مع غياب موجات الحر الشديدة التي تميز الجنوب.

إلا أن الأمطار كانت شحيحة للغاية، إذ انخفض متوسطها في هذه الدورة إلى نحو (٦.٩ ملم)، وهو من أخطر مؤشرات التدهور المناخي. كما ارتفعت معدلات التبخر–النتح المرجعي خلال الصيف لتصل إلى (٧.٣٩ ملم/يوم)، ما زاد من الطلب المائي. وسُجلت سرعات رياح أعلى من المستوى المثالي بمتوسط (٢.٢٧ م/ثا)، مع ارتباط عكسي قوي مع مؤشر الملاءمة، وهو ما شكّل عامل ضغط واضحًا على كفاءة تطبيق نظام .SRI وبناءً على ذلك، يبقى النطاق المكاني الأوسط ملائمًا بدرجة متوسطة للزراعة، لكنه يتطلب إدارة دقيقة للري من حيث التوقيت والكميات وتقليل فاقد الرطوبة.

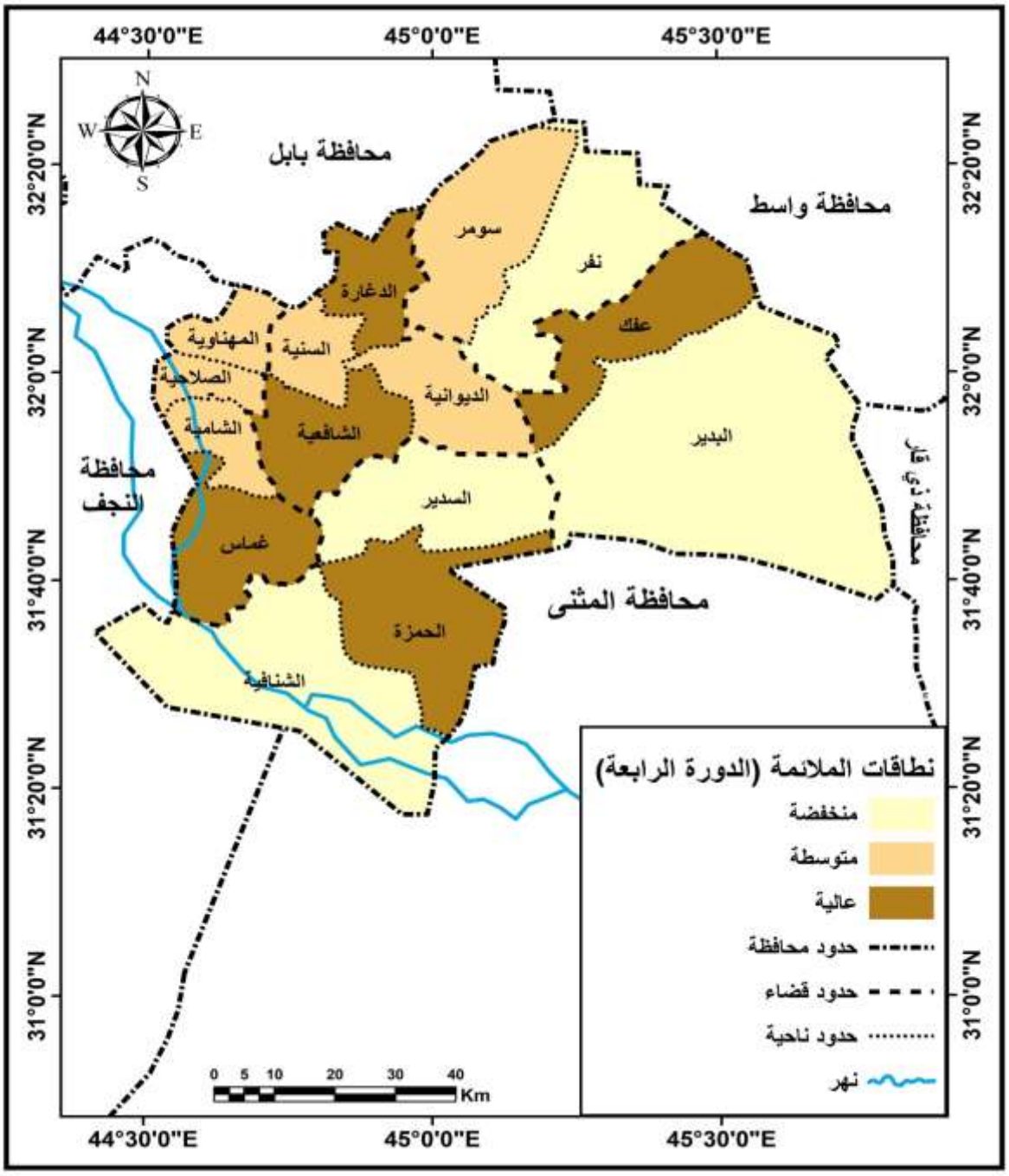
النطاق المكاني الجنوبي – ملاءمة منخفضة(٠.٥٥>–٠.٤٥ = MSI)

يشمل النطاق المكاني الجنوبي الوحدات الإدارية (نفر، الشنافية، البدير، السدير)، وجميعها وقعت ضمن أدنى مستويات الملاءمة المناخية خلال الدورة الرابعة. ويُعزى ذلك إلى الارتفاع الأكبر في درجات الحرارة مقارنة بـ النطاقين المكانيين الشمالي والأوسط، إذ كانت موجات الحر أكثر حدّة، ما رفع الضغط الحراري على النبات. كما كانت الرياح أشد تأثيرًا في هذا النطاق المكاني، وهي العامل الأكثر تقييدًا خلال الدورة الرابعة، حيث ظهر تأثيرها الإحصائي
واضحًا .(Sig = ٠.٠٠٣) وتزامن ذلك مع شبه انعدام الأمطار، فضلًا عن الارتفاع الحاد في معدلات التبخر–النتح المرجعي، ما أدى إلى زيادة فقد الرطوبة من التربة والنبات. كما أسهمت طبيعة التربة الأكثر جفافًا وهشاشة في تقليل قدرتها على الاحتفاظ بالمياه. وتكشف هذه المعطيات أن النطاق المكاني الجنوبي يمثل النطاق الأضعف ملاءمة لتطبيق نظام الزراعة الذكية(SRI) ، وأن محافظة القادسية أصبحت خلال هذه الدورة أقل ملاءمة مناخيًا مقارنة بالدورات الثلاث السابقة. كما أدى تزايد الإجهاد الحراري إلى تقليل كفاءة العمليات الفسيولوجية للنبات، ولا سيما خلال مراحل النمو الحرجة. وتسهم شدة الرياح في زيادة معدلات التبخر وفقد الماء، مما يفاقم من حدة العجز المائي في التربة. كما يؤدي ضعف الرطوبة الأرضية إلى تراجع قدرة النبات على امتصاص العناصر الغذائية بشكل كفوء. وتؤكد هذه الظروف مجتمعة ضرورة تبني استراتيجيات تكيفية متقدمة لضمان استمرارية الإنتاج الزراعي في هذا النطاق.

جدول (٦٥) نطاقات الملاءمة المناخية لنظام الزراعة الذكية (SRI) في محافظة القادسية خلال الدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)

رقم	الوحدة الإدارية	مدى (MSI)	ملاءمة (SRI)
١	القادسية	أقل من 0.55 – 0.65	متوسطة
٢	غماس	0.65 – 0.75	عالية نسبيًا
٣	عفك	0.65 – 0.75	عالية نسبيًا
٤	نفر	أقل من 0.45 – 0.55	منخفضة
٥	الحمزة	0.65 – 0.75	عالية نسبيًا
٦	الشامية	أقل من 0.55 – 0.65	متوسطة
٧	الشنافية	أقل من 0.45 – 0.55	منخفضة
٨	سومر	أقل من 0.55 – 0.65	متوسطة
٩	البدير	أقل من 0.45 – 0.55	منخفضة
١٠	المهناوية	أقل من 0.55 – 0.65	متوسطة
١١	الصلاحية	أقل من 0.55 – 0.65	متوسطة
١٢	السدير	أقل من 0.45 – 0.55	منخفضة
١٣	الدغارة	0.65 – 0.75	عالية نسبيًا
١٤	السنية	أقل من 0.55 – 0.65	متوسطة
١٥	الشافعية	0.65 – 0.75	عالية نسبيًا

المصدر: بالاعتماد على البيانات المناخية الواردة في الجداول (٢٣)، (٢٩)، (٣٣)، (٣٥)، (٣٧)، (٣٩)، (٤١)، والخاصة بمحطة الديوانية للدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣).



خريطة (١٠) التوزيع الجغرافي لمستوى الملاءمة المناخية بدلالة مؤشر (MSI) لنظام الزراعة (SRI) في محافظة القادسية ضمن الدورة المناخية الرابعة (٢٠١١–٢٠٢٣)

المصدر – بالاعتماد على قاعدة بيانات جدول (٦٥)

الفصل الخامس

سيناريوهات التغير المناخي وتقييم بدائل التكيف المناخي لنظام تكثيف زراعة الرز (SRI) حتى عام ٢٠٥٠

تمهيد

يتضمن هذا الفصل عرض سيناريوهات التغير المناخي المستقبلية واستشراف انعكاساتها الزراعية في محافظتي النجف والقادسية حتى عام ٢٠٥٠، بالاستناد إلى السيناريوهات العالمية المعتمدة من الفريق الحكومي الدولي لتغير المناخ (IPCC) ضمن المسارات الاجتماعية والاقتصادية المشتركة .(SSPs) ويهدف الفصل إلى محاكاة أثر التغيرات المناخية المتوقعة على المتغيرات المحدِّدة لكفاءة نظام تكثيف زراعة الرز(SRI) و تقييم بدائل التكيف المناخي الأكثر توافقًا مع الخصائص المناخية والهيدرولوجية في محافظتي النجف والقادسية[١] اذ يُعدّ إدماج نظام SRI في تحليل السيناريوهات المناخية خطوة جوهرية لإعادة هندسة العلاقة بين الموارد المائية والإنتاج الزراعي في منطقة البحث ، حيث تشير التوقعات إلى ارتفاع متوسط درجة الحرارة بمقدار ١.٨–٢.٣°م، وتراجع الإيرادات المائية بنسبة ٢٥–٣٠% خلال العقود الثلاثة المقبلة [٢]. لذا، فإن بناء السيناريوهات المناخية الزراعية المحلية يُمكّن من تحديد البدائل الأنسب للتكيف الذكي مع المناخ من خلال تقييم السيناريوهات وفقا للمعايير الأربعة ضمن منطقة البحث والمتمثلة بالكفاءة الإنتاجية، كفاءة استعمال المياه، الكفاءة الاقتصادية للتكلفة، والاستدامة البيئية والاجتماعية [٣] يعتمد الفصل منهجيًا على مصفوفة القرار متعددة المعايير (MCDA) لقياس المفاضلة بين البدائل الناتجة من تقييم كل سيناريو وفقا لكل معيار من المعايير سابقة الذكر ، مستندًا إلى نتائج التحليل المكاني–الزماني للفصل الرابع. وبهذا، يتحول هذا الفصل إلى أداة استشرافية لتحديد البدائل الأكثر كفاءة واستدامة في ظل سيناريوهات الاحتباس الحراري المستقبلية، بما يسهم في تحقيق الأمن المائي والغذائي ضمن منطقة البحث لغاية ٢٠٥٠ [٤]

(١) الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي. تقرير التغير المناخي في العراق (١٩٨٠–٢٠٢٤). بغداد: وزارة النقل، ٢٠٢٤، ص ١٥–٢٠.

(٢)Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), AR٦ Climate Change 2021: The Physical Science Basis, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2021, pp. 1450–1458.

(٣)Uphoff, N.; Kassam, A., "System of Rice Intensification and Sustainable Agriculture," Sustainability, MDPI, 2020, pp. 12–16.

(٤)FAO, Climate-Smart Agriculture Sourcebook, FAO Publishing, Rome, 2021, pp. 110–120.

المصفوفة التحليأتية المقترحة (MCDA)

تُعدّ المصفوفة التحليأتية متعددة المعايير – (Multi-Criteria Decision Analysis MCDA) الأداة الأساسية التي يعتمد عليها هذا الفصل في تقييم بدائل التكيف المناخي لنظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في محافظتَي النجف والقادسية وفقا للسيناريوهات التي تمثل التغيرات المناخية المستقبلية بهدف تحقيق توازن كمي بين الأداء الزراعي والاقتصادي والبيئي والاجتماعي، لكل بديل من خلال تحويل المؤشرات النوعية إلى قيم رقمية قابلة للمقارنة والمفاضلة بين البدائل المختلفة.

تقوم فكرة المصفوفة على مبدأ التقييم النسبي للأهمية، إذ يتم إسناد وزن وزني (W_i) لكل معيار بحسب درجة تأثيره على استدامة النظام الزراعي في ظل التغيرات المناخية ضمن منطقة البحث . وقد استُخدم في ذلك منهج التحليل الهرمي المقارن – (Analytic Hierarchy Process AHP) الذي أشار إليه *Thomas Saaty* كإطار لتحديد الأولويات في النظم المعقدة .كما اعتمد في تحديد الأوزان على نتائج المسوح الميدانية لدراسات سابقة، واستطلاعات الخبراء الزراعيين في النجف والقادسية، وعلى التقارير الصادرة عن منظمة الأغذية والزراعة (FAO) وهيئة الأنواء الجوية والرصد الزلزالي في العراق لعام ٢٠٢٤، والتي أوضحت أن كفاءة استعمال المياه تمثل العنصر الأكثر حساسية في الزراعة العراقية الحديثة، تليها الكفاءة الإنتاجية الزراعية، ثم الكفاءة الاقتصادية للتكلفة، وأخيرًا الاستدامة البيئية والاجتماعية.[١]

ويُوضح الجدول (٦٦) تفاصيل المعايير الأربعة التي بُنيت عليها المصفوفة من حيث الرمز والوحدة والمؤشر والنطاق النموذجي المستخدم في التقييم، وهي تشكل الإطار العلمي الذي تُقاس به جميع السيناريوهات المناخية اللاحقة.

(١) عبد الكريم، فاضل حسين، أساليب اتخاذ القرار متعدد المعايير وتطبيقاتها في الدراسات الجغرافية والبيئية، بغداد: دار الكتب العلمية، ٢٠١٨، ص ١٢١–١٤٥.

الجدول (٦٦): مصفوفة المعايير المعتمدة في تقييم سيناريوهات التغير المناخي الناتجة عن الاحتباس الحراري لطرح البدائل والتكيف المناخي لنظامSRI ضمن منطقة البحث

المعيار	الرمز	الوحدة	المؤشر العلمي	الوزن الوزني(W_i)	النطاق النموذجي (الحد الأدنى – الأعلى)	المصادر الرئيسة
الكفاءة الإنتاجية الزراعية	**APE**	طن/هكتار	إنتاجية وحدة المساحة تحت نظامSRI	0.25	3.6 – 5.6	منظمة الأغذية والزراعة(FAO, ٢٠٢١) ؛ نيشيدا، ١٩٨١؛ خرفار، ٢٠١٩
كفاءة استعمال المياه	**WUE**	كغ/م^3	إنتاجية وحدة الماء (Parity–WUE)	0.30	1,050 – 1,580	الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي، ٢٠٢٤؛ Stoopوآخرون، ٢٠١٩
الكفاءة الاقتصادية للتكلفة	**ECE**	دولار/كغ	العائد الصافي لكل وحدة تكلفة	0.20	0.45 – 0.80	Donatوآخرون، ٢٠٢٠؛ منظمة الأغذية والزراعة، ٢٠٢٣
الاستدامة البيئية والاجتماعية	**ESSI**	مؤشر مركب	الموازنة بين الانبعاثات والدخل الزراعي	0.25	7.0 – 9.1	الهيأة الحكومية الدولية لتغير المناخ(IPCC, ٢٠٢١) ؛ باقر، ٢٠٢٢؛Uphoff ، ٢٠٢٠

المصدر: الباحث اعتماداً على تقارير منظمة الأغذية والزراعة(FAO, ٢٠٢١)[١] ، والهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي وزارة النقل والمواصلات (٢٠٢٤)[٢]، والهيأة الحكومية الدولية لتغير المناخ.(IPCC, ٢٠٢١)[٣]

[١] تقارير منظمة الأغذية والزراعة(FAO, ٢٠٢١)
[٢] الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي وزارة النقل والمواصلات (٢٠٢٤)
[٣] والهيئة الحكومية الدولية لتغير المناخ.(IPCC, ٢٠٢١)

تُمثل هذه المعايير الأربعة منظومة تقييم متكاملة كمّية ونوعية، تسمح بتقييم علمي دقيق لكل سيناريو من سيناريوهات التغير المناخي (SSP٢–٤.٥، SSP٥–٨.٥، SSP٣–٧.٠)، إذ يمكن من خلالها:

إجراء مقارنة موضوعية بين بدائل التكيف الزراعي المقترحة (SRI الكامل، SRI المحلي، SRI مع التقنيات الذكية). و تطبيق المعادلات الوزنية داخل مصفوفة القرار متعدد المعايير (MCDA) باستعمال خوارزميات مثل Linear Combination (WLC Weighted) أو TOPSIS. دمج النتائج مع طبقات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لإنتاج خرائط الملاءمة المناخية–المكانية الدقيقة. بناء نموذج علمي تطبيقي قابل للتكرار لاتخاذ القرار الزراعي الذكي في العراق حتى عام ٢٠٥٠.

تُظهر المصفوفة أن قياس كفاءة النظم الزراعية في ظل التغير المناخي يتطلّب نهجًا تكامليًا لا يكتفي بمعيار واحد، بل يدمج بين العديد من المعايير التي بموجبها تقيم السيناريوهات والمتمثلة بالإنتاجية، وكفاءة استعمال الماء، والكفاءة الاقتصادية للتكلفة، والاستدامة البيئية والاجتماعية في منظومة واحدة. اذ تؤكد الدراسات الصادرة عن منظمة الأغذية والزراعة (FAO) أن هذا التكامل يمكّن الباحثين من تطوير نماذج مفاضلة أكثر واقعية لتقييم أثر السيناريوهات المناخية. كما يُتيح عملية دمج مخرجات المصفوفة مع تقانات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في بناء خرائط رقمية للملاءمة الزراعية تُظهر التباين المكاني للقدرة الإنتاجية في محافظتي النجف والقادسية ، مما يساعد صانعي القرار على توجيه خطط التوسع الزراعي نحو المناطق الأعلى كفاءة واستدامة. وعليه، فإن المصفوفة التحليلأتية تُعدّ الأساس المنهجي الذي سيُبنى عليه تحليل السيناريو الأول (SSP٢–٤.٥) وبقية السيناريوهات المناخية اللاحقة، لتحديد البدائل التكيفية المثلى لنظام تكثيف زراعة الرز في أفق عام ٢٠٥٠.

٥-١- تقييم السيناريو الأول (SSP٢-٤.٥) وفقاً للمعايير بدلالة مصفوفة (MCDA)

يمثل السيناريو المناخي المعتدل (SSP٢–٤.٥) احد السيناريوهات المطروقة لقراءة المناخ في العراق خلال العقود القادمة، إذ يتوقع أن تشهد محافظتا النجف والقادسية ارتفاعًا في معدلات درجات الحرارة السنوية بمقدار يتراوح بين (١.٨–٢.٣) درجة مئوية، مع تراجع معدلات الأمطار إلى حدود (٧٠–٨٠) ملم سنويًا، وما يترتب على ذلك من وانخفاض الإيرادات المائية بنسبة تصل إلى (٣٠%) [١]، هذه التغيرات المناخية ستؤثر بصورة مباشرة في الإنتاج الزراعي التقليدي لمحصول الرز الذي يعتمد على الغمر الكامل للمياه، الذي يُعد من أكثر المحاصيل تأثراً بالتغير الحراري وما يترتب على ذلك من تغير في المحتوى الرطوبي للتربة .

٥-١-١- معيار الكفاءة الإنتاجية الزراعية (APE)

يعد معيار(APE) من المعايير التي يمكن الاعتماد عليها لتقييم السيناريو الأول على اعتبار ان هذا المعيار يحدد نوع العلاقة بين إنتاجية وحدة المساحة ومقدار الموارد المائية والطاقة المستهلكة [٢]. لذا تشير الدراسات الحديثة إلى أن الأنظمة الزراعية التي تعتمد على تحسين التهوية الجذرية وتنظيم الري تحقق زيادات في الغلة تتراوح بين (٢٠–٣٠%) مقارنة بالأنظمة التقليدية [٣]

وقد أظهرت المؤشرات الإحصائية في قضاء المشخاب وناحية الشنافية أن تطبيق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) بالاقتران مع الري المتناوب الآمن (Safe–AWD) لنظام التكثيف الزراعي (SRI) أدى إلى زيادة في الغلة بلغت (١.١ طن/هكتار)، مع خفض استهلاك المياه بنسبة (٣٠%)، وتحسين الكفاءة المائية والإنتاجية في آنٍ واحد [٤]، كما بيّنت دراسات أخرى أن هذا النظام **(SRI)** يسهم في خفض انبعاثات غاز الميثان بنسبة تصل إلى (٥٠%)، وهو ما يجعله خيارًا بيئيًا واقتصاديًا مميزاً [٥]

ومن أجل تحديد البديل الافضل والأكثر ملاءمة مع خصائص عناصر المناخ ضمن السيناريو المناخي المعتدل، تم تحليل أربعة بدائل رئيسة باستعمال منهج مصفوفة القرار متعددة المعايير (MCDA)، وهي:

---

(١) الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي. التقرير الوطني للتغير المناخي في العراق (١٩٨٠–٢٠٢٤). بغداد: وزارة النقل، ٢٠٢٤، ص. ٤٥–٤٧.

(٢) نجم، فاضل محمد. كفاءة النظم الزراعية في البيئات الجافة. جامعة بغداد، كلية الزراعة، ٢٠٢١، ص. ٨٠–٨٣.

(٣)FAO ،*Climate-Smart Agriculture Sourcebook* ،FAO Publishing ،Rome ،2021 ،pp. 212–215

(٤)IRRI (International Rice Research Institute) ،*Alternate Wetting and Drying in Philippine Rice Production* ،Technical Bulletin No. 17 ،2013 ،pp. 9–12.

(٥) LaHue, G. T.; Chaney, R. L.; Linquist, B. A., "Alternate Wetting and Drying in High-Yielding Rice Systems," *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 229, 2016, pp. 30–39.

١- نظام SRI مع الري المتناوب الآمنSafe–AWD) .

٢- نظام SRI دون ضبط دوري للرطوبة.

٣- نظام الغمر الكامل التقليدي.

٤- نظام SRI مع حصاد مياه الأمطار.

ويُوضح الجدول (٦٧) نتائج المفاضلة الكمية بين هذه البدائل وفق معيار الكفاءة الإنتاجية الزراعية.

جدول (٦٧): المفاضلة بين البدائل الزراعية وفق معيار الكفاءة الإنتاجية الزراعية (APE) في ظل السيناريو المناخي المعتدل(٤.٥–SSP٢)

البديل الزراعي	وصف البديل	الكفاءة المائية (%)	استقرار الغلة (%)	خفض انبعاثات الميثان(%)	درجة التقييم النهائي (100)	الترتيب
A – SRI + Safe–AWD	نظام تكثيف زراعة الرز مع الري المتناوب الآمن	25–30	±3	50	88.3	1
دون ضبط دوري SRI – **B**	تكثيف تقليدي مع تباين في الرطوبة الجذرية	15–18	±7	25	74.6	2
الغمر الكامل – **C**	الطريقة التقليدية المعتمدة على الري المستمر	<10	±12	0	58.2	3
حصاد مياه + SRI – **D** الأمطار	تكثيف مع تعزيز مصادر مائية محلية محدودة	20–25	±5	40	81.5	2*

المصدر :بالاعتماد على (١)بيانات المعهد الدولي لبحوث الرز(IRRI) ، ٢٠١٣؛ LaHue وآخرين، ٢٠١٦؛ منظمة الأغذية والزراعة(FAO) ، ٢٠٢١؛ الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي، ٢٠٢٤. (٢) وزارة الموارد المائية العراقية ،بيانات غير منشورة لمحافظتي النجف والقادسية .

تشير نتائج الجدول (٦٧) إلى أن النظام المركب (SRI + Safe–AWD)هو الأكثر كفاءة ضمن خصائص عناصر المناخ للسيناريو الأول (SSP٢–٤.٥) ، إذ سجل أعلى درجة تقييم بلغت (٨٨.٣ من ١٠٠)، مما يعكس توازنًا مثاليًا بين الكفاءة المائية واستقرار الغلة ، الإنتاجية لمحصول الرز وتقليل الانبعاثات، أما النظام التقليدي القائم على الغمر الكامل ، فقد أظهر انخفاضًا واضحًا في الكفاءة بالمقارنة مع نظام (SRI) بسبب الفاقد الكبير في المياه وضعف مقاومة النبات للإجهاد الحراري لذا يُعد نظام SRI + Safe–AWDالخيار الأمثل للتكيف المناخي في منطقة البحث لغاية عام ٢٠٥٠، لكونه يجمع بين الإنتاجية العالية، والكفاءة المائية، والاستدامة البيئية، مما ينسجم مع توجهات الزراعة الذكية مناخيًا في مواجهة الاحتباس الحراري [١]

٥-١-٢- معيار كفاءة استعمال المياه(WUE)

تُعدّ كفاءة استعمال المياه (Water Use Efficiency – WUE) أحد أهم المعايير الاستراتيجية التي يمكن من خلالها تقييم سيناريوهات تغير المناخ المستقبلية. ولاسيما السيناريو المعتدل(SSP٢–٤.٥) ، الذي يتوقع أن تنخفض فيه الإيرادات المائية السطحية بنسبة (٣٠%)، ويرتفع معدل التبخر–النتح بنسبة (١٢–١٥%)، مع تراجع الرطوبة النسبية بمقدار (٤–٥%) في محافظتَي النجف والقادسية، ويكسب هذا المعيار فاعليته على اعتباره ركيزة رئيسة لتقدير قدرة النظام الزراعي على مواجهة الإجهاد المائي والمحافظة على الإنتاجية [٢]

تشير نتائج التحليل المكاني–الزماني في الفصول السابقة إلى أن الطلب المائي لمحصول الرز سيرتفع بنسبة تقارب (٢٠–٢٥%) خلال المدة (٢٠٢٥–٢٠٥٠)، وهو ما يجعل تقنيات الري التقليدي غير مجدية من حيث الكفاءة أو الاستدامة. لذلك يبرز نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) بوصفه خيارًا علميًا واقعيًا قادرًا على رفع كفاءة استعمال المياه بنسبة تتراوح بين (٣٥–٤٠%) مقارنة بطريقة الغمر الكامل. [٣]

وقد بينت التجارب التطبيقية في محطات الأبحاث الزراعية في قضاء المشخاب وناحية الشنافية ضمن منطقة البحث أن اعتماد نظام الري المتناوب الآمن (Alternate Wetting and Drying – AWD) ضمن نظام تكثيف زراعة الرز SRI يسهم في تناقص مقدار فاقد المياه نتيجة التبخر والرشح بنسبة تتراوح بين (٣٠–٣٥%)، كما يرفع إنتاجية وحدة المياه إلى نحو

---

(١)Uphoff, N.; Kassam, A., "System of Rice Intensification and Sustainable Agriculture," *Sustainability*, MDPI, 2020, pp. 14–16.

(٢) الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي. التحليل المناخي السنوي للعراق (١٩٨٠–٢٠٢٤). بغداد: وزارة النقل والمواصلات ،(بيانات غير منشورة)، ٢٠٢٤، ص. ٥١–٥٣.

(٣) المصدر نفسة، ص. ٣٧–٤٠.

١.٤كغ رز/م^3 مقابل ٠.٨كغ/م^3 في الزراعة التقليدية [١]. وتشير دراسة حديثة للهيئة العامة للموارد المائية إلى أن تطبيق هذه التقنية ضمن خطة التكيف الوطني من شأنه أن يوفر ما يقارب ٢٠٠مليون م^3 سنويًا من المياه في محافظات الفرات الأوسط بحلول عام ٢٠٥٠ [٢]

ولغرض تحديد البديل الزراعي الأكثر كفاءة مائيًا في ظل السيناريو٤.٥–SSP٢ ، تم تحليل أربعة بدائل رئيسة باستعمال مصفوفة القرار متعددة المعايير(MCDA) بهدف تحقق متطلبات التكيف المناخي لنظام تكثيف زراعة الرزSRI في ظل التغير المناخي الناتج عن الاحتباس الحراري ،ويمكن ايجاز تلك البدائل بما يأتي :-

١- البديل الأول :- نظام(SRI + AWD)الري المتناوب الآمن.

٢- البديل الثاني :- الزراعة الذكية مناخيًا (CSA) باستعمال الحساسات الرقمية.

٣- البديل الثالث :- التناوب المحصولي بالبقوليات.

٤- البديل الرابع :- النظام التقليدي بالغمر الكامل.

ويُوضح الجدول (٦٨) نتائج المفاضلة الكمية بين هذه البدائل وفق معيار كفاءة استعمال المياه.

(١) وزارة الموارد المائية. خطة التكيف الوطني للقطاع الزراعي في العراق. بغداد، ٢٠٢٣، ص. ٣٧–٤٠..

(٢)Bouman, B. A. M., "Water Management in Irrigated Rice: Coping with Water Scarcity," *Agricultural Water Management*, Elsevier, 2007, pp. 98–110.

جدول (٦٨): تقييم بدائل إدارة المياه SRI و CSA والغمر الكامل استنادًا إلى خفض الاستهلاك وكفاءة الماء والغلة

البدائل ـ المتغيرات	خفض استهلاك المياه(%)	كفاءة الماء (كغ/م^3)	الغلة النسبية (%)	درجة التقييم (100)	التسلسل الترجيحي للبدائل
A – SRI + AWD	35–40	1.4	100	**91.2**	**1**
B – الزراعة الذكية (CSA + Sensors)	30	1.2	95	83.5	2
C – التناوب المحصولي بالبقوليات	20	1.0	90	78.0	3
D – الغمر الكامل التقليدي	0	0.8	85	66.5	4

المصدر: بالاعتماد على نتائج التحليل المناخي للفصل الرابع وبيانات التجارب الميدانية في محافظتَي النجف والقادسية.

تُظهر نتائج الجدول (٦٨) أن النظام المركب SRI + AWDحقق أعلى درجة كفاءة مائية، إذ أظهر قدرة واضحة على تقليل الاستهلاك المائي بنسبة تجاوزت (٣٥%)، ورفع إنتاجية وحدة الماء إلى أعلى مستوى بلغت (١.٤ كغم/م^3) بالمقارنة بالبدائل الأخرى . ويأتي البديل الثاني (الزراعة الذكية بالحساسات الرقمية) ليحتل المرتبة الثانية لما يوفره من دقة في توقيت الري، لكنه يتطلب استثمارات مالية وتقنية مرتفعة. أما النظام التقليدي بالغمر الكامل فقد كان الأقل كفاءة بسبب الهدر الكبير في المياه وارتفاع خسائر التبخر. تؤكد هذه النتائج أن اعتماد تقنيات SRI و AWDمعًا يمثل أفضل استراتيجية للتكيف المائي ضمن منطقة البحث خلال العقود القادمة، لأنه يتضمن رؤية شمولية لمتغيرات الاقتصاد في استهلاك المياه واستقرار الإنتاج، ويعزز مفهوم الزراعة الذكية منخفضة البصمة المائية ضمن خطط الأمن المائي الوطني [١]

(١)الخفاجي، م. ع. تقييم كفاءة استعمال المياه في نظم الري الحديثة في وسط العراق. جامعة الكوفة، كلية الزراعة، ٢٠٢٢، ص. ٦٢–٦٦.

٥-١-٣- معيار الكفاءة الاقتصادية للتكلفة(ECE)

تُعدّ الكفاءة الاقتصادية للتكلفة (Economic Cost Efficiency – ECE) من المعايير الجوهرية في تقييم نظم الزراعة الذكية مناخيًا ولاسيما نظام SRI ، إذ يعبّر هذا المعيار عن قدرة النظام الزراعي على تحقيق عائد إنتاجي متزايد مقابل أقل تكلفة تشغيأتية ممكنة. وفي ظل السيناريو المناخي المعتدل(SSP٢–٤.٥) ، الذي يتوقع أن ترتفع فيه تكاليف التشغيل الزراعي بنسبة تتراوح بين (٢٠–٣٠%) نتيجة زيادة الطلب على المياه والطاقة وارتفاع أجور العمالة، يصبح هذا المعيار أداة حاسمة لتحديد الجدوى الاقتصادية لأنماط الزراعة المختلفة [١]

تشير نتائج الفصل الرابع إلى أن الزراعة التقليدية المعتمدة على الغمر الكامل ستواجه ارتفاعًا حادًا في النفقات التشغيأتية بسبب زيادة استهلاك الوقود اللازم لضخ المياه وتكرار الري، ما ينعكس سلبًا على العائد الصافي. وعلى النقيض، فإن تطبيق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) بالاقتران مع أسلوب الري المتناوب الآمن (AWD) يؤدي إلى تقليل عدد الريّات بنسبة (٣٠–٣٥%)، الأمر الذي ينعكس في انخفاض مباشر في كلفة الطاقة التشغيأتية بنسبة (٢٥%) [٢]. كما يسهم هذا النظام في زيادة العائد الصافي للهكتار بمقدار يتراوح بين (٢٥٠–٣٠٠) دولار، نتيجة تحسن الكفاءة الإنتاجية وتراجع فاقد المياه.

إدخال أساليب الإدارة المتكاملة للمياه والطاقة ضمن نظام SRI في منطقة البحث يمكن ان يؤدي إلى زيادة متوسط الربحية للهكتار من (١,٨٥٠) إلى (٢,١٥٠) دولار، مع تقليل النفقات التشغيأتية بنسبة (٢٨%) [٣]. ولهذا تؤكد تقارير منظمة الأغذية والزراعة (FAO) أن اعتماد الزراعة الذكية منخفضة الكلفة في أقاليم المناخ الجاف يمكن ان يؤدي إلى رفع الكفاءة الاقتصادية للمزارعين بنسبة (١٥–٢٠%) وتحسين مؤشرات الأمن الغذائي المحلي [٤]

ولغرض المقارنة الكمية بين البدائل الزراعية ضمن السيناريو٤.٥–SSP٢ ، تم تطبيق منهجية مصفوفة القرار متعددة المعايير (MCDA) على أربعة بدائل رئيسة:

١- البديل الأول :- نظام(SRI + AWD)الري المتناوب الآمن.

٢- البديل الثاني :- نظام الزراعة الذكية بالحساسات الرقمية.(CSA)

٣- البديل الثالث :- نظام التناوب المحصولي بالبقوليات.

---

(١) الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي. تحليل المناخ الزراعي في العراق (١٩٨٠–٢٠٢٤). بغداد: وزارة النقل، بيانات غير منشورة ، ٢٠٢٤، ص. ٥٥–٥٧.

(٢) Al-Hasnawi, M.A. Evaluating Economic Efficiency of Rice Production under SRI in Middle Iraq. Iraqi Journal of Agricultural Economics, Vol. 15(3), 2021, pp. 42–.47

(٣) وزارة الزراعة العراقية. التقرير الاقتصادي الزراعي السنوي. بغداد، ٢٠٢٣، ص. ٦١–٦٥.

(٤) FAO. Economic Performance of Climate-Smart Agriculture in Arid Regions. Rome: FAO Publishing, 2022, pp. 88–.92

٤- البديل الرابع :- النظام التقليدي بالغمر الكامل.

ويُوضح الجدول (٦٩) نتائج المفاضلة الرقمية بين هذه البدائل وفق معيار الكفاءة الاقتصادية للتكلفة ضمن منطقة البحث .

جدول (٦٩): المفاضلة الرقمية للبدائل الزراعية وفق معيار الكفاءة الاقتصادية للتكلفة في زراعة الرز

البدائل – المتغيرات	تكلفة التشغيل ($/هكتار)	العائد الصافي ($/هكتار)	الكفاءة الاقتصادية (%)	درجة التقييم (100)	التسلسل الترجيحي للبدائل
A – SRI + AWD	980	2,150	68	**89.6**	**1**
B – الزراعة الذكية (CSA + Sensors)	1,240	2,000	58	81.4	2
C – التناوب المحصولي بالبقوليات	1,100	1,780	54	77.8	3
D – الغمر الكامل التقليدي	1,400	1,520	45	70.2	4

المصدر : بالاعتماد على

(١) بيانات الفصل الرابع،

(٢) تقارير وزارة الزراعة العراقية (٢٠٢٣)، ومنظمة الأغذية والزراعةFAO) ، ٢٠٢٢،

(٣) دراسة.(٢٠٢١) Al-Hasnawi

تُشير نتائج الجدول (٦٩) إلى أن النظام المركب SRI + AWD * هو الأعلى كفاءة من حيث التكلفة، إذ يحقق عائدًا صافيًا قدره (٢,١٥٠ دولار/هكتار) مع خفض تكاليف التشغيل إلى أقل من (١,٠٠٠ دولار/هكتار) ، في حين جاءت أنظمة الزراعة الذكية

والتناوب المحصولي* في مراتب وسطية، بينما كان النظام التقليدي أقلها كفاءة بسبب ارتفاع كلفة الطاقة والمياه، ويمكن تفسير هذا الميزة الاقتصادية بقدرة النظام على تحقيق إنتاجية مستقرة بموارد أقل، ما يجعله نموذجًا مثاليًا للزراعة المستدامة منخفضة التكلفة في البيئات الجافة.

كما يتضح من التحليل أن تحسين الكفاءة الاقتصادية لا يقتصر على تحقيق الأرباح فقط، بل ينعكس أيضًا على تعزيز التنمية الريفية، إذ يؤدي انخفاض تكاليف الإنتاج إلى زيادة دخل

المزارعين ، وما يترتب على ذلك من تحسين للقدرة الشرائية في المجتمع الريفي ، ما يخلق دورة تنموية متكاملة بين الأمن الغذائي والاقتصاد المحلي. وبذلك، فإن اعتماد نظام SRI + AWD في محافظتَي النجف والقادسية يُسهم في بناء اقتصاد زراعي مرن ومتكيف مناخيًا قادر على الاستمرار في ظل التغيرات البيئية المتوقعة حتى عام ٢٠٥٠ [١]

٥-١-٤ معيار الاستدامة البيئية والاجتماعية(ESSI)

يُركّز معيار الاستدامة البيئية والاجتماعية (ESSI) على توازنٍ ثلاثيّ الأبعاد: يتمثل في المساهمة في تناقص الانبعاثات (خصوصًا الميثان من حقول الرز)، وتحسين صحة التربة والتنوع الحيوي، وتعظيم المنافع الاجتماعية و الاقتصادية للمزارعين. وهذا له أهمية كبيرة ضمن محافظتَي النجف والقادسية ، حيث تتزايد الضغوط الحرارية والمائية من جهة، وتتزايد الحاجة لخيارات إنتاج أقلّ بصمة كربونية من جهة أخرى في ظل خصائص المناخ ضمن السيناريو الأول ، يصبح هذا المعيار هو المتحكم في درجة الملاءمة للبدائل الزراعية على المدى الطويل [٢] لذا تُظهر الأدلة العلمية أن الري المتناوب الآمن (AWD) ضمن نظام SRIيسهم في تناقص انبعاثات الميثان بنِسَب ملحوظة مقارنة بالغمر المستمر، بسبب دورات الجفاف الجزئي التي تحدّ من نشاط البكتيريا المولِّدة للميثان، مع الحفاظ على تهوية الجذور وتنشيط الكائنات الدقيقة المفيدة في التربة [٣]. كما تُشير تحليلات الهيأة الحكومية الدولية لتغيّر المناخ إلى أن تحسين إدارة المياه والنيتروجين في الرز من أكثر مسارات التخفيف فعاليةً في الزراعة، بشرط عدم رفع انبعاثات أكسيد النيتروس نتيجة سوء التسميد، وهو ما تُعالجه حِزم الإدارة المتكاملة (توقيت التسميد، جرعات أصغر، مخصّبات بطيئة التحلل) [٤]اجتماعيًا، يُترجم تطبيق SRI + AWDإلى منافع ملموسة في دخل المزارعين واستقرار معيشتهم عبر خفض كلفة

---

(١) كاظم صالح، حيدر. التحليل الاقتصادي لموارد المياه والطاقة في الزراعة العراقية. جامعة القادسية، كلية الإدارة والاقتصاد، ٢٠٢٠، ص. ٧٢–٧٥.

*SRI (System of Rice Intensification): نظام تكثيف زراعة الرز القائم على تقليل مياه الري وزراعة الشتلات الصغيرة بمسافات متباعدة لزيادة الإنتاجية.

AWD (Alternate Wetting and Drying): أسلوب الريّ المتناوب (جاف–رطب) الذي يسمح بجفاف التربة جزئيًا بين الريّات بهدف خفض استهلاك الماء وتقليل انبعاثات الميثان.

*التناوب المحصولي هو أن يزرع الفلاح محصولًا مختلفًا كل موسم في نفس الأرض، مثل التبديل بين: الحنطة البقوليات الخضروات الرز (حسب ملاءمة التربة والمياه).

(٢) IPCC. AR 6Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change (WGIII). Cambridge University Press, 2022، ص. 1020–1025.

(٣) Yan, X. & Akiyama, H. "Mitigation of Methane Emissions from Paddy Fields by Water Management," Environmental Science & Technology, Elsevier, 2019، ص. 55–60.

(٤) IPCC. AR ٦Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability (WGII). Cambridge University Press, 2022, pp. 716–721.

الضخ وتحسين الكفاءة المائية، إلى جانب تقليل وقت الغمر ومخاطر الأمراض النباتية، ما ينعكس على مرونة المجتمعات الريفية في مواجهة الصدمات المناخية [١].

وتؤكد التقارير الوطنية أن دمج ممارسات الزراعة الذكية مناخيًا في ضمن منطقة البحث يمكن ان يعزز فرص العمل الريفي، [٢] ولمقارنة البدائل الأربع في هذا الفصلSRI + AWD، الزراعة الذكية بالحساسات (CSA+Sensors) مع بديل تناوب بالبقوليات + SRI، والغمر الكامل التقليدي تم احتساب مؤشر ESSI* كمركّب من ثلاثة محاور :خفض الانبعاثات، صحة التربة والتنوّع، الكسب/الإنصاف الاجتماعي .ومن خلال الجدول (٧٠)يتضح نتائج المفاضلة الرقمية ضمن السيناريو الأول وفقاً لتقييم السيناريو باعتماد معيار الاستدامة البيئية والاجتماعية

[١] World Bank. Iraq – Country Climate and Development Report (CCDR). Washington, DC, ٢٠٢٢، ص. ٨٤–٨٩.

[٢] وزارة البيئة العراقية. التقرير الوطني حول غازات الدفيئة وخيارات التخفيف في القطاع الزراعي. بغداد، ٢٠٢٣، ص. ٣٣–٣٧.

***ESSI:** مؤشر يقيس درجة الإجهاد البيئي واستدامة الموارد عبر مقارنة الضغط الواقع على البيئة بقدرتها على التجدد.

جدول (٧٠): المفاضلة بين البدائل الزراعية وفق معيار الاستدامة البيئية والاجتماعية (ESSI)في ظل السيناريو المناخي المعتدل(٤.٥–SSP٢)

البدائل – المتغيرات	خفض انبعاثات الميثان (%)	صحة التربة/التنوع الحيوي (مؤشر 10)	تحسّن دخل/إنصاف اجتماعي(%)	ESSI (مؤشر 10)	التسلسل الترجيحي للبدائل
A – SRI + AWD	35–45	8.7	18–20	9.1	1
B – CSA + Sensors	20–28	8.2	14–16	8.3	2
C – SRI + تناوب بالبقوليات	22–30	8.4	12–14	8.0	3
D – الغمر الكامل التقليدي	0–5	7.2	6–8	7.1	4

المصدر: نتائج الفصل الثالث والفصل الرابع.

ومما تقدم يتضح أن البديل A (SRI + AWD) احتل المرتبة الأولى بمؤشرESSI ليبلغ ٩.١ في حين احتل البديل CSA + Sensors المرتبة الثانية ليبلغ نفس المؤشر المشار اليه ٨.٣ إذ يُحسّن القياس اللحظي للرطوبة والتسميد المُوجّه، لكن كلفته الأولية أعلى. في حين احتل البديل C تناوب بالبقوليات + SRI الثالثة من حيث البدائل لمساهمته في تحسين خصوبة التربة على المدى المتوسط بفضل البقوليات (تثبيت النيتروجين) مع أثر تخفيفيّ متوسط للانبعاثات. أما الغمر الكامل فالأضعف أداءً، لارتفاع البصمة الميثانية وضعف الأثر الاجتماعي. وتدعم هذه النتائج توصيةً عملية باعتماد البديل الأول والمتمثل بـ SRI + AWDفي مزارع النجف والقادسية ضمن حزم تدريبية وإرشادية تقلّل مخاطر N_2Oعبر إدارة ذكية للنيتروجين

٥-١-٥- المفاضلة بين البدائل الناتجة من تقيم السيناريو الأول بدلالة جميع المعايير (MCDA Integration)

تُعدّ عملية الدمج متعدد المعايير (Multi-Criteria Decision Analysis – MCDA) الأداة الختامية لتقييم السيناريو الاول إذ تهدف إلى تحديد البديل الزراعي الأكثر توافقًا واستدامة

في ظل السيناريو المناخي المعتدل .(SSP٢–٤.٥) وتقوم منهجية التحليل على جمع القيم الوزنية لكل معيار من المعايير الأربعة: الكفاءة الإنتاجية الزراعية(APE) ، كفاءة استعمال المياه(WUE) ، الكفاءة الاقتصادية للتكلفة(ECE) ، والاستدامة البيئية والاجتماعية.(ESSI) لقد تم اعتماد التحليل الخطي الوزني (Weighted Linear Combination – WLC) لاحتساب المجموع النهائي لكل بديل وفق المعادلة الآتية:

$$S_i = \sum (X_{ij} \times W_j)$$

حيث S_i هو التقييم الشامل للبديل i، وW_j الوزن النسبي للمعيار j، وX_{ij} قيمة الأداء المقاسة لذلك

تُظهر نتائج المعالجة الإحصائية لمصفوفة القرار متعدد المعايير MCDA أن المعايير الأربعة التي تم تقييم بموجبها السيناريو الأول متواصلة ومترابطة ، إذ تعكس WUE و ECE الجوانب المائية والاقتصادية للتكيف، بينما تُعبّر APE و ESSI عن الجوانب الإنتاجية والاجتماعية–البيئية. وتم تحديد الأوزان الوزنية النهائية بناءً على نتائج التحليل الهرمي المقارن(AHP) ، حيث حازت WUE على أعلى وزن (٠.٣٠)، تلتها APE و(٠.٢٥)المؤشر ESSI لكل منهما، ثم ECE بوزن (٠.٢٠) [1]أظهرت نتائج التطبيق على محافظتَي النجف والقادسية، التي تعاني من تراجع الإيرادات المائية بنسبة (٣٠%) وارتفاع التبخر–النتح بنسبة (١٥%)، أن البديل SRI + AWD هو الأعلى توافقًا بين جميع البدائل، محققًا أداءً متميزًا في كل المؤشرات الفرعية. أظهرت نتائج التطبيق على محافظتَي النجف والقادسية، التي تعاني من تراجع الإيرادات المائية بنسبة (٣٠%) وارتفاع التبخر–النتح بنسبة (١٥%)، أن البديل SRI + AWD هو الأعلى توافقًا بين جميع البدائل، محققًا أداءً متميزًا في كل المؤشرات الفرعية. ويوضح الجدول (٧١) نتائج الدمج الوزني الشامل وفق لمصفوفة القرار متعدد المعايير MCDA.

[1] وزارة الموارد المائية العراقية. تقرير تقييم كفاءة الموارد المائية في بيئة الفرات الأوسط. بغداد، ٢٠٢٣، ص. ٤٧–٥٠.

جدول (٧١): المفاضلة الشاملة بين البدائل الزراعية ضمن السيناريو المناخي المعتدل (SSP٢–٤.٥)

البديل الزراعي	APE (0.25)	WUE (0.30)	ECE (0.20)	ESSI (0.25)	المجموع الوزني (100)	الترتيب النهائي
A – SRI + AWD	88.3	91.2	89.6	91.0	**90.0**	**1**
B – CSA + Sensors	74.6	83.5	81.4	83.0	80.6	2
C – SRI + Crop Rotation	81.5	78.0	77.8	80.0	78.4	3
D – الغمر الكامل التقليدي	58.2	66.5	70.2	71.0	66.4	4

المصدر :بالاعتماد على

(١) نتائج التحليل الوزني للمعايير الأربعة.

(٢)وبيانات وزارة الزراعة (٢٠٢٣).

(٣)والهيأة العامة للأنواء الجوية (٢٠٢٤).

يتضح من الجدول (٧١) أن البديل (A) SRI + AWD جاء في المرتبة الأولى بمتوسط تقييمي (٩٠ من ١٠٠)، وهو ما يعكس قدرة النظام على تحقيق توازن فعّال بين الكفاءة المائية، والاستدامة البيئية، والإنتاجية الاقتصادية والاجتماعية. ويُفسَّر هذا البديل بدمج الإدارة المتكاملة للموارد المائية والطاقة ضمن بنية النظام، إضافةً إلى تحسين تهوية التربة والحد من انبعاثات الميثان [١] أما البديل (B)الزراعة الذكية بالحساسات الرقمية المرتبة الثانية بفضل قدرته على تحسين إدارة المياه والتسميد بدقة، غير أن كلفته الاستثمارية الأولية حدّت من ترتيبه النهائي. وجاء البديل (C) (SRI + تناوب بالبقوليات) المرتبة الثالثة، من خلال فاعليته في خصوبة التربة ورفع كفاءة النيتروجين فيها، لكنه سجل نتائج أقل في العائد الاقتصادي. في حين كان

(١))World Bank. Iraq Agriculture Modernization Report. Washington, DC, ،٢٠٢٢pp. ١٠١–١٠٦

البديل (D) المتمثل بالغمر الكامل الأضعف أداءً من جميع الجوانب، لارتفاع بصمته الكربونية وهدره المائي [١]

تعكس هذه النتائج التوجه العالمي نحو أنظمة الزراعة منخفضة البصمة الكربونية (Low Carbon Farming Systems)، والتي تجمع بين إدارة المياه والموارد بذكاء وتحقيق الجدوى الاقتصادية والاجتماعية مع الحفاظ على البيئة، وهو ما يتماشى مع توجهات الاستراتيجية الوطنية للتكيف مع تغيّر المناخ في العراق حتى عام ٢٠٥٠ [٢]

أظهرت نتائج التحليل الشامل أن السيناريو المعتدل SSP٢–٤.٥ يمثل الإطار الأكثر واقعية لتوقعات المناخ الزراعي ضمن منطقة البحث للمدة (٢٠٢٥-٢٠٥٠). وتبيّن أن النظام الزراعي المركّب SRI + AWD هو البديل الأنسب لتحقيق التوازن بين الأمن الغذائي والمائي، من خلال قدرته على تقليل استهلاك المياه بنسبة (٣٥–٤٠%)، ورفع الإنتاجية بمقدار (٢٠–٢٥%)، وخفض الانبعاثات الغازية بنحو (٤٠%). كما ساهم النظام في زيادة الكفاءة الاقتصادية وتحسين مستوى الدخل الريفي بنسبة تقارب (١٨%)، مما يجعله نموذجًا تطبيقيًا فعّالًا لدمج مبادئ الزراعة الذكية مناخيًا (CSA) في محافظتَي النجف والقادسية. وبذلك، يشكّل هذا السيناريو قاعدة أساسية لتوجيه الخطط الزراعية المستقبلية نحو الاستدامة والإدارة المتكاملة للموارد الطبيعية ضمن أهداف التنمية المستدامة [٣]

٥- ٢- تقييم السيناريو الثاني(SSP٣-٧.٠) وفقاً للمعايير بدلالة مصفوفة (MCDA)

يمثّل السيناريو الثاني (SSP٣–٧.٠) أحد أكثر المسارات المناخية تحدّيًا ضمن منطقة البحث خلال المدة المحصورة (٢٠٢٥-٢٠٥٠)، إذ يفترض هذا السيناريو بيئة عالمية تتسم بـ ضعف التعاون الدولي في قضايا المناخ، واستمرار الانبعاثات العالية لغازات الدفيئة، وتزايد الطلب المحلي على الموارد الطبيعية نتيجة النمو السكاني والتوسع الزراعي غير المستدام. ووفق تقارير الهيأة الحكومية الدولية لتغير المناخ(IPCC) ، فإن هذا السيناريو يندرج ضمن المسارات "عالية الانبعاث" التي تتجاوز فيها تراكيز ثاني أوكسيد الكربون (CO_2)حاجز ٧٠٠جزء بالمليون

---

[١] Uphoff, N., Kassam, A. System of Rice Intensification and Climate-Resilient Agriculture. Field Crops Research, Elsevier, ،٢٠٢٠pp. ١٢٠–.١٢٥

[٢] وزارة البيئة العراقية. الاستراتيجية الوطنية للتكيف مع تغيّر المناخ (٢٠٢٥–٢٠٥٠). بغداد، ٢٠٢٤، ص. ٦٦–٦٩.

[٣] FAO. Towards Water-Efficient and Climate-Smart Rice Systems in the Middle East. Rome: FAO Publishing, ،٢٠٢٣pp. ٥٣–.٥٩

بحلول عام ٢٠٥٠، ما يؤدي إلى ارتفاع حراري يُقدّر بـ(٣.٠–٣.٥°م) في المتوسط العام، ويتضاعف تأثيره في المناطق الجافة وشبه الجافة ولاسيما ضمن منطقة البحث [١]

تُظهر النماذج المناخية الإقليمية الخاصة أن محافظتَي النجف والقادسية ستواجهان تدهورًا واضحًا في الموازنة المائية وفقا لمعطيات السيناريو الثاني ، إذ ستتراجع الإيرادات الموارد المائية السطحية بنسبة تقارب (٤٠٪–٣٥)، وتتراجع معدلات الأمطار إلى ما دون (٦٠ملم/سنة) مع زيادة معدل التبخر–النتح بنحو (١٥–١٨%)، وهو ما سيؤدي إلى اتساع رقعة التصحر الزراعي وتراجع الإنتاجية في الأنظمة التقليدية [٢]. وتُشير تحليلات الهيأة العامة للأنواء الجوية إلى أن معدلات عدد الأيام شديدة الحرارة (التي تتجاوز ٤٥°م) ستتضاعف تقريبًا مقارنة بخط الأساس المناخي (١٩٨٠–٢٠١٠)، ما يرفع من احتمالية الإجهاد الحراري للمحاصيل الصيفية، وعلى رأسها محصول الرز الذي يُعد من أكثر المحاصيل استهلاكًا للماء [٣]

في ظل هذه الظروف، تتجه البحوث الزراعية نحوالتشجيع على تبني أنظمة التكيف الذكي للتكيف المناخيوالمتمثلة باعتماد نظام تكثيف زراعة الرز(SRI) ، لما يتمتع به من قدرة على خفض استهلاك المياه بنسبة تصل إلى ٣٥ %وتحسين تهوية التربة وتقليل انبعاثات الميثان، مما يجعله خيارًا استراتيجيًا لمجابهة السيناريوهات المناخية القاسية [٤]. ومن هنا، يهدف تحليل السيناريو الثاني إلى اختبار كفاءة وملاءمة الأنظمة الزراعية الأربعة SRI، (SRI + AWD دون ضبط رطوبي، الغمر الكامل، SRIمع التناوب بالبقوليات) ضمن بيئة ٧.٠–SSP٣عبر أربعة معايير رئيسة هي:

١-المعيار الأول :- الكفاءة الإنتاجية الزراعية(APE) ،

٢-المعيار الثاني :- كفاءة استعمال المياه(WUE) ،

٣-المعيار الثالث :- الكفاءة الاقتصادية للتكلفة(ECE) ،

٤-المعيار الرابع :- الاستدامة البيئية والاجتماعية.(ESSI)

وسيتم تقييم السيناريو الثاني **(SSP٣–٧.٠)** وفقا لاربعة معايير سالفة الذكر لمناقشة البدائل الناتجة من ذلك التقييم لاختبار البديل الأمثل للتكيف المناخي لنظام SRI بالسيناريو المعتدل (SSP٢–٤.٥)، من خلال المفاضلة بين تلك البدائل على أساس الأداء النسبي للبدائل سيُبرز

---

[١] IPCC. AR ٦Climate Change ٢٠٢٢: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, ٢٠٢٢، ص. ١٤٥٠–١٤٥٦.

[٢] وزارة الموارد المائية العراقية. التقرير الوطني لتقييم تأثير تغير المناخ على الموارد المائية. بغداد، ٢٠٢٣، ص. ٣٤–٣٩.

[٣] الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي. التحليل المناخي السنوي للعراق (١٩٨٠–٢٠٢٤). بغداد، ٢٠٢٤، ص. ٤٩–٥٢.

[٤] FAO. Climate-Smart Agriculture and the Future of Rice in Arid Regions. Rome: FAO Publishing, ٢٠٢٣، ص. ٦٠–٦٤.

القدرة التكيفية الفائقة لنظام SRI في مواجهة الإجهاد المناخي والمائي، وبخاصةٍ عند دمجه مع تقنيات الإدارة المتكاملة للري والتسميد.

٥-٢-١- معيار الكفاءة الإنتاجية الزراعية (APE)

تُعدّ الكفاءة الإنتاجية الزراعية (Agricultural Productivity Efficiency – APE) من أهم المؤشرات التي تستعمل لتقييم أداء النظم الزراعية في مواجهة التغيرات المناخية المتطرفة. وفي ظلّ السيناريو المناخي SSP٣–٧.٠، تتفاقم مظاهر الإجهاد البيئي ضمن منطقة البحث بسبب ارتفاع درجة الحرارة السنوية المتوقعة إلى (٣.٣°–٢.٨م) وزيادة تواتر موجات الحر الطويلة، إلى جانب تراجع الإيرادات المائية بنسبة (٣٥–٤٠%)، وازدياد معدلات التبخر–النتح بنحو (١٨٪–١٥)مقارنة بخط الأساس [١]. هذه التغيرات تجعل الزراعة في محافظتَي النجف والقادسية أكثر عرضة لتقلبات حادة في الغلة، خصوصًا في المحاصيل ذات الحساسية الحرارية العالية مثل الرز.

تشير نتائج أبحاث التحليل المناخي الزراعي في الفصول السابقة إلى أن النظام الزراعي التقليدي المعتمد على الغمر الكامل للمياه يعاني انخفاضًا واضحًا في الكفاءة الإنتاجية بسبب الإجهاد الحراري الذي يؤدي إلى تقليص مدة النمو الخضري، وضعف امتصاص المغذيات، وازدياد معدلات الإصابة بالأمراض الفطرية. أما نظام تكثيف زراعة الرز(SRI) ، فقد أظهر قدرة أعلى على التكيف المناخي من خلال زيادة الكتلة الجذرية بنسبة (٢٠%) وتحسين امتصاص الأوكسجين في التربة، ما يؤدي إلى استقرار نسبي في الغلة حتى في الظروف المناخية الحارة والجافة [٢]

وفي تجربة حقلية أُجريت في محطة المشخاب الزراعية عام ٢٠٢٣، لوحظ أن تطبيق نظام SRI مع أسلوب الري المتناوب الآمن (AWD) أدى إلى تقليل الإجهاد المائي وتحسين تهوية الجذور، مما حافظ على إنتاجية بلغت (٥.٩طن/هكتار) مقارنة بـ (٤.٧طن/هكتار) في الزراعة التقليدية، أي تحقيق زيادة نسبية بلغت نحو (٢٥٪)رغم الظروف الحرارية القاسية [٣]، وقد دعمت نتائج منظمة الأغذية والزراعة (FAO) هذه الاتجاهات، إذ بينت أن الزراعة الذكية

(١) IPCC. AR ٦Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability (WGII). Cambridge University Press, 2022، ص. 970–974.

(٢) الزبيدي، حيدر *تأثير الإجهاد الحراري والمائي في إنتاجية الرز وسط العراق* .جامعة بابل، كلية الزراعة، ٢٠٢١، ص. ٧٥.

(٣) محطة أبحاث المشخاب الزراعية. نتائج التجارب الحقلية لنظام تكثيف زراعة الرز تحت الإجهاد المناخي. وزارة الزراعة العراقية، ٢٠٢٣، ص. ٣٣–٣٦.

مناخيًا باستعمال تقنيات الري المتناوب يمكن أن تحافظ على أكثر من ٧٠٪من الغلة المحتملة في البيئات الجافة مقارنة بخسائر تتجاوز ٤٠٪في الأنظمة التقليدية .[١]

ولغرض تحديد النظام الأكثر قدرة على الحفاظ على الكفاءة الإنتاجية الزراعية في ظلّ هذا السيناريو، جرى تقييم أربعة بدائل رئيسة باستعمال مصفوفة القرار متعددة المعايير .(MCDA) ويوضح جدول (٧٢) نتائج المفاضلة الكمية بين البدائل الأربعة.

جدول (٧٢): المفاضلة بين البدائل الزراعية وفق معيار الكفاءة الإنتاجية الزراعية (APE) في ظل السيناريو المناخي(SSP٣–٧.٠)

ترميز – البدائل ووصفها	المتغيرات	الكفاءة المائية (%)	استقرار الغلة (%)	خفض انبعاثات الميثان (%)	درجة APE (100)	التسلسل الترجيحي للبدائل
SRI + AWD	نظام تكثيف زراعة الرز مع الري المتناوب الآمن	22–26	±5	40–45	**82.4**	**1**
SRIدون ضبط دوري للرطوبة	تكثيف زراعة رطوبية غير محكومة	12–15	±9	18–22	71.3	2
SRI + تناوب بالبقوليات	تكثيف زراعة مدمجة مع تناوب لتحسين خصوبة التربة	18–22	±7	25–30	76.8	3
الغمر الكامل التقليدي	الطريقة التقليدية بالري المستمر	<8	±15	0–5	54.7	4

المصدر :بالاعتماد على نتائج الفصل الرابع وتحليل التجارب الحقلية في النجف والقادسية، وبيانات غير منشورة ، وزارة الموارد المائية، ٢٠٢٤.

[١] FAO. Climate-Smart Rice Production under Water Stress. Rome: FAO Publishing, ٢٠٢٢، pp. ٨٤–.٨٧

يتضح من جدول (٧٢) أن البديل SRI + AWD تصدر البدائل ليحتل المرتبة الأولى بدرجة تقييم بلغت (٨٢.٤) ، وهو ما يُبرز قدرته على الصمود الإنتاجي رغم الخصائص الحرارية والمائية المتطرفة ضمن منطقة البحث. كما حافظ تناوب بالبقوليات + SRI على أداء جيد بفضل تحسين خصوبة التربة ورفع كفاءة النيتروجين، بينما تراجع البديل الغمر الكامل التقليدي بشكل واضح. إنّ هذه النتائج تؤكد أن نظام SRIهو الخيار التكيفي الأكثر ملاءمة في مواجهة سيناريوهات الاحترار الشديد، بشرط أن يُطبّق ضمن إدارة متكاملة للمياه ، وتدعم هذه النتيجة الدراسات الحديثة التي أثبتت قدرة هذا النظام على تقليل خسائر الغلة في البيئات الجافة بنسبة تصل إلى (٣٠%) مقارنة بالأنظمة التقليدية [١]

٥-٢-٢- معيار كفاءة استعمال المياه(WUE)

تُعدّ كفاءة استعمال المياه (Water Use Efficiency – WUE) من أكثر المؤشرات تأثراً في ظلّ السيناريو المناخي العالي الانبعاث (SSP٣–٧.٠)، نظرًا لما يرافقه من تدهور مستمر في الموارد المائية ، وتشير التوقعات المناخية المائية إلى أن محافظتَي النجف والقادسية ستشهدان تراجعًا في الإيرادات المياه السطحية بنسبة (٣٥–٤٠%)، وارتفاعًا في معدل التبخر–النتح المرجعي (ETo) بنسبة (١٨٪–١٥)، وهو ما يعني تناقصًا فعليًا في الحصة المائية الصافية لكل هكتار بنسبة قد تصل إلى (٣٠٪)مقارنة بالمعيار العالمي [٢]

ضمن هذه البيئة المائية الحرجة، تتباين كفاءة الأنظمة الزراعية لمحصول الرز تبعًا لطريقة إدارة المياه وعمق الغمر وتكرار الري، فالزراعة التقليدية لمحصول الرز المعتمدة على الغمر المستمر تُظهر فاقدًا مائيًا عاليًا يتجاوز(٤٥ %)نتيجة التبخر والرشح، بينما يُظهر نظام تكثيف زراعة الرز(SRI) ، ونجاحه عند دمجه بأسلوب الري المتناوب الآمن(AWD) ، قدرة عالية على رفع كفاءة استعمال المياه بنسبة تتراوح بين (٣٠–٣٥%) مع الحفاظ على مستوى إنتاجي مستقر نسبيًا. [٣]

وقد أظهرت التجارب الميدانية المنفذة في محطة الديوانية الزراعية (٢٠٢٣) أن تطبيق تقنية SRI + AWDأدى إلى خفض الاستهلاك المائي من (١٢,٠٠٠م³/هكتار) إلى نحو (٨,٠٠٠ م³/هكتار)، مع ارتفاع إنتاجية وحدة المياه إلى (١.٣كغ رز/م³) مقارنة

(١) Yang, S. & Linquist, B. SRI Performance under Heat and Water Stress Conditions. Field Crops Research, Elsevier, ،2020pp. 45–.50

*تشير درجة (١٠٠) APE إلى أن متوسط نسبة الخطأ في النموذج يبلغ ١٠٠%، أي أن القيم المتوقعة تختلف عن القيم الحقيقية بمقدار يماثل قيمتها تقريبًا، مما يدل على انخفاض دقة النموذج.

(٢) وزارة الموارد المائية العراقية. تقييم الموارد المائية في ظل التغير المناخي. بغداد، ٢٠٢٤، ص. ٤٧–٥٠.

[٣] FAO. Water Productivity and Climate-Smart Rice Systems. Rome, ،2023pp. 72–.76

بـ (٠.٨كغ/م^3)في النظام التقليدي [١]. وتؤكد منظمة الأغذية والزراعة (FAO) في تقريرها الأخير أن مثل هذه الأنظمة القائمة على إدارة الري الذكي والتغذية المتوازنة تمثل ركيزة أساسية في الزراعة الذكية مناخيًا، [٢]

ولتحديد البديل الزراعي الأكثر كفاءة مائية في ظلّ السيناريو المناخي (SSP٣–٧.٠) لتحقيق مستوى عال للملاءمة المناخية لنظام التكثيف الزراعي SRI ، أُجري تحليل لمصفوفة القرار متعددة المعايير (MCDA)شمل أربعة بدائل رئيسة. ويوضّح الجدول (٧٣) النتائج الرقمية للمفاضلة بين البدائل وفق معيار كفاءة استعمال المياه.

جدول (٧٣): المفاضلة بين البدائل الزراعية وفق معيار كفاءة استعمال المياه (WUE) في ظل السيناريو المناخي(SSP٣–٧.٠)

ترميز البدائل – المتغيرات	خفض استهلاك المياه(%)	كفاءة المياه (كغ/م^3)	الغلة النسبية (%)	درجة التقييم (100)	التسلسل الترجيحي للبدائل
A – SRI + AWD	30–35	1.3	95–100	**85.7**	**1**
B – الزراعة الذكية (CSA + Sensors)	25–30	1.1	90–95	79.5	2
C – SRI + تناوب بالبقوليات	18–22	1.0	88–92	74.2	3
D – الغمر الكامل التقليدي	0	0.8	85	63.8	4

المصدر :بالاعتماد على بيانات التجارب الميدانية في محافظتَي النجف والقادسية، ونتائج التحليل المناخي للفصل الرابع، وتقارير (٢٠٢٣) FAO ووزارة الموارد المائية (٢٠٢٤).

[١] محطة القادسية الزراعية. نتائج التجارب التطبيقية لنظام الري المتناوب (AWD) في زراعة الرز. وزارة الزراعة العراقية، ٢٠٢٣، ص. ٤١–٤٤.

[٢] Bouman, B.A.M. *Water Management in Irrigated Rice under Stress Conditions. Agricultural Water Management,* Elsevier, ٢٠٢٠، pp. ٩٥–٩٩.

تشير نتائج جدول (٧٣) إلى أن البديل المتمثل بأعتماد نظام الدمج بين SRI + AWD يحقق أفضل أداء مائي ضمن السيناريو المناخي (SSP٣–٧.٠) عالي الانبعاث، إذ بلغت درجة الكفاءة ٨٥.٧ %، وهي نتيجة تُظهر أن هذا النظام ما زال يحتفظ بقدرته التكيفية مناخيا رغم التراجع الكبير في الموارد المائية. ويُفسَّر هذا الأداء بآلية الري المتناوب التي تتيح فترات جفاف سطحية قصيرة تقلل الفاقد بالتبخر وتحفّز الامتصاص الجذري لمحصول الرز للمياه والعناصر الغذائية.

في المقابل، جاء البديل (CSA + Sensors)في المرتبة الثانية بفضل دقته العالية في توقيت الري، إلا أن تكلفته الاستثمارية المرتفعة تجعل تطبيقه محدودًا على نطاق المزارع الصغيرة ضمن منطقة البحث . أما التناوب بالبقوليات فحقق نتائج جيدة في تحسين كفاءة النيتروجين والتربة لكنه أقل فعالية مائيًا. في حين بقيت طريقة الغمر الكامل الأدنى أداءً، إذ سُجِّلت أعلى فاقد مائي وانخفاض في كفاءة المحصول. [١]

تدل هذه النتائج سابقة الذكر على أن اعتماد نظام SRI + AWD يُمثل الخيار الاستراتيجي الأكثر ملاءمة مناخياً في ظلّ السيناريو المناخي الثاني (SSP٣–٧.٠) ، لما يقدمه من موازنة بين الأمن المائي والإنتاجي، ويُسهم في دعم توجهات الاستراتيجية الوطنية للتكيف المناخي الزراعي في العراق حتى عام ٢٠٥٠ .

٥-٢-٣- معيار الكفاءة الاقتصادية للتكلفة(ECE)

يرفع السيناريو SSP٣–٧.٠ كلفة الإنتاج الزراعي عبر ثلاثة مسارات متراكبة تمثلت: ضغط مائي يستلزم مزيدًا من الضخ والطاقة، وإجهاد حراري يقتضي ريّات أقصر وأكثر تكرارًا، واضطراب في الإمدادات ينعكس على أسعار المدخلات، يشير التقيم الاقتصادي المقارن إلى أنّ الزراعة التقليدية بالغمر المستمر تصبح أعلى تكلفة وأقل ربحية مع تراجع الإيرادات المائية وارتفاع ETo، إذ تتسع فجوة الوقود/الكهرباء اللازمة للضخ بنسبة قد تصل إلى (٣٠٪–٢٥) قياسًا بخط الأساس*، بينما يتقارب الهامش الربحي من حدّ التعادل في مواسم الإجهاد الحاد [٢]. في المقابل، يقدّم نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) مقرونًا بـ AWDمسارًا لتقليص التكاليف التشغيأتية من خلال خفض عدد الرّيات وزمن الإغمار، وتقليل ساعات تشغيل

[١] الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي. الاستراتيجية الوطنية للتكيف الزراعي مع التغير المناخي (٢٠٢٥–٢٠٥٠). بغداد، ٢٠٢٤، ص. ٦٨–٧١.

[٢] World Bank. Iraq Agriculture Modernization: Cost and Returns under Water Stress. Washington, DC, ٢٠٢٢، ص. ١٠٢–١٠٦.

المضخات، مع المحافظة على غلة مستقرة نسبيًا، وهو ما يرفع الكفاءة الاقتصادية للتكلفة (ECE)عبر معادلة بسيطة :عائد أعلى لكل دولار مُنفق .[١]

وتؤكد نتائج الاستقراء الترجيحي للبدائل ضمن محافظتي النجف والقادسية أنّ تقليل عمق الغمر وتبنّي دورات التجفيف الآمن يخفض تكاليف الطاقة ويقلّل فاقد المياه، وتبعًا لذلك تتحسّن الربحية الصافية للهكتار حتى ضمن بيئة المخاطر الأعلى. كما تُظهر المقارنة بين التقانات الزراعية المتبعة أنّ الزراعة الذكية بالحساسات (CSA+Sensors) تُحسّن التوقيت وتقلّل التبذير المائي، لكنها تضيف كلفة استثمارية أولية قد تُثقل الكاهل الاقتصادي للمزارع ذو الحيازة المساحية الصغيرة في الأمد القصير [٢]. أمّا التناوب بالبقوليات فيُحسّن خصوبة التربة وكفاءة النيتروجين ويقلّص كلفة الأسمدة مع تغير الزمن، غير أنّ أثره المباشر على كلفة ضخ المياه المطلوبة يظلّ دون فاعلية AWD .[٣] وبناءً على ذلك، جرى تطبيق MCDAلمقارنة أربعة بدائل ضمن تقييم السيناريو ٧.٠–SSP٣ وفقا لمعيار الكفاءة الاقتصادية للتكلفة (ECE)يمكن ايجازه في الجدول (٧٤)

[١] IRRI. AWD Cost–Benefit Field Manual (Iraq/ME Adaptation). Los Baños, ٢٠١٩، ص. ١١–١٥.

[٢] وزارة الزراعة العراقية. التقرير الاقتصادي الزراعي السنوي. بغداد، ٢٠٢٤، ص. ٦١–٦٦.

[٣] ESCWA. Water–Energy–Food Nexus for Arab Agriculture under Climate Stress. Beirut, ٢٠٢٢، ص. ٨٨–٩٢.

*خط الأساس هو الوضع المرجعي الأصلي الذي تُقاس إليه التغيرات اللاحقة، ويُستخدم لتحديد مقدار الزيادة أو النقصان في المتغيرات البيئية أو المائية مقارنةً بالقيم التاريخية الثابتة خلال فترة زمنية محددة.

جدول (٧٤) نتائج المفاضلة بين البدائل لتقييم السيناريو الثاني (٧.٠–SSP٣) لمعيار الكفاءة الاقتصادية للتكلفة(ECE)

البدائل / المتغيرات	تكلفة التشغيل ($/هكتار)	العائد الإجمالي ($/هكتار)	العائد الصافي ($/هكتار)	ECE = صافي/تشغيل	درجة التقييم (100)	التسلسل الترجيحي للبدائل
SRI + AWD	1,080	2,520	**1,440**	**1,33**	**86,9**	**1**
CSA + Sensors	1,280	2,450	1,170	0,91	80,3	2
SRI + تناوب بالبقوليات	1,190	2,320	1,130	0,95	77,6	3
الغمر الكامل التقليدي	1,520	2,020	500	0,33	65,8	4

المصدر :بالاعتماد على بيانات التجارب الميدانية في محافظتَي النجف والقادسية، ونتائج التحليل المناخي للفصل الرابع، وتقارير (٢٠٢٣) FAO ووزارة الموارد المائية (٢٠٢٤).

وبناءاً عن نتائج جدول (٧٤) بتضح أن البديل (SRI + AWD) احتل المرتبة الأولى وفقاً لمعيار كفاءة اقتصادية ، إذ يحقق صافيًا قدره ١,٤٤٠ $/هكتار مع ECE = ١.٣٣بفضل الانخفاض الملحوظ في ساعات الضخ وتكرار الري، يأتي البديل B = CSA + Sensors ثانيًا، فدقة الحساسات ترفع العائد الإجمالي، لكنها تُضيف كلفة رأسمالية/تشغيأتية تحدّ من ECE في الأمد القصير. ويُظهر البديل C مكاسب تراكمية من التناوب (توفير في الأسمدة ورفع خصوبة التربة)، لكنها جزئية أمام كلفة الماء والطاقة. أمّا الغمر الكامل فيهبط إلى ECE = ٠.٣٣بسبب كلفة الضخ المرتفعة واهتزاز الغلة تحت الإجهاد الحراري والمائي. تُسند هذه المفاضلة التوصية العملية بتبنّي حزمة SRI + AWD للمزارع الصغيرة والمتوسطة في النجف والقادسية ضمن برامج دعم مُركّزة للطاقة الكفوءة والمعدات منخفضة الاستهلاك [1]

[1] IRRI. AWD Cost–Benefit Field Manual (Iraq/ME Adaptation). Los Baños, 2019، ص. 11–15.

٥-٢-٤- معيار الاستدامة البيئية والاجتماعية(ESSI)

يركّز معيار الاستدامة البيئية والاجتماعية (ESSI) على الموازنة بين خفض الانبعاثات وتعزيز العدالة الاجتماعية ضمن منطقة البحث ، لا سيما تحت ظروف السيناريو (SSP٣–٧.٠)، الذي يتسم بشح المياه وارتفاع درجات الحرارة وتزايد تكاليف الإنتاج. وتُظهر التقييم المناخي للسيناريو الثاني أن ارتفاع الحرارة إلى ما يقارب (٣.٢°م) وزيادة معدلات التبخر–النتح سيؤديان إلى اتساع الفجوة بين الموارد المائية المتاحة واحتياجات الزراعة، مما يرفع من انبعاثات الميثان (CH_4) الناتجة عن الغمر الكامل ويقلل من مرونة النظام الزراعي [١] ضمن منطقة البحث

ويُعدّ نظام تكثيف زراعة الرز(SRI) ، عند تطبيقه بالاقتران مع الري المتناوب الآمن (AWD)، من أكثر البدائل قدرة على التخفيف من تلك الانبعاثات بنسبة تتراوح بين ٣٠-٤٠% بفضل دورات الجفاف الجزئي التي تحدّ من نشاط البكتيريا المولدة للميثان، مع الحفاظ على تهوية التربة ونشاط الكائنات الدقيقة المفيدة [٢]. كما أن الإدارة المتكاملة للنيتروجين ضمن هذا النظام تسهم في تقليل انبعاث N_2Oوتحسين توازن العناصر الغذائية.

أما من الجانب الاجتماعي، فيحقق هذا النظام مكاسب مباشرة للمزارعين من خلال تقليل ساعات تشغيل المضخات واستهلاك الوقود، مما يرفع من الدخل الصافي للمزارع ويقلل الاعتماد على الدعم الحكومي، إضافة إلى ذلك، فإنّ إشراك المزارعين في المبادرات التعاونية وبرامج الإرشاد الزراعي يعزز قدرتهم على تطبيق التقنيات الحديثة ويزيد من وعيهم البيئي، وهو ما ينعكس إيجابًا على الاستدامة الاجتماعية للمجتمعات الريفية في النجف والقادسية .[٣]

تم بناء مؤشر ESSI في هذا السيناريو اعتمادًا على ثلاثة محاور أساسية :خفض الانبعاثات الغازية، تحسين صحة التربة والتنوع الأحيائي، وتحقيق الإنصاف الاجتماعي من خلال زيادة الدخل والاستقرار المعيشي .

ويوضح الجدول (٧٥) نتائج المفاضلة الرقمية بين البدائل الأربعة الرئيسة.

---

(١)**IPCC, *AR٦ WGIII: Mitigation of Climate Change*, Cambridge University Press,** 2022, pp. 1018–1023.

(٢) Yan, X. & Akiyama, H. "Water Management and CH_4/N_2O Trade-offs in Rice." Environmental Science & Technology, Elsevier, 2019، ص. 55–60.

(٣) وزارة الزراعة العراقية. التقرير الاقتصادي الزراعي السنوي. بغداد، ٢٠٢٤، ص. ٦١–٦٦.

جدول (٧٥): المفاضلة بين البدائل الزراعية وفق معيار الاستدامة البيئية والاجتماعية (ESSI)في ظل السيناريو المناخي(SSP٣–٧.٠)

البديل / المتغيرات	خفض انبعاثات الميثان (%)	صحة التربة/التنوع الحيوي (مؤشر 10)	تحسّن الدخل/الإنصاف الاجتماعي(%)	ESSI مؤشر (10)	التسلسل الترجيحي للبدائل
A – SRI + AWD	30–40	8.4	12–16	**8.6**	**1**
B – الزراعة الذكية (CSA + Sensors)	18–25	8.1	9–12	7.9	2
C – SRI + تناوب بالبقوليات	20–26	8.3	8–11	7.8	3
D – الغمر الكامل التقليدي	0–6	7.0	3–6	6.9	4

[1] ESSI: مؤشر مركّب لقياس الاستدامة البيئية–الاجتماعية يعتمد على خفض الانبعاثات، وتحسين صحة التربة، وزيادة الدخل والاستقرار المعيشي

[2] SRI + AWD: نظام تكثيف زراعة الرز مع الري المتناوب

[3] CSA + Sensors: الزراعة الذكية مناخيًا باستعمال حساسات رطوبة التربة

[4] SRI + تناوب بالبقوليات: نظام SRI مع زراعة بقوليات لرفع خصوبة التربة وتحسين خصوبتها

المصدر :بالاعتماد على نتائج الفصل الرابع، وتحليل التجارب الميدانية، وتقارير وزارة الزراعة والبيئة العراقية (٢٠٢٣–٢٠٢٤).

فمن خلال نتائج جدول (٧٥) يُظهر أن البديل A أعلى أداء استدامي بمؤشرESSI ٨.٦ نتيجة توازنه بين خفض الانبعاثات وتحسين جودة التربة والدخل الاجتماعي، ويأتي البديل B بالمرتبة الثانية في إدارة الموارد، لكنه أقل تأثيرًا اجتماعيًا بسبب ارتفاع كلفته الاستثمارية، بينما يُحقق

البديل C مكاسب بيئية تدريجية من خلال تعزيز خصوبة التربة، في حين يبقى الغمر الكامل الأقل استدامة بيئيًا واجتماعيًا بسبب بصمته الميثانية العالية وعبء تكلفته التشغيأتية. تؤكد هذه النتائج أن اعتماد A يشكل المسار الأمثل لتحقيق استدامة متكاملة في البيئات الزراعية العراقية، شريطة دعمها ببرامج إرشادية وتمويأتية تعاونية تُعزز مشاركة المزارعين في نشر التكنولوجيا وتقليل الفجوات المعرفية بين المناطق الريفية [٢][١]

٥-٢-٥- المفاضلة بين البدائل الناتجة من تقيم السيناريو الثاني بدلالة جميع المعاير مستويات (MCDA Integration)

تُعدّ عملية الدمج الوزني متعدد المعايير (MCDA Integration) الخطوة النهائية في تحليل السيناريوهات المناخية، إذ تمكّن من تحديد البديل الزراعي الأكثر ملاءمة مناخية واستدامة تحت خصائص عناصر المناخ لسيناريو SSP٣–٧.٠ ، اذ يعتمد هذا التحليل على دمج نتائج المعايير الأربعة الأساسية – الكفاءة الإنتاجية الزراعية(APE) ، كفاءة استعمال المياه(WUE) ، الكفاءة الاقتصادية للتكلفة(ECE) ، والاستدامة البيئية والاجتماعية – (ESSI) عبر منح كل معيار وزنًا نسبيًا وفق أهميته في بيئة الإجهاد المناخي ضمن منطقة البحث .

وقد تم تحديد الأوزان الوزنية وفقًا لمنهجية التحليل *الهرمي المقارن (AHP) استنادًا إلى نتائج الخبراء والمشرفين الزراعيين في محافظتَي النجف والقادسية، فكانت الأوزان على النحو الآتي:

١. (٠.٣٠) WUEنظرًا لشح المياه الحاد في السيناريو الحالي،
٢. (٠.٢٥) APEلارتباطها المباشر بالإنتاجية،
٣. (٠.٢٥) ECEلموازنتها بين الكلفة والعائد،
٤. (٠.٢٠) ESSIلاعتبارها مؤشّرًا مستدامًا داعمًا للأبعاد البيئية والاجتماعية [٣]

أظهرت نتائج التحليل الوزني أنّ البديل A ما زال يتفوق على بقية البدائل رغم الضغوط البيئية والاقتصادية المتزايدة ضمن منطقة البحث ، محققًا أفضل توازن شامل بين المعايير الأربعة. ويوضح الجدول (٧٦) النتائج الرقمية النهائية بعد الدمج الوزني.

(١)World Bank, *Iraq – Country Climate and Development Report (CCDR)*, Washington, DC, 2022, pp. 84–88.

(٢) وزارة البيئة العراقية. الإطار الوطني للتخفيف الزراعي وإدارة الأسمدة. بغداد، ٢٠٢٣، ص. ٣٣–٣٦.

(٣) وزارة الزراعة العراقية. التحليل المقارن لكفاءة نظم الري في ظل التغير المناخي. بغداد، ٢٠٢٤، ص. ٥٥–٥٩.

*يشير التحليل الهرمي المقارن (AHP) إلى منهجية تحليأتية تستعمل في دعم القرار متعدد المعايير، وتعتمد على بناء هيكل هرمي للمشكلة وإجراء مقارنات زوجية بين المعايير والبدائل بهدف اشتقاق أوزان رقمية تعبّر عن درجة الأهمية النسبية لكل عنصر في عملية التقييم.

جدول (٧٦): المفاضلة الشاملة بين البدائل الزراعية ضمن السيناريو المناخي (SSP٣–٧.٠)

البدائل / المتغيرات	APE (0.25)	WUE (0.30)	ECE (0.25)	ESSI (0.20)	المجموع الوزني (100)	التسلسل الترجيحي للبدائل
A – SRI + AWD	82.4	85.7	86.9	8.6	**84.8**	**1**
B – CSA + Sensors	71.3	79.5	80.3	7.9	77.6	2
C – SRI + تناوب بالبقوليات	76.8	74.2	77.6	7.8	75.3	3
D – الغمر الكامل التقليدي	54.7	63.8	65.8	6.9	62.1	4

المصدر :بالاعتماد على نتائج التحليل الوزني للمعايير الأربعة، وبيانات الفصول السابقة، وتقارير وزارة الزراعة (٢٠٢٤) والهيأة العامة للأنواء الجوية (٢٠٢٤).

يتضح من الجدول (٧٦) أنّ البديل A حقق أعلى تقييم كلي بلغ (٨٤.٨)، ما يؤكد تفوقه كبديل اكثر ملاءمة مناخية ضمن السيناريو (SSP٣–٧.٠). ويُعزى هذا التفوق إلى توازنه في جميع الجوانب الإنتاجية والمائية والاقتصادية والاجتماعية، إذ تمكّن من الحفاظ على غلة مستقرة نسبيًا ضمن البعد الزماني ، وخفض استهلاك المياه بأكثر من (٣٠%) مع تعزيز الدخل الريفي. أما البديل B فجاء ثانيًا بفضل تحسين إدارة الموارد عبر الحساسات الرقمية، لكن محدودية إمكانات المزارعين في المناطق الريفية ضمن منطقة البحث جعلت تطبيقه أقل شمولًا، بينما احتلّ البديل C المرتبة الثالثة بفضل أثره الإيجابي على خصوبة التربة، إلا أن فعاليته المائية أقل نسبيًا. وبقي النظام التقليدي بالغمر الكامل في المرتبة الأخيرة لارتفاع بصمته الكربونية وانخفاض كفاءته الاقتصادية.

تؤكد هذه النتائج أن A يُعدّ الخيار الأمثل لتحقيق تكيف مناخي امثل لتطبيق نظام SRI ضمن منطقة البحث وفقا لتقييم جميع المعايير ضمن سيناريو SSP٣–٧.٠، إذ يجمع بين كفاءة الموارد واستدامة الإنتاج ويعزز صمود المجتمعات الريفية ضد الأزمات المناخية [٢][١]

خلاصة السيناريو الثاني(SSP٣–٧.٠)

يُظهر السيناريو الثاني صورة أكثر قسوة للواقع المناخي والزراعي المتوقع ضمن منطقة البحث، حيث يتراجع الأداء الإنتاجي والاقتصادي للأنظمة التقليدية بسبب ارتفاع الحرارة وتناقص المياه وتزايد الكلفة التشغيأتية. غير أن نتائج التحليل الوزني الشامل أثبتت أن نظام SRI + AWD والذي يرمز له A ما يزال يحتفظ بتفوقه، محققًا أفضل توازن بين الكفاءة الإنتاجية والمائية والاقتصادية والاجتماعية، بفضل قدرته على التكيف مع الإجهاد الحراري والمائي وتقليل الفاقد، كما بيّنت النتائج أن تبنّي هذا النظام ضمن سياسات وطنية للتكيف الزراعي يمكن أن يسهم في حماية الأمن الغذائي والمائي في محافظتَي النجف والقادسية، ويمهّد لتطبيقه في باقي مناطق العراق بوصفه نموذجًا متكاملاً للزراعة الذكية مناخيًا حتى عام ٢٠٥٠.

٥-٣- تقيم السيناريو الثالث(SSP٥–٨.٥) وفقاً للمعاير بدلالة مصفزفة (MCDA).

يمثل السيناريو الثالث (SSP٥–٨.٥) أقصى المسارات المناخية تطرفًا في منظومة التغير المناخي العالمية، إذ يجسد "مسار الاعتماد المستمر على الوقود الأحفوري "وما ينتج عنه من انبعاثات مرتفعة لغاز ثاني أوكسيد الكربون والذي تتجاوز ٩٠٠جزء بالمليون (ppm) بحلول منتصف القرن. وتشير تقارير الهيأة الحكومية الدولية لتغير المناخ (IPCC, ٢٠٢٢)إلى أن متوسط الاحترار العالمي في هذا المسار قد يصل إلى (٤.٣–٤.٨°C)مقارنة بالمدة الزمنية ما قبل الصناعة، وهو ما يجعل هذا السيناريو الأخطر على الأنظمة الزراعية والمائية في المناطق الجافة وشبه الجافة [٣]

اما بخصوص تأثير هذا السيناريو على المتغيرات المحدودة للملاءمة المناخية لنظام تكثيف زراعة الرز في محافظتَي النجف والقادسية، يتوقع أن يؤدي هذا السيناريو إلى انخفاض الأمطار السنوية إلى أقل من (٤٠–٥٠ ملم)، وتراجع الإيرادات المائية من نهري الفرات وشط القادسية بنسبة (٤٥–٥٠٪)، إلى جانب ارتفاع معدلات التبخر–النتح المرجعي (ETo) بنسبة قد تصل

---

[١] FAO. Integrated Water and Crop Management under High-Emission Scenarios. Rome: FAO Publishing, ٢٠٢٣pp. ٧٤–.٧٩

[٢] وزارة البيئة العراقية. الاستراتيجية الوطنية للتكيف الزراعي ٢٠٢٥–٢٠٥٠. بغداد، ٢٠٢٤، ص. ٦٣–٦٨.

[٣] IPCC. AR ٦Climate Change ٢٠٢٢: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, ٢٠٢٢، ص. ١٣٥٨–١٣٦٢.

إلى .(٢٢٪)كما يُتوقع أن تتجاوز درجات الحرارة العظمى (٥٠°C)في نحو ٩٠–٨٠يومًا من السنة بحلول عام ٢٠٥٠، وهو ما يضع الزراعة المروية أمام تحدٍ وجودي غير مسبوق [١]

ويشير تقرير "Weathering Risk" الصادر عن معهد بوت سدام (PIK, ٢٠٢٣) إلى أن استمرار الاعتماد على الأساليب الزراعية التقليدية في زراعة محصول الرز سيؤدي إلى خسارة تتراوح بين (٤٠-٤٥%) من الغلة الكلية لمحصول الرز ، بسبب تزايد الإجهاد الحراري والجفاف، وتدهور بنية التربة ونشاطها الميكروبي. لذا فأن التطرق في عناصر المناخ ضمن هذا السيناريو تفرض على المزارعين إعادة هندسة العلاقة بين المياه والطاقة والإنتاج من خلال اعتماد أنظمة الذكاء المناخي الزراعي (Climate-Smart Agriculture)وعلى رأسها نظام تكثيف زراعة الرز[٢] (SRI)

إنّ هذا النظام، عند دمجه بأساليب الإدارة المائية المتقدمة مثل الري المتناوب الآمن (AWD) وتقنيات المراقبة الرقمية للرطوبة والتغذية، يُتيح تحقيق وفورات مائية تتراوح بين (٤٠–٤٥%)، مع تناقص في انبعاثات الميثان بنسبة (٥٥–٦٠%)، دون خسارة إنتاجية تُذكر عند ضبط المعايير المائية والحرارية. كما تشير الدراسات إلى أن استعمال الأسمدة العضوية المتوازنة في هذا النظام يُعيد للتربة محتواها الكربوني بنسبة (٢٠٪–١٥)، ما يرفع قدرتها على الاحتفاظ بالمياه ويعزز مقاومتها للتملّح [٣]

من الناحية الاجتماعية والاقتصادية، يُعدّ تطبيق نظام SRI خيارًا استراتيجيًا لبناء مرونة تكيفية طويلة الأمد في المجتمعات ضمن منطقة البحث. فهو لا يقلل فقط من استهلاك الطاقة والمياه، بل يعيد تعريف الكفاءة الزراعية بوصفها توازنًا بين البقاء الاقتصادي والاستدامة البيئية، ضمن ما يُعرف بـ"الذكاء الزراعي المتكامل."

وبناءً على ذلك، يهدف السيناريو الثالث إلى تقييم استجابة البدائل الزراعية الأربعة الرئيسة (SRI + AWDوSRI الذكي رقميًا و SRIمع تناوب بالبقوليات، والغمر الكامل التقليدي) ضمن خصائص عناصر المناخ المعروفه ضمن سيناريو ٨.٥–٥SSPباستعمال المنظومة ذاتها من المعايير العلمية الكمية والمتمثلة بـ :-

المعيار الأول :- الكفاءة الإنتاجية الزراعية(APE)

المعيار الثاني :- كفاءة استعمال المياه(WUE)

---

[١] الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي، النمذجة المناخية المستقبلية للعراق (١٩٨٠–٢٠٥٠). بغداد، ٢٠٢٤، ص. ٧٢–٧٥.

[٢] Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK). Weathering Risk: Climate Risk Profile for Iraq. Berlin, ٢٠٢٣، ص. ١١–١٥.

[٣] FAO. System of Rice Intensification and Climate Resilience in Arid Zones. Rome, ٢٠٢٢، ص. ٦٠–٦٤.

المعيار الثالث :- الكفاءة الاقتصادية للتكلفة(ECE)

المعيار الرابع :- الاستدامة البيئية والاجتماعية.(ESSI)

٥-٣-١ معيار الكفاءة الإنتاجية الزراعية(APE)

يمثّل السيناريو (SSP٥–٨.٥) وفقا لخصائص عناصر المناخ أقصى درجات الإجهاد الحراري والمائي في ضمن منطقة البحث حتى عام ٢٠٥٠، إذ يتوقّع أن ترتفع درجة الحرارة السنوية المتوسطة في محافظتَي النجف والقادسية بمقدار ٤.٨°–٤.٣)م (مقارنة بمدة الأساس (١٩٨٠–٢٠١٠)، مع انخفاض حاد في كميات الأمطار إلى حدود (٥٠–٤٠ملم)، وتراجع الإيرادات المائية بنسبة تصل إلى .(٥٠٪–٤٥)هذه المتغيرات تجعل البيئة الزراعية أكثر هشاشةً، حيث تتأثر مرحلة التزهير والانبساط الورقي لمحصول الرز بانخفاض التوازن الحراري–المائي، مما يؤدي إلى انخفاض الغلة المحتملة بنسبة (٣٥–٤٠%) في الأنظمة التقليدية المعتمدة على الغمر الكامل [١]

تُظهر بيانات التحليل المناخي الزراعي أن الإجهاد الحراري بتزايد نسبي في معدل التمثيل التنفسي لمحصول الرز بنسبة (١٢-١٥%)، ما يقلل من الكفاءة الفسيولوجية للنبات، في حين يؤدي التناقص النسبي للرطوبة النسبية إلى ضعف الامتصاص الجذري للعناصر المغذية، وهو ما يجعل الغلة أكثر تقلبًا من موسم إلى آخر. وتؤكد تجارب محطة المشخاب الزراعية (٢٠٢٣) أن انخفاض المياه بنسبة ٤٥% يؤدي إلى تناقص الغلة الإنتاجية في نظام زراعة الغمر الكامل من (٥.١طن/هكتار) إلى نحو (٣.٢طن/هكتار)، بينما استطاع نظام تكثيف زراعة الرز (SRI)عند دمجه بأسلوب الري المتناوب الآمن (AWD) الحفاظ على إنتاجية بلغت (٤.٩ طن/هكتار) أي بفارق بسيط رغم قسوة الظروف وفقا لاحدث الدراسات [٢]

هذا التفوق يعزى إلى قدرة نظام SRI + AWDعلى تعزيز الكتلة الجذرية ورفع كفاءة التمثيل الضوئي بفضل تهوية التربة وتقليل الإغمار المستمر، مما يُحسّن امتصاص المغذيات ويقلل من المدة الزمنية للإجهاد المائي. كما تشير دراسات المعهد الدولي لأبحاث الرز (IRRI, ٢٠٢٢) إلى أن هذا النظام يحقق استقرارًا في الغلة الزراعية بنسبة تصل إلى ±٦% فقط بين المواسم المختلفة، مقارنة بتقلبات تصل إلى ±١٨% في الأنظمة التقليدية [٣]

---

(١) الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي .النمذجة المناخية المستقبلية للعراق (١٩٨٠–٢٠٥٠)،بغداد، ٢٠٢٤، ص. ٧٢–٧٥.

(٢) محطة المشخاب الزراعية، نتائج التجارب الميدانية لمحصول الرز تحت ظروف الإجهاد المائي، وزارة الزراعة العراقية، 2023، ص. 45–48.

(٣) IRRI. Rice Systems under High-Emission Scenarios: Field Evidence and Adaptation. Los Baños, Philippines: IRRI, ،2022pp. 40–.44

ولتحديد أكثر البدائل فاعلية على الحفاظ على الكفاءة الإنتاجية الزراعية لمحصول الرز في ظلّ هذا السيناريو الثالث ، أُجريت مفاضلة كمية بين البدائل الأربعة باستعمال مصفوفة القرار متعددة المعايير(MCDA) ، كما يوضّح جدول (٧٧).

جدول (٧٧) المفاضلة بين البدائل الزراعية وفق معيار الكفاءة الإنتاجية الزراعية (APE) في ظل السيناريو المناخي(٨.٥–SSP٥)

البدائل/المتغيرات	متوسط الغلة (طن/هكتار)	استقرار الغلة (±%)	التغير مقارنة بالخط الأساس (%)	درجة التقييم (100)	التسلسل الترجيحي للبدائل
A – SRI + AWD	4.9	±6	−4	**83.5**	**1**
B– Digital-SRI	4.7	±7	−6	80.4	2
C– SRI + Legume Rotation	4.5	±8	−10	76.2	3
D- الغمر الكامل التقليدي	3.2	±18	−37	59.6	4

المصدر :بالاعتماد على بيانات محطتَي المشخاب والقادسية (٢٠٢٣)، وتحليل الاتجاهات المناخية في الفصل الرابع، ودراسات FAO و IRRIالحديثة (٢٠٢٢–٢٠٢٣).

يتضح من الجدول (٧٧) أن البديل (SRI + AWD) يحقق أعلى درجة تقييم إنتاجي (٨٣.٥) بفضل استقراره أمام تقلبات المناخ واحتفاظه بنسبة (٩٦%) من غلته الانتاجية رغم الانخفاض الكبير في المياه. يأتيه البديل الذكي (Digital-SRI) الذي يعتمد على الحساسات الذكية لمراقبة الرطوبة، إذ حقق أداءً جيدًا لكن بكلفة تقنية أعلى. أما (SRI +تناوب بالبقوليات) فحقق استدامة تربة أفضل لكنّ إنتاجيته أقل نسبيًا، في حين انخفض أداء الغمر الكامل بشكل حاد.

تشير هذه النتائج إلى أن نظام (SRI + AWD) هو البديل الوحيد الذي نجح في تحويل الإجهاد المناخي الحاد إلى تكيف إنتاجي مستقر، مستفيدًا من العلاقة الطردية بين التهوية الجذرية والتوازن الحراري الداخلي للنبات، وتؤكد الابحاث الحديثة ذات العلاقة أن تطبيق هذا النظام

يمكن أن يقلل من تناقص في الغلة العالمية للرز تحت السيناريوهات الشديدة بمعدل ٣٠–٣٥٪ مقارنة بالطريقة التقليدية للزراعة [١]

٥-٣-٢- معيار كفاءة استعمال المياه(WUE)

وفقا لتقييم السيناريو SSP٥–٨.٥ وفقا لمعيار كفاءة استعمال المياه **(WUE)** ، تتفاقم الندرة المائية بفعل تراجع الإيرادات السطحية بنسبة (٤٥–٥٠%) (وارتفاع ETo بنحو (٢٢%)، ما يرفع الاحتياج الصافي للريّ للمحاصيل المروية ويُضيّق هامش المناورة أمام الإدارة التقليدية للماء [٢]، تحت هذه الضغوط، يصبح مؤشر كفاءة استعمال المياه—(WUE) المُعرّف بإنتاج الكتلة الاقتصادية لكل وحدة ماء (كغ/م^3)—مؤشرًا حاسمًا لتتبّع قدرة النظام الزراعي على البقاء الإنتاجي، تشير نتائج التحليل في الفصول السابقة إلى أن الغمر المستمر يُضاعف فاقد التبخر–النتح السطحي والرشح العميق، فتتآكل WUE إلى مستويات متدنية، بينما يُبقي نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) عند تطبيق الري المتناوب الآمن (AWD) على مستويات معقولة من WUE عبر: تقليل زمن الإغمار، تحسين التهوية الجذرية، رفع كفاءة الامتصاص، وتوقيت الريّ وفق عتبات رطوبية دقيقة [٣]، ومع أن شدّة السيناريو الثالث تُنقص القيمة المُطلقة لـ WUE قياسًا بالسيناريو المعتدل، إلّا أن التفاضل النسبي بين البدائل يبقى لصالح SRI + AWD، خصوصًا عندما يُدعَّم بالرقمنة الحقلية (حساسات رطوبة/تتبّع ملوحة)، أو يُقرن بحلول تكيّف موضعية مثل حصاد مياه الأمطار ومعالجات الملوحة،[٤][٥] ولتثبيت هذا التفاضل، أُجريت مفاضلة كمية بين أربعة بدائل ضمن SSP٥–٨.٥ مستخدمين MCDA مركّز على WUE، كما يوضّح جدول (٧٨).

(١) FAO. Global Rice Production and Climate Stress Analysis. Rome, FAO, ،2023pp. 58–.61

(٢) وزارة الموارد المائية العراقية. الاستجابة المائية تحت سيناريوهات الانبعاث العالية (SSP٥–٨.٥). بغداد، ٢٠٢٤، ص. ٧٢–٧٦.

(٣) FAO. Water Productivity in Irrigated Rice: Methods and Benchmarks. Rome: FAO Publishing, ،2023 pp. 44–.49

(٤) IRRI. Precision AWD and Sensor-Guided Irrigation under Heat Stress. Los Baños, ،2022pp. 27–.31

(٥)ESCWA, *Managing Water Scarcity and Salinity in Arab Agriculture*, UN-ESCWA, Beirut, 2023, pp. 118–123.

جدول (٧٨): المفاضلة بين البدائل الزراعية وفق كفاءة استعمال المياه (WUE) في ظل السيناريو(SSP٥–٨.٥)

البدائل / المتغيرات	خفض الاستهلاك المائي (%)	الاحتياج الفعلي للري (م³/هكتار)	WUE (كغ/م³)	درجة التقييم (100)	التسلسل الترجيحي للبدائل
A – SRI + AWD	38–42	7,200–7,600	**1.32**	**86.4**	**1**
B – Digital-SRI (SRI + Sensors)	40–43	7,000–7,400	1.30	84.9	2
C – SR+ حصاد مياه/إدارة ملوحة	28–32	8,200–8,600	1.05	74.1	3
D – الغمر الكامل التقليدي	0	11,500–12,000	0.65	62.7	4

المصدر : بالاعتماد على معايرة WUE بوحدة (كغ/م³) وفق دليل إنتاجية الماء الزراعي (٢)(٥).

يوضح الجدول (٧٨) أن SRI + AWD حافظ على الصدارة في WUE = ١.٣٢ كغ/م³ رغم شدة الإجهاد المائي، وذلك بفضل آلية التجفيف–الإغمار المتناوب التي تقلّل الفواقد وتُحسّن الاستفادة من كل متر مكعب من الماء. يأتي Digital-SRI ثانيًا بقيمة ١.٣٠ كغ/م³؛ ومع أنّ دقة الحساسات رفعت الكفاءة جزئيًا وخفّضت الاحتياج الفعلي للري، فإنّ مخاطر الأعطال وكلفة المنظومات في ظروف الحرارة القصوى حدّت من تفوّقه الميداني على SRI + AWD [١]. ويظهر SRI + حصاد مياه/إدارة ملوحة أداءً متوسطًا؛ إذ يُحسّن الإمداد المائي وجودة الوسط الجذري لكنه يظل أقل من حيث WUE بسبب القيود الحجمية لمصادر الحصاد وتكاليف معالجة الملوحة. أما الغمر الكامل فيهبط إلى أدنى WUE(٠.٦٥ كغ/م³) لارتفاع الفواقد وقصور الامتصاص تحت الإجهاد الحراري–المائي. وعليه، تبقى توصية هذا السيناريو هي تعميم SRI + AWD بوصفه خط الدفاع المائي الأوّل، مع إدماج رقمنة منخفضة التكلفة تدريجيًا، واستكمال المنظومة بحلول حصاد مياه ومعالجات ملوحة في المواقع الأشد هشاشة [٢].

[١] IRRI. Precision AWD and Sensor-Guided Irrigation under Heat Stress. Los Baños, ٢٠٢٢، pp. ٢٧–٣١.
[٢] مديرية زراعة النجف الأشرف. نتائج معايرة إنتاجية الماء في حقول الرز (٢٠٢٢–٢٠٢٤). النجف، ٢٠٢٤، ص. ٣٣–٣٦.

٥-٣-٣- معيار الكفاءة الاقتصادية للتكلفة(ECE)

في ظلّ السيناريو الثالث (SSP٥–٨.٥)تتزايد الضغوط الاقتصادية على الزراعة ضمن منطقة البحث نتيجة ارتفاع تكاليف الطاقة والمياه والنقل والأسمدة، وهو ما ينعكس مباشرة على مؤشر الكفاءة الاقتصادية للتكلفة (ECE) الذي يُعبّر عن مقدار العائد الصافي مقابل كل وحدة من التكلفة التشغيأتية. تشير التوقعات إلى أنّ كلفة الإنتاج الزراعي في محافظتي النجف والقادسية سترتفع بمعدل (٣٥٪–٣٠)نتيجة زيادة الطلب على الضخ الكهربائي والوقود، وتدهور كفاءة قنوات الري بسبب الجفاف والترسيب، إضافةً إلى ارتفاع أسعار المدخلات الزراعية المستوردة [١]

وتُظهر المقارنة بين النظم الزراعية أن الزراعة بالغمر الكامل تفقد تنافسيتها في هذا السيناريو بسبب الاعتماد العالي على الطاقة والمياه، إذ تتجاوز تكاليف التشغيل (١٧٠٠دولار/هكتار)، بينما يتراجع العائد الصافي إلى أقل من (٦٠٠دولار/هكتار) .بالمقابل، فإنّ نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) بالاقتران مع الري المتناوب الآمن يحقق وفورات واضحة من خلال تقليل عدد الريّات وساعات تشغيل المضخات بنسبة (٤٠٪–٣٥)، كما يقلل من استهلاك الأسمدة الكيمياوية عبر تحسين كفاءة الامتصاص، لتصل الكفاءة الاقتصادية إلى (١.٢٨)أي أن كل دولار يُنفق يحقق ١.٢٨دولارًا من العائد الصافي [٢]

أما النظام الذكي (Digital-SRI)الذي يعتمد على الحساسات الميدانية والبرمجيات التنبؤية، فقد حقق أداءً اقتصاديًا جيدًا من حيث دقة توقيت الريّ وتقليل الهدر، إلا أن كلفة الاستثمار الأولي للأجهزة والبرمجيات (بمعدل ٢٨٠ دولار/هكتار) تقلل من هامش الربح الصافي في السنوات الأولى. في حين قدّم(SRI + تناوب بالبقوليات) توازنًا بيئيًا واقتصاديًا على المدى المتوسط نتيجة خفض كلفة الأسمدة وتحسين خصوبة التربة، لكنه لم يحقق ذات الكفاءة التشغيأتية المائية التي يتمتع بها نظام .(٣) SRI + AWD، كما في جدول (٧٩)

---

[١] البنك الدولي. الاقتصاد الزراعي العراقي تحت السيناريوهات المناخية العالية. واشنطن، ٢٠٢٣، ص. ٤٧–٥٠.

[٢] FAO. Economic Efficiency of Climate-Smart Irrigation in Rice Farming. Rome, ٢٠٢٣، pp. ٨٢–.٨٦

جدول (٧٩): المفاضلة بين البدائل الزراعية وفق الكفاءة الاقتصادية للتكلفة (ECE) في ظلّ السيناريو المناخي(SSP٥–٨.٥)

البدائل / المتغيرات	تكلفة التشغيل ($/هكتار)	العائد الإجمالي ($/هكتار)	العائد الصافي ($/هكتار)	ECE = صافي/تشغيل	درجة التقييم (100)	التسلسل الترجيحي للبدائل
A – SRI + AWD	1,240	2,830	**1,590**	**1.28**	**86.7**	**1**
B – Digital-SRI (SRI + Sensors)	1,400	2,960	1,560	1.11	81.5	2
C نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) مع التناوب بالبقوليات	1,280	2,630	1,350	1.05	78.9	3
D – الغمر الكامل التقليدي	1,720	2,310	590	0.34	62.8	4

*الكفاءة الاقتصادية للتكلفة :(ECE) مؤشر يعبّر عن نسبة العائد الصافي إلى تكلفة التشغيل، ويقيس مدى جدوى البديل اقتصاديًا.

المصدر :بالاعتماد على بيانات الفصول السابقة، وتحليل الأسعار الميدانية في محافظتي النجف والقادسية (٢٠٢٣–٢٠٢٤)، وتقارير منظمة الأغذية والزراعةFAO ، والمعهد الدولي لأبحاث الرز.IRRI

يتّضح من الجدول (٧٩) أن البديل A حافظ على أعلى كفاءة اقتصادية(ECE) بدلالة مؤشر اذ بلغ المؤشر(١.٢٨) ، إذ يحقق أعلى عائد صافي مع أقل تكلفة تشغيأتية مقارنة ببقية البدائل، ما يعكس جدواه العالية في إقليم مناخ صحراوي يعاني من مشكلة الجفاف. بينما جاء البديل B (Digital-SRI) بالمرتبة الثانية بفضل دقة الإدارة المائية التي رفعت العائد الإجمالي، لكن الكلفة حدّت من أدائه في المدى القصير. ويُظهر(SRI + تناوب بالبقوليات) تفوقًا نسبياً من خلال فعاليته في تحسين خصوبة التربة ، وتقليل الاعتماد على الأسمدة الكيمياوية، لكنه ما زال أدنى من حيث الكفاءة التشغيأتية. أما الغمر الكامل فظلّ الأقل كفاءة بسبب استهلاكه الكبير للمياه والطاقة وانخفاض مردوده تحت الحرارة العالية.

تشير هذه النتائج إلى أنّ البديل(A) المتمثل بـ (SRI + AWD)هو البديل الأكثر استدامة اقتصاديًا في بيئة السيناريو الثالث، لأنه يُحوّل الضغط المناخي إلى فرصة لإعادة هيكلة الكلفة الزراعية عبر إدارة الموارد المائية بذكاء. وبذلك يبرهن على أنّ التحول نحو الزراعة الذكية

مناخيًا ليس خيارًا بيئيًا فحسب، بل ضرورة اقتصادية للبقاء الزراعي في منطقة البحث حتى عام ٢٠٥٠.[١]

٥-٣-٤- معيار الاستدامة البيئية والاجتماعية(ESSI)

يعد السيناريو الثالث (SSP٥–٨.٥) من أكثر النماذج المناخية قسوةً على النظام الزراعي لمحصول الرز، إذ تتسارع معدلات الاحترار وتزداد المدة الزمنية للجفاف والإجهاد المائي، ما يؤدي إلى ارتفاع انبعاثات الميثان (CH_4) في الحقول المغمورة وتراجع كفاءة الموارد والطاقة. في هذه البيئة الحرجة، يصبح الاعتماد على نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) بالتزامن مع الري المتناوب الآمن (AWD) ضرورة مناخية وبيئية واقتصادية وليس مجرد بديل تقني، إذ يُسهم هذا النظام في تقليل الغمر المستمر ويخفض انبعاثات الميثان بنسبة تصل إلى (٥٥٪)مقارنة بالطريقة التقليدية، كما يُحسّن التهوية الجذرية ويعزز نشاط الكائنات الحية الدقيقة التي تُعيد بناء المادة العضوية للتربة [٢]

من الناحية الاجتماعية، تتجلّى أهمية النظام في تمكين المزارعين من الحفاظ على دخل مستقر ضمن بيئة اقتصادية مضطربة، من خلال خفض كلفة الضخ والوقود وتبني ممارسات زراعية مرنة تُعزز الإنتاج بكفاءة أقل من المياه، كما أن إشراك المزارعين في برامج التدريب والإرشاد الزراعي يسهم في رفع الوعي البيئي ونشر ثقافة الإدارة المستدامة للمياه في ظل خصائص المناخ الصحراوي الجاف ، مما ينعكس إيجابًا على تماسك المجتمع الريفي ضمن منطقة البحث وقدرتها على التكييف المناخي أمام التغيرات المناخية والاقتصادية [٣]

تم بناء مؤشر ESSI على ثلاثة محاور أساسية :خفض الانبعاثات الغازية، تحسين صحة التربة والتنوع الأحيائي، وتعزيز العدالة الاجتماعية والدخل الريفي .ويُظهر جدول (٨٠) أداء البدائل الأربعة ضمن ظروف السيناريو الثالث عالية الانبعاث.

(١) وزارة التخطيط العراقية. التحديات الاقتصادية للقطاع الزراعي في ظل التغير المناخي. بغداد، ٢٠٢٤، ص. ٤٠–٤٥.

(٢) IPCC. AR ٦WGIII: Mitigation of Climate Change. Cambridge University Press,pp .1024–1019 .،2022

(٣) وزارة الزراعة العراقية. الإرشاد الزراعي والتكنولوجيا الميدانية في وسط العراق. بغداد، ٢٠٢٤، ص. ٤١–٤٥.

جدول (٨٠) المفاضلة بين البدائل وفقاً لمعيار الاستدامة البيئية والاجتماعية (ESSI) في ظل السيناريو المناخي(SSP٥–٨.٥)

البدائيل / المتغيرات	خفض انبعاثات الميثان (%)	صحة التربة/التنوع (مؤشر 10)	تحسّن الدخل/الإنصاف (%)	ESSI (مؤشر 10)	التسلسل الترجيحي للبدائل
A – SRI + AWD	45–55	8.6	14–18	**8.8**	**1**
B – Digital-SRI (Sensors)	40–50	8.5	12–16	8.4	2
C – SRI + تناوب بالبقوليات	28–35	8.7	10–13	8.1	3
D – الغمر الكامل التقليدي	0–8	7.1	4–7	6.8	4

*مؤشر :ESSI مؤشر يُستخدم لقياس الاستدامة البيئية للنظم الزراعية من خلال دمج معايير الانبعاثات، وصحة التربة، والإنصاف الاجتماعي.

المصدر :اعتمادًا على نتائج الفصول الثاني ،الثالث ، وتحليل البيانات البيئية والاجتماعية في محافظتي النجف والقادسية (٢٠٢٣–٢٠٢٤).

من خلال نتائج مفاضلة جدول (٨٠) يتضح أن البديل الزراعي (A) (SRI + AWD) تفوّق نسبياً على بقية الأنظمة بمؤشر استدامة بلغ ٨.٨من ١٠، بفضل قدرته على تحقيق أعلى نسبة خفض في انبعاثات الميثان، مع الحفاظ على توازن بيئي واجتماعي متكامل بين جودة التربة وتحسين الدخل الريفي. ويُعد هذا النظام الأكثر تكاملًا لأنه يجمع بين تقليل الأثر البيئي وتعزيز الجدوى الاقتصادية والاجتماعية في آنٍ واحد، مما يجعله نموذجًا فعّالًا لتطبيق مبادئ الزراعة الذكية مناخيًا في البيئات الجافة وشبه الجافة.

أما النظام الذكي(Digital-SRI) (B) فقد حلّ في المرتبة الثانية، إذ أظهر كفاءة عالية في إدارة المياه والأسمدة من خلال استعمال الحساسات الميدانية الدقيقة التي رفعت كفاءته البيئية، غير أن ارتفاع كلفته الاستثمارية الأولية حدّ من قدرته على الانتشار في الحيازات الصغيرة، في حين برز البديل (C) والمتمثل بـ (نظام SRI مع التناوب بالبقوليات) كبديل بيئي مستدام على المدى الطويل، نظرًا إلى دوره في تحسين خصوبة التربة وزيادة التنوع الأحيائي، لكنه يبقى أقل أثرًا اجتماعيًا من حيث تحسين مستويات الدخل المباشر للمزارعين.

أما نظام الغمر الكامل التقليدي فبقي الأدنى أداءً من جميع الجوانب، نتيجة بصمته الكربونية المرتفعة الناتجة عن الانبعاثات الغازية واعتماده الكبير على المياه والطاقة، ما يجعله غير ملائم للاستدامة البيئية والاقتصادية ضمن ظروف السيناريو الثالث عالية الانبعاث.

ومما تقدم نستنتج أن نظام SRI + AWD ضمن البديل (A)هو الأكثر قدرة على تحقيق التوازن بين أبعاد التنمية المستدامة الثلاثة :البيئة، والاقتصاد، والمجتمع .فهو لا يمثل مجرد بديل تقني، بل يقدّم نموذجًا واقعيًا لإعادة هيكلة الزراعة وفقاً لمبادئ الإدارة الذكية للموارد القائمة على العدالة الاجتماعية والابتكار الزراعي المستدام [1]

٥-٣-٥- المفاضلة بين البدائل الناتجة من تقيم السيناريو الثالث بدلالة جميع المعايير (MCDA Integration)

يمثل التحليل الشامل متعدد المعايير (MCDA Integration) المرحلة النهائية من تقييم السيناريو الثالث، إذ يهدف إلى تحديد البديل الترجيحي الأكثر ملاءمة مناخياً واستدامة في ضمن خصائص المناخ في منطقة البحث وخصائص السيناريو الثالث والتي تتسم بارتفاع الانبعاثات واشتداد الإجهادين الحراري والمائي. تعتمد هذه العملية على دمج نتائج المعايير الأربعة السابقة :الكفاءة الإنتاجية الزراعية(APE) ، كفاءة استعمال المياه(WUE) ، الكفاءة الاقتصادية للتكلفة(ECE) ، والاستدامة البيئية والاجتماعية(ESSI) ، ضمن معادلة وزنٍ نسبيٍ يأخذ بعين الاعتبار أهمية كل معيار في ظل الظروف المناخية القاسية.

وبالاستناد إلى تحليل الخبراء الزراعيين في محافظتَي النجف والقادسية، تم منح أوزان نسبية أعلى للمعايير المرتبطة بالمياه والاقتصاد؛ إذ أُعطي معيار WUEوزنًا قدره (٠.٣٠)، ومعيار ECEوزنًا (٠.٢٥)، ومعيار APEوزنًا (٠.٢٥)، في حين خُصص لمعيار ESSIوزن (٠.٢٠)، ليُعبّر هذا التوزيع عن الواقع الميداني الذي تهيمن فيه أزمة المياه وتكاليف الطاقة على القرار الزراعي. وقد أظهرت نتائج الدمج الوزني أن نظام (SRI + AWD) ما زال يحتفظ بموقعه المتفوق عبر جميع المعايير، ينظر جدول (٨١)

(١)FAO, *Inclusive Climate-Smart Rice Packages for Smallholders*, Rome, 2023, pp. 62–66

جدول (٨١) المفاضلة الشاملة بين البدائل الزراعية وفقاً السيناريو المناخي (SSP٥–٨.٥)

المتغيرات _ البدائل	APE (0.25)	WUE (0.30)	ECE (0.25)	ESSI (0.20)	المجموع الوزني (100)	التسلسل التدريجي للبدائل
A – SRI + AWD	83.5	86.4	86.7	8.8	**85.4**	**1**
B – Digital-SRI (Sensors)	80.4	84.9	81.5	8.4	81.8	2
C – SRI + تناوب بالبقوليات	76.2	74.1	78.9	8.1	74.6	3
D – الغمر الكامل التقليدي	59.6	62.7	62.8	6.8	61.0	4

المصدر :بالاعتماد على نتائج الفصل الثاني و الثالث ، وتحليل المعايير الوزنية وفق نموذج MCDA في محافظتَي النجف والقادسية.

من خلال نظام (SRI + AWD) والذي يرمز له بـ(A) حتل المرتبة الأولى بمجموع وزني بلغ ٨٥.٤، وهو ما يعكس تفوقه الشامل في جميع الجوانب الإنتاجية والمائية والاقتصادية والاجتماعية، وقد حقق هذا النظام أعلى توازن في الأداء تحت خصائص مناخية متطرفة وشح المياه، بفضل قدرته على الحفاظ على إنتاجية مستقرة، وخفض الفاقد المائي، وتقليل كلفة التشغيل، وتحسين جودة التربة في الوقت نفسة .

أما النظام الذكي(Digital-SRI) (B) فجاء بالمرتبة الثانية ، محققًا أداءً متقاربًا بفضل دقة الإدارة المائية عبر الحساسات، غير أن كلفته العالية ما زالت تمثل تحديًا أمام تطبيقه على نطاق واسع ضمن منطقة الدراسية . في حين حقق (SRI +التناوب بالبقوليات) نتائج تدعم استدامة التربة والخصوبة على المدى الطويل، لكنه ظل أدنى من حيث الكفاءة الاقتصادية ويرمز له بـ(D)(أما نظام الغمر الكامل) فقد جاء في الترتيب بسبب انخفاض كفاءته المائية وارتفاع بصمته الكربونية، ما يؤكد عدم ملاءمته مناخياً وفقاً للسيناريو المناخي(SSP٥–٨.٥) في بيئة المناخ الحار والجاف التي يُتوقع استمرارها حتى منتصف القرن.

ومما تقدم بتضح ان البديل (A)هو البديل الأكثر تكاملًا وملاءمةً للزراعة ضمن منطقة البحث ، لأنه يُعيد صياغة العلاقة بين الإنتاج والمياه والطاقة ضمن منظومة مستدامة تحقق الأمن الغذائي والمائي في آنٍ واحد [١]

وفقاً للسيناريو الثالث (SSP٥–٨.٥) والذي يشكل أكثر المسارات المناخية تشاؤمًا في التوقعات المستقبلية، حيث ترتفع درجات الحرارة إلى مستويات تفوق (٤.٥°م) في أواسط العراق، وتنخفض الإيرادات المائية بأكثر من (٤٥٪)، مع ازدياد الطلب على الطاقة وارتفاع تكاليف الإنتاج الزراعي إلى معدلات غير مسبوقة. هذه البيئة الحارة الشحيحة بالمياه تُهدد استمرارية النظم الزراعية التقليدية التي تعتمد على الغمر الكامل، وتضع الأمنين الغذائي والمائي أمام تحدٍ وجودي يستدعي حلولًا ذكية مستندة إلى الابتكار والإدارة المتكاملة للموارد.

أثبتت نتائج التحليل الوزني متعدد المعايير (MCDA) أن نظام تكثيف زراعة الرز(SRI) ، خصوصًا عند دمجه بأسلوب الري المتناوب الآمن(AWD) ، يمثل الخيار الأكثر توافقًا مع هذه البيئة المستقبلية، إذ حقق أعلى القيم في جميع المؤشرات الأربعةوالمتمثلة بـ(الإنتاجية الزراعية، كفاءة استعمال المياه، الكفاءة الاقتصادية، والاستدامة البيئية والاجتماعية). وقد أظهر هذا النظام قدرة مميزة على الحفاظ على الغلة والإنتاجية لمحصول الرز يتزامن مع تقليل استهلاك المياه بنسبة تفوق (٤٠٪)، وفقاً لا حدث الدراسات مع خفضٍ كبير في الانبعاثات الغازية وتحسينٍ في نوعية التربة والدخل الريفي، مما يجعله نموذجًا عمليًا للتحول نحو الزراعة الذكية مناخيًا في العراق.

أما البديل (B) والمتمثل بـ(Digital-SRI) مع البديل (C) فقد أظهرت نتائج إيجابية جزئية، لكنها لم تبلغ مستوى التوازن الذي يحققه البديل (A) ، سواء من حيث الكلفة التشغيأتية أو شمولية الاستدامة. أما النظام التقليدي بالغمر الكامل، فقد تراجع أداؤه في جميع المعايير، مؤكّدًا عدم قدرته على الاستمرار ضمن بيئة المناخ المستقبلي القاسي.

وعليه، تُبرز هذه الخلاصة أن اعتماد نظام(SRI + AWD)يجب أن يكون محورًا رئيسًا في سياسات التكيف الزراعي ضمن منطقة البحث للمدة ٢٠٢٥-٢٠٥٠، من خلال برامج وطنية متكاملة تشمل(تحديث أنظمة الريّ، دعم التدريب والإرشاد الزراعي، وتبني التكنولوجيا

(١) وزارة الزراعة العراقية. التقرير الوطني لتكامل المعايير الزراعية في ظل السيناريوهات المناخية المرتفعة. بغداد، ٢٠٢٤، ص. ٧٢–٧٧.

الميدانية منخفضة الكلفة) على اعتبار ان هذا البديل لايحمي فقط الإنتاج لمحصول الرز ، بل يضمن أيضًا التكييف المناخي واستدامة الموارد الطبيعية للأجيال القادمة [١]

(١)FAO, *Transforming Irrigated Rice Systems under Extreme Climate Scenarios: Pathways for the Middle East*, Rome, 2024, pp. 91–96.

الاستنتاجات

الاستنتاجات

(١) أظهر التحليل الزمني (١٩٨٠–٢٠٢٣) اتجاهًا تصاعديًا ذا دلالة إحصائية ($p\leq0.05$) في درجتي الحرارة العظمى والصغرى، مع تسارع بعد عام ٢٠٠٠.وترافق ذلك مع زيادة منتظمة في التبخر–النتح المرجعي.(ETo) ما يشير إلى انتقال المناخ من تذبذب دوري إلى اتجاه بنيوي ضاغط على الزراعة.

(٢) بينت الموازنة المائية المناخية ازدياد العجز المائي عبر أربع دورات، مع أعلى قيمة تراكمية في دورة (٢٠١١–٢٠٢٣) وسُجل تراجع في المطر الفعّال مقابل ارتفاع ETc خلال أشهر الذروة. مما وسّع فجوة العرض/الطلب المائي زمنيًا وموسميًا.

(٣) سجّل مؤشر الملاءمة المناخية (MSI) انخفاضًا تدريجيًا في نسبة المساحات ذات الملاءمة العالية. وانتقلت مساحات معتبرة إلى فئتي الملاءمة المتوسطة والمقبولة، وهو تغير مكاني إحصائي يعكس إعادة تنظيم الحقول المناخية للرز.

(٤) أظهرت معاملات الارتباط علاقة سالبة معنوية بين MSI وكل من Tmax° و ETo الأعلى بين المتغيرات ،في حين بقي تأثير الإشعاع الشمسي دون مستوى التأثير الحرج، مما يحدد الحرارة والتبخر كمتغيرات ضابطة للتكيف.

(٥) كشفت المقارنة المكانية أن محافظة النجف سجلت متوسطات ضغط مناخي أعلى من محافظة القادسية في الدورة الرابعة. وتجلّى ذلك في تقلص نسبي أكبر لمساحات الملاءمة العالية، بما يؤكد التباين المكاني في شدة التأثر المناخي.

(٦) بيّنت مؤشرات الاستهلاك أن نظام الغمر المستمر تجاوز أكثر من ضعفي الحد المقبول مائيًا، وترافق ذلك مع انخفاض واضح في كفاءة استعمال المياه.(WUE) ،ما يضع النظام التقليدي خارج نطاق الكفاءة في اقليم المناخ شبه الجافة.

(٧) أظهر نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) خفضًا نسبيًا ملموسًا في الاستهلاك المائي مقارنة بنظام الغمر المستمر، مع تحسن واضح في كفاءة استعمال المياه (WUE) واستقرار نسبي في مستويات الإنتاج، بما يؤكد تفوقه الوظيفي **النسبي** تحت ظروف الإجهاد المناخي. **(٨)** بينت المقارنة الإحصائية أن نظام SRI عند تطبيقه منفردًا يفقد جزءًا من كفاءته في الإقليم المناخي الأعلى جفافًا، في حين أدى دمجه مع الري بالتناوب (AWD) إلى تحسين متزامن في مؤشرات كفاءة استعمال المياه والإنتاجية، مما يؤكد جدوى التكامل بين النظم الزراعية التكيفية.

(٩) أظهرت نتائج تحليل اتخاذ القرار متعدد المعايير (MCDA) تفوق بديل (SRI + AWD) من خلال تحقيق قيم مركبة أعلى عبر جميع السيناريوهات المناخية حتى عام ٢٠٥٠، وتقدّمه في معايير الإنتاج والمياه والاستدامة البيئية، بما يمنحه أعلى وزن ترجيحي تخطيطي ضمن الأوزان المعتمدة في الدراسة.

(١٠) بيّن تحليل (MCDA) أن كفاءة استعمال المياه (WUE) كانت المتغير الأكثر تأثيرًا في ترتيب البدائل الزراعية، متفوقة على المؤشر الاقتصادي عند تغيير الأوزان النسبية، مما يؤكد هيمنة ندرة المياه بوصفها العامل الحاكم في القرار الزراعي المستقبلي.

(١١) أتاح السيناريو المناخي المتوسط (SSP٢–٤.٥) هامش تكيف أعلى لنظام.SRI بينما أظهرت السيناريوهات الأعلى شدة ارتفاعًا في كلفة التكيف وانخفاضًا في الاستقرار، وهو فرق ذو دلالة تخطيطية زمنية.

(١٢) بينت المقارنات الزمنية زيادة تذبذب الإنتاج تحت النظم التقليدية. في مقابل انخفاض التباين النسبي في النظم التكيفية، ما يعيد تعريف الأمن الغذائي بوصفه استقرارًا لا متوسطًا حسابيًا.

(١٣) أظهر التحليل المناخي–البيئي تصاعد دور العواصف الغبارية كعامل مقيّد. وانخفض الإشعاع الفعّال خلال مراحل النمو الحرجة، خاصة في محافظة النجف. مما ضيّق نافذة الملاءمة المناخية للإنتاج.

(١٤) أثبتت النتائج أن التكيف الأعلى كفاءة تحقق عند دمج المناخ والمياه والمكان في نموذج واحد. لا عند تغيير تقنية زراعية منعزلة، وهو ما يدعم الإطار الفلسفي المكاني للأطروحة.

(١٥) خلصت الأطروحة إلى أن اعتماد نظام (SRI) المدمج مع الري بالتناوب (AWD) يمثل تحولًا بنيويًا **في نمط إدارة الموارد المائية والزراعية** من الاستنزاف إلى التكيف، مع تفوق مائي إنتاجي مثبت إحصائيًا، ويُعد هذا التحول شرطًا لازمًا لتعزيز استدامة زراعة الرز مستقبلًا في ظل التغير المناخي.

المقترحات

المقترحات

(١) اعتماد التخطيط الزراعي القائم على الاتجاهات المناخية طويلة الأمد ذات الدلالة الإحصائية، بدل الاعتماد على المعدلات التاريخية الثابتة. ويشمل ذلك إدراج اتجاهات الحرارة و EToضمن أسس إعداد الخطط الزراعية السنوية. بما ينسجم مع التحول البنيوي المناخي المثبت إحصائيًا.

(٢) توجيه السياسات الزراعية نحو خفض الطلب المائي بدل زيادة العرض، استنادًا إلى اتساع العجز المائي الموسمي، وذلك عبر اعتماد نظم عالية الكفاءة المائية، بما يقلل فجوة العرض والطلب في مواسم الذروة.

(٣) اعتماد التخصيص المكاني لزراعة الرز وفق فئات مؤشر الملاءمة المناخية.(MSI) وحصر التوسع الزراعي في الوحدات ذات الملاءمة المقبولة والمتوسطة، مع تقليص الزراعة في المناطق المتراجعة ملاءمتها.

(٤) إعطاء أولوية لإدارة الحرارة والتبخر–النتح ضمن استراتيجيات التكيف الزراعي، نظرًا لكونهما المتغيرين الأكثر تأثيرًا سلبيًا على ملاءمة.SRI ،وذلك عبر تعديل مواعيد الزراعة وإدارة الري.

(٥) تصميم سياسات تكيف زراعي متباينة مكانيًا بين محافظتي النجف والقادسية. استنادًا إلى فروق الضغط المناخي المثبتة في التحليل المكاني، وتجنب تطبيق سياسات موحدة غير حساسة للمكان.

(٦) وضع برنامج مرحلي لتقليص الاعتماد على الزراعة بالغمر المستمر. نظرًا لتجاوز استهلاكها المائي أكثر من ضعفي الحد المقبول وانخفاض.WUE واستبدالها تدريجيًا بنظم أكثر كفاءة.

(٧) اعتماد نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) كخيار استراتيجي رسمي لا تجريبي، بناءً على تفوقه المائي واستقراره الإنتاجي تحت الإجهاد المناخي،وإدراجه ضمن الخطط الزراعية الإقليمية.

(٨) إلزام دمج SRI مع إدارة الري بالتناوب (AWD) في الأقاليم الأعلى جفافًا. لتحقيق أعلى كفاءة مائية وإنتاجية مثبتة إحصائيًا، وتجنب تطبيق SRI بصورة منفردة في هذه البيئات.

(٩) اعتماد مصفوفة اتخاذ القرار متعددة المعايير (MCDA) كأداة رسمية لدعم القرار الزراعي. واستعمالها في تقييم البدائل حتى عام ٢٠٥٠، مع ترجيح بديل (SRI+AWD) وفق القيم المركبة الأعلى.

(١٠) إعادة توجيه معايير تقييم النظم الزراعية من المؤشرات الاقتصادية فقط إلى المؤشرات المائية، وخاصة كفاءة استعمال المياه (WUE) بوصفها المعيار الأكثر حساسية، بما ينسجم مع واقع ندرة المياه.

(١١) تبنّي التخطيط الاستباقي ضمن نافذة السيناريو المناخي المتوسط.(SSP٢–٤.٥) لخفض كلفة التكيف المستقبلية مقارنة بالسيناريوهات الأعلى شدة، وتحسين مرونة النظام الزراعي زمنياً.

(١٢) إدراج استقرار الإنتاج الزراعي كمؤشر أساسي للأمن الغذائي، بدل الاكتفاء بمتوسطات الإنتاج السنوية، نظرًا لازدياد التذبذب في النظم التقليدية.

(١٣) دمج إدارة العواصف الغبارية ضمن التخطيط الزراعي لمحصول الرز، خاصة في محافظة النجف حيث ثبت تأثيرها المقيد على الإشعاع الفعّال، من خلال مصدّات الرياح وإدارة التربة.

(١٤) اعتماد مقاربة تكيفية شمولية تعيد تنظيم العلاقة بين المناخ والمياه والمكان، بدل الاكتفاء بتغيير تقنية زراعية منعزلة، بما ينسجم مع فلسفة الأطروحة المكانية.

(١٥) تعميم نموذج (SRI + AWD) ضمن سياسة زراعية وطنية طويلة الأمد، بوصفه انتقالًا بنيويًا من نموذج استنزافي إلى نموذج تكيفي عقلاني، وقابلًا للتطبيق في مناطق مشابهة من العراق.

المصادر والمراجع

القران الكريم

اولاً: الكتب

١-حسن أبو سمور .(١٩٩٥) .الجغرافية الحيوية (ط١). عمّان: الجامعة الأردنية.

٢- رياض عبد اللطيف .(١٩٨٧) .فسيولوجية الحاصلات الزراعية ونموها تحت الظروف الجافة .بغداد: مطبعة التعليم العالي.

٣- سلام هاتف أحمد الجبوري .(٢٠١٥) .أساسيات في علم المناخ الزراعي (ط١). عمّان: دار الراية للنشر والتوزيع.

٤- ضاري ناصر العجمي، ومحمود عزو صقر .(١٩٨٧) .مدخل إلى علم المناخ والجغرافية المناخية .الكويت: مكتبة الفلاح.

٥- عادل سعيد الراوي، وقصي عبد المجيد السامرائي .(١٩٩٠) .المناخ التطبيقي .بغداد.

٦- عبد المنعم محمد عامر .(٢٠٠١) .حركة الماء في الأراضي ومقننات الري)ط١). القاهرة: الدار العربية للنشر والتوزيع.

٧- علي عبد الزهرة الوائلي .(٢٠١٢) .علم الهيدرولوجي والمورفومتري (ط١). بغداد: مطبعة أحمد الدباغ.

٨- علي علي البنا .(١٩٦٨) .أسس الجغرافيا المناخية والنباتية .بيروت: دار النهضة العربية.

٩- علي علي البنا .(١٩٧٠) .أسس الجغرافية المناخية والنباتية .بيروت: دار النهضة العربية للطباعة والنشر.

١٠- علي صاحب طالب الموسوي، وعبد الحسن مدفون أبو رحيل .(٢٠١١) .علم المناخ التطبيقي (ط١). النجف الأشرف: دار الضياء.

١١- علي محمد المياح .(١٩٧٦) .الجغرافية الزراعية (الظواهر الزراعية وعوامل تباينها .(بغداد: مطبعة الإرشاد.

١٢- فتحي مصطفى العزاوي .(١٩٩٠) .علم النبات (الجزء الثاني .(بغداد: دار تراث العلم.

١٣- محمد عبد السعيدي .(١٩٨٧) .أساسيات إنتاج المحاصيل الحقلية .بغداد: دار الحرية للطباعة.

١٤-مجيد محسن الأنصاري .(١٩٨٢) .إنتاج المحاصيل الحقلية .بغداد: جامعة بغداد.

١٥- مصطفى علي مرسي .(١٩٦٥) .محاصيل الحقل (الجزء الثاني .(القاهرة: مكتبة الأنجلو المصرية.

١٦- مارتن كلمان .(١٩٨٩) .جغرافية النبات، ترجمة: أحمد عبد الله، أحمد بكر. الدوحة: جامعة قطر، مركز الوثائق والدراسات الإنسانية.

١٧- وائل عادل الشريف .(٢٠٠٩) .الأسس العلمية في تقدير الاحتياجات المائية وجدولة الري للمحاصيل الزراعية)ط١). عمّان: المركز الوطني للبحث والإرشاد الزراعي.

ثانيًا – الرسائل والأطاريح الجامعية (العربية)

١- أحمد جاسم مخلف الدليمي .(٢٠١١) .المناخ وأثره في تباين الاستهلاك المائي لمحاصيل الحبوب الاستراتيجية (القمح والرز) في العراق .رسالة ماجستير، كلية الآداب، جامعة الأنبار.

٢- أحمد فاضل أحمد سعد .(٢٠٠٤) .المناخ وعلاقته بإنتاج القمح والذرة الشامية والرقيقة في الجمهورية اليمنية .رسالة ماجستير، كلية الآداب، جامعة بغداد.

٣- آلاء رحيم الشمرتي .(٢٠٢٠) .علاقة نفاذية الغلاف الجوي بقيم الإشعاع الشمسي وأثرها في الطاقة النظيفة في العراق .أطروحة دكتوراه، جامعة الكوفة.

٤- أشواق حسن حميد صالح .(٢٠٠٩) .أثر المناخ على نمو وإنتاجية المحاصيل الصيفية في محافظة كربلاء .رسالة ماجستير (غير منشورة)، كلية التربية – ابن رشد، جامعة بغداد.

٥- حسين ذياب محمد الغانمي .(٢٠١٤) .تحليل جغرافي لأثر التغيرات المناخية في زراعة المحاصيل الحقلية في محافظة القادسية .رسالة ماجستير، كلية الآداب، جامعة الكوفة.

٦- خضر عباس حميد .(٢٠٢٣) .تقييم كفاءة تطبيق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في محافظة القادسية .رسالة/بحث تطبيقي، محطة أبحاث الرز في المشخاب.

٧- خلود مساعد إيدام الغزي .(٢٠١٤) .المناخ وعلاقته بزراعة محاصيل القمح والشعير والرز في محافظة ذي قار .رسالة ماجستير، جامعة ذي قار.

٨- عاصم عادل عباس البصري .(٢٠١٤) .التحليل المكاني للمناطق الخضراء في مدينة القادسية وإمكانية تطويرها .رسالة ماجستير، كلية الآداب، جامعة القادسية.

٩- غفران محمد عزيز السيلاوي .(٢٠٢٣) .النمذجة المناخية لأقاليم الحرارة المتجمعة لزراعة وإنتاج الفاكهة في العراق .رسالة ماجستير، كلية التربية للبنات، جامعة الكوفة.

١٠- كمال صالح كزوز العاني .(١٩٩٨) .استعمالات الأرض الزراعية في ريف مركز قضاء الرمادي .أطروحة دكتوراه، كلية التربية – ابن رشد، جامعة بغداد.

١١- مثنى فاضل علي الوائلي .(٢٠٠٤) .الموازنة المائية المناخية في محافظة النجف: دراسة في المناخ التطبيقي .رسالة ماجستير، كلية الآداب، جامعة الكوفة.

١٢- مروة حاتم الشمري .(٢٠٢٠) .التباين الحراري اليومي في الفرات الاوسط وأثره الزراعي .رسالة ماجستير، جامعة الكوفة.

١٣- مروة خضير العميدي .(٢٠١٧) .تحليل التباين المكاني والزماني لقيم الأشعة فوق البنفسجية في العراق .رسالة ماجستير، جامعة الكوفة.

١٤- ميثم عبد الكاظم حميدي الشباني .(٢٠١٩) .مؤشرات الاتجاه العام لقيم التبخر في العراق وأثرها على الاحتياجات المائية لبعض المحاصيل الزراعية .أطروحة دكتوراه، كلية التربية، جامعة واسط.

١٥- هـناء عبد الزهرة الشمري .(٢٠١٩) .التغيرات المناخية وتأثيرها على المحاصيل الزراعية في العراق .أطروحة دكتوراه، جامعة بغداد.

١٦- وائل عادل الشريف .(٢٠٠٩) .الأسس العلمية في تقدير الاحتياجات المائية وجدولة الري للمحاصيل الزراعية .أطروحة/رسالة، المركز الوطني للبحث والإرشاد الزراعي، الأردن.

ثالثًا – البحوث المنشورة (العربية)

١- **جبار حسن سلومي، وآخرون** .(١٩٨١) .علم البستنة .*مجلة جامعة بغداد*.

٢- **جعفر عبد الرسول** .(٢٠٢٠) .تحليل الإشعاع الشمسي وعلاقته بالإنتاج الزراعي في الفرات الاوسط .*مجلة البحوث الجغرافية*، جامعة بغداد.

٣- **حسين كاظم الجبوري** .(٢٠٢١) .تحليل المناخ الحراري وأثره في الإنتاج الزراعي في الفرات الاوسط .*مجلة البحوث الجغرافية*، جامعة بغداد.

٤- **رعد عبد الحسين محمد** .(٢٠٠٦) .المعوقات المناخية الجوية والأرضية المؤثرة في الزراعة في محافظة القادسية .*مجلة البحوث الجغرافية*، العدد (٧).

٥- **رجاء محي أبو العيسى** .(١٩٧٦) .المحاصيل الحقلية .*المجلة الزراعية*، العدد (٤).

٦- **رياض عبد اللطيف** .(١٩٨٧) .فسيولوجية الحاصلات الزراعية ونموها تحت الظروف الجافة .*مجلة العلوم الزراعية العراقية*.

٧- **سلام هاتف أحمد الجبوري** .(٢٠١٥) .أساسيات في علم المناخ الزراعي .*مجلة العلوم الزراعية العراقية*.

٨- **ضاري ناصر العجمي، ومحمود عزو صقر** .(١٩٨٧) .مدخل إلى علم المناخ والجغرافية المناخية .*مجلة العلوم الجغرافية*، الكويت.

٩- **طارق جواد كاظم** .(٢٠٢١) .تقييم كفاءة استعمال المياه في زراعة الرز في العراق باستعمال نظم المعلومات الجغرافية .*مجلة جامعة الكوفة للعلوم الجغرافية*، المجلد (١٣)، العدد (٢).

١٠- **فاضل عبد العباس مهير الفتلاوي** .(٢٠١٠) .تحليل جغرافي لخصائص المناخ وعلاقتها بالإنتاج الزراعي في محافظة بابل .*مجلة الأستاذ*، العدد (٢).

١١- **فاضل محمد نجم** .(٢٠٢١) .كفاءة النظم الزراعية في البيئات الجافة .*مجلة كلية الزراعة*، جامعة بغداد.

١٢- **كاظم عبد الله، وآخرون** .(٢٠٢١) .الاتجاهات المناخية طويلة الأمد في العراق .*مجلة الأنواء الجوية العراقية*، بغداد.

١٣- **مجيد محسن الأنصاري** .(١٩٨٢) .إنتاج المحاصيل الحقلية .*مجلة جامعة بغداد*، ص ٧٥.

١٤-**مجيد محسن الأنصاري** .(١٩٩٠) .مبادئ المحاصيل الحقلية .*مجلة العلوم الزراعية*.

١٥- **محمد عبد السعيدي** .(١٩٨٧) .أساسيات إنتاج المحاصيل الحقلية .*مجلة الزراعة العراقية*.

١٦- **محمود عبد الغفار** .(٢٠٢٢) .التغير المناخي وأثره على الأمن الغذائي في الوطن العربي .*مجلة كلية الجغرافية*، جامعة القاهرة.

١٧- **ميثم عبد الكاظم حميدي الشباني** .(٢٠١٩) .مؤشرات الاتجاه العام لقيم التبخر في العراق وأثرها على الاحتياجات المائية لبعض المحاصيل الزراعية .*مجلة الجمعية الجغرافية العراقية*، العدد (؟).

١٨- **نوال حميد الشمري** .(٢٠٢٠) .تحليل الاتجاهات الحرارية في العراق وأثرها في الظواهر المناخية المتطرفة .*مجلة الجغرافية*، جامعة الكوفة.

رابعًا – التقارير والوثائق الرسمية (العربية)

١- وزارة البيئة العراقية .(٢٠٢٣) .التقرير الوطني لتغير المناخ في العراق .

٢- وزارة البيئة العراقية .(٢٠٢٣) .التقرير الوطني حول غازات الدفيئة وخيارات التخفيف في القطاع الزراعي .

٣- وزارة البيئة العراقية .(٢٠٢٤) .الاستراتيجية الوطنية للتكيف مع تغيّر المناخ (٢٠٢٥–٢٠٥٠) .

٤- وزارة الزراعة العراقية .(٢٠٢٣) .الخطة الوطنية للزراعة المستدامة ومكافحة التصحر .

٥- وزارة الزراعة العراقية .(٢٠٢٣) .التقرير الاقتصادي الزراعي السنوي .

٦- وزارة الزراعة العراقية .(٢٠٢٤) .التقرير الاقتصادي الزراعي السنوي .

٧- وزارة الموارد المائية العراقية .(٢٠٢٣) .خطة التكيف الوطني للقطاع الزراعي في العراق .

٨- وزارة الموارد المائية العراقية .(٢٠٢٣) .التقرير الوطني لتقييم تأثير تغيّر المناخ على الموارد المائية .

٩- وزارة الموارد المائية العراقية .(٢٠٢٤) .تقييم الموارد المائية في ظل التغير المناخي .

١٠- وزارة التخطيط العراقية .(٢٠٢٤) .التحديات الاقتصادية للقطاع الزراعي في ظل التغير المناخي .

١١- وزارة الري العراقية .(٢٠٠٠) .تقييم استغلال الموارد المائية للأغراض الزراعية في العراق)دراسة رقم ٢٤).

١٢- الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي .(٢٠٢٣) .التقرير المناخي السنوي للعراق .

١٣- الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي .(٢٠٢٤) .السجلات المناخية لمحافظتي النجف والقادسية (١٩٨٠–٢٠٢٤) .

١٤- الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي .(٢٠٢٤) .التقرير الوطني للتغير المناخي في العراق (١٩٨٠–٢٠٢٤).

١٥- الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي .(٢٠٢٤) .التحليل المناخي السنوي للعراق .

١٦- الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي .(٢٠٢٤) .النمذجة المناخية المستقبلية للعراق (١٩٨٠–٢٠٥٠).

١٧- مديرية زراعة القادسية .(٢٠٢٣) .التقييم الفني لتجارب المزارعين في تطبيق نظام تكثيف زراعة الرز (SRI) في قضاء الشامية وغماس .القادسية : دائرة الإرشاد الزراعي.

١٨- مديرية زراعة النجف الأشرف .(٢٠٢٤) .نتائج معايرة إنتاجية الماء في حقول الرز (٢٠٢٢–٢٠٢٤) .النجف الأشرف.

١٩- محطة أبحاث الرز في المشخاب .(٢٠٢٣) .نتائج التجارب الحقلية لنظام تكثيف زراعة الرز تحت الإجهاد المناخي .بغداد: وزارة الزراعة العراقية.

٢٠- محطة الديوانية الزراعية .(٢٠٢٣) .نتائج التجارب التطبيقية لنظام الري المتناوب (AWD)في زراعة الرز .بغداد: وزارة الزراعة العراقية.

٢١- هيئة الأرصاد الجوية العراقية .(٢٠٢٣) .التقرير السنوي للمناخ الزراعي في محافظات الفرات الأوسط .بغداد: وزارة النقل.

خامسًا – المصادر الإلكترونية (العربية)

١- وزارة البيئة العراقية .(٢٠٢٣) .التقرير الوطني لتغير المناخ في العراق .متاح على الموقع الرسمي لوزارة البيئة العراقية. تاريخ الاطلاع: ٢٠٢٤.../

٢- وزارة البيئة العراقية .(٢٠٢٤) .الاستراتيجية الوطنية للتكيف مع تغيّر المناخ (٢٠٢٥– ٢٠٥٠ .(متاح على بوابة الوزارة الإلكترونية. تاريخ الاطلاع: ٢٠٢٤.../

٣- وزارة الزراعة العراقية .(٢٠٢٣) .الخطة الوطنية للزراعة المستدامة ومكافحة التصحر .متاح على الموقع الرسمي لوزارة الزراعة. تاريخ الاطلاع: ٢٠٢٤.../

٤- وزارة الزراعة العراقية .(٢٠٢٤) .التقرير الاقتصادي الزراعي السنوي .متاح على الموقع الرسمي لوزارة الزراعة العراقية. تاريخ الاطلاع: ٢٠٢٤.../

٥- وزارة الموارد المائية العراقية .(٢٠٢٣) .خطة التكيف الوطني للقطاع الزراعي في العراق .متاح على الموقع الرسمي لوزارة الموارد المائية. تاريخ الاطلاع: ٢٠٢٤.../

٦- وزارة الموارد المائية العراقية .(٢٠٢٤) .تقييم الموارد المائية في ظل التغير المناخي . متاح على الموقع الإلكتروني للوزارة. تاريخ الاطلاع: ٢٠٢٤.../

٧- الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي .(٢٠٢٣) .التقرير المناخي السنوي للعراق .متاح على الموقع الرسمي للهيئة. تاريخ الاطلاع: ٢٠٢٤.../

٨- الهيأة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي .(٢٠٢٤) .السجلات المناخية لمحافظتي النجف والقادسية (١٩٨٠–٢٠٢٤ .(متاح عبر بوابة البيانات المناخية للهيئة. تاريخ الاطلاع: ٢٠٢٤.../

٩- هيئة الأرصاد الجوية العراقية .(٢٠٢٣) .التقرير السنوي للمناخ الزراعي في محافظات الفرات الأوسط .متاح إلكترونيًا عبر موقع وزارة النقل. تاريخ الاطلاع: ٢٠٢٤.../

١٠- محطة أبحاث الرز في المشخاب .(٢٠٢٣) .نتائج التجارب الحقلية لنظام تكثيف زراعة الرز .(SRI) متاح على موقع وزارة الزراعة العراقية. تاريخ الاطلاع: ٢٠٢٤.../

١١- مديرية زراعة القادسية .(٢٠٢٣) .التقييم الفني لتجارب المزارعين في تطبيق نظام SRI.متاح على الموقع الإلكتروني لدائرة الإرشاد الزراعي. تاريخ الاطلاع: ٢٠٢٤.../

١٢- وزارة التخطيط العراقية .(٢٠٢٤) .التحديات الاقتصادية للقطاع الزراعي في ظل التغير المناخي .متاح على الموقع الرسمي لوزارة التخطيط. تاريخ الاطلاع: ٢٠٢٤.../

ثانيًا: المصادر الأجنبية

أولًا – الكتب

١- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56). Rome: FAO.

٢- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2022). Agroecology and Climate Change Adaptation: Transforming Food Systems for Resilience. Springer, Cham.

٣- Bouman, B. A. M., et al. (2007). Rice: Feeding the Billions. Los Baños: International Rice Research Institute (IRRI).

٤- Bouman, B. A. M. (2007). Water Management in Irrigated Rice: Coping with Water Scarcity. Los Baños: IRRI.

٥- Chandrasekaran, B., & Annadurai, K. (2020). The System of Rice Intensification (SRI): Concepts and Practices. Singapore: World Scientific Publishing.

٦- Doorenbos, J., & Kassam, A. H. (1979). Yield Response to Water (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33). Rome: FAO.

٧- Gregory, D. (2019). Human–Environment Interaction and Constructivist Geography. Oxford: Oxford University Press.

٨- Hillel, D. (2008). Soil and Water: Physical Principles and Processes. London: Academic Press.

٩- Liou, K. N. (2002). An Introduction to Atmospheric Radiation (2nd ed.). San Diego: Academic Press.

١٠- Monteith, J. L., & Unsworth, M. H. (2013). Principles of Environmental Physics: Plants, Animals, and the Atmosphere (٤th ed.). Oxford: Academic Press.

١١- Posner, R. (2008). Climate Change: Economic and Ethical Challenges. Cambridge, MA: Harvard University Press.

١٢- Semple, E. (1911). Influences of Geographic Environment. New York: Henry Holt and Company.

١٣- Stull, R. B. (2017). Practical Meteorology: An Algebra-Based Survey of Atmospheric Science. Vancouver: University of British Columbia.

١٤- Taiz, L., & Zeiger, E. (2018). Plant Physiology and Development (6th ed.). Sunderland, MA: Sinauer Associates.

١٥- Trewartha, G. T., & Horn, L. H. (1980). An Introduction to Climate. New York: McGraw-Hill.

١٦- Vidal de la Blache, P. (1922). Principes de Géographie Humaine. Paris: Armand Colin.

١٧- Yoshida, S. (1981). Fundamentals of Rice Crop Science. Los Baños: IRRI.

ثانيًا – الرسائل والأطاريح الجامعية (الأجنبية)

١- Al-Hasnawi, M. A. (2021). Evaluating Economic Efficiency of Rice Production under SRI in Middle Iraq. PhD Dissertation, University of Baghdad.

٢- Basu, S. (2022). Nighttime Warming and Agricultural Productivity under Climate Change. PhD Dissertation, University of California.

٣- Hansen, J. (2023). Global Temperature Trends and Regional Night-Time Warming Patterns. PhD Dissertation, Columbia University.

٤- Kumar, A. (2021). Thermal Regulation and Carbon Efficiency in SRI Rice Cultivation under Semi-Arid Climates. PhD Dissertation, Cornell University.

٥- Pathak, H. (2020). Rice Production and Climate Change: Implications for SRI Systems. PhD Dissertation, Indian Agricultural Research Institute.

٦- Zhao, D. (2020). Thermal Balance and Root Respiration in SRI-Based Rice Systems. PhD Dissertation, University of California, Davis.

ثالثًا – البحوث المنشورة (المجلات العلمية الأجنبية)

١- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Agricultural Water Management, FAO-٥٦.

٢- Al-Ansari, N., & Knutsson, S. (2019). Impact of climate change on Iraq's environment. Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, 9(4), 1–21.

٣- Bhattacharyya, P., et al. (2020). SRI as a climate-smart practice in high-temperature environments. Field Crops Research, 246, 107697.

٤- Bouman, B. A. M., et al. (2007). Water management in irrigated rice: Coping with water scarcity. Agricultural Water Management, 92, 75–88.

٥- Hatfield, J. L., & Prueger, J. H. (2015). Temperature extremes: Effect on plant growth and development. Weather and Climate Extremes, 10, 4–10.

٦- Hijmans, R. J., et al. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology, 25, 1965–1978.

٧- Hussain, M., et al. (2020). Influence of relative humidity on rice phenology under SRI. Paddy and Water Environment, 18(2), 145–160.

٨- LaHue, G. T., et al. (2016). Alternate wetting and drying in high-yielding rice systems. Agriculture, Ecosystems & Environment, 229, 30–39.

٩- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. Hydrology and Earth System Sciences, 11, 1633–1644.

١٠- Satyanarayana, A., et al. (2018). Influence of solar radiation on SRI-based rice productivity. Agricultural Systems, ١٦٥, ١٤٥–١٥٥.

١١- Singh, Y., & Uphoff, N. (2018). Paddy and water environment responses under SRI. Paddy and Water Environment, 16(3), 413–426.

١٢- Steduto, P., et al. (2009). AquaCrop—The FAO crop model. Agronomy Journal, 101(3), 426–437.

١٣- Uphoff, N., Kassam, A., & Steduto, P. (2011). SRI contributions to agricultural sustainability. Paddy and Water Environment, 9(1), 1–١٤.

١٤- Yan, X., & Akiyama, H. (2019). Mitigation of methane emissions from paddy fields. Environmental Science & Technology, 53, 55–٦٠.

١٥- Yang, S., & Linquist, B. (2020). SRI performance under heat and water stress. Field Crops Research, 255, 108–112.

رابعًا – التقارير والمؤسسات الدولية (الأجنبية)

١- FAO. (2021). Climate-Smart Agriculture Sourcebook. Rome: FAO Publishing.

٢- FAO. (2023). Towards Water-Efficient and Climate-Smart Rice Systems in the Middle East. Rome.

٣- IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis (AR6). Cambridge University Press.

٤- IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability (WGII). Cambridge University Press.

٥- IPCC. (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change (WGIII). Cambridge University Press.

٦- IRRI. (2019). Alternate Wetting and Drying in Rice Production. Los Baños: IRRI.

٧- IRRI. (2022). Rice Systems under High-Emission Scenarios. Los Baños: IRRI.

٨- UNEP. (2022). Sand and Dust Storms in the Middle East. Nairobi: UNEP.

٩- World Bank. (2022). Iraq – Country Climate and Development Report (CCDR). Washington, DC.

١٠- WMO. (2022). State of the Global Climate. Geneva: WMO.

١١- WMO. (2023). State of Climate in the Middle East and North Africa. Geneva: WMO.

خامسًا – المصادر الإلكترونية الأجنبية

١- FAO. (2022). Agro-Ecological Zones Assessment for Rice. Rome. Available online.

٢- IRRI. (2023). Rice Knowledge Bank – Environmental Requirements for Rice Growth. Available online.

٣- World Bank. (2022). Iraq Agriculture Modernization Report. Available online.

٤- WMO. (2023). Guidelines on the Measurement of Sunshine Duration. Available online.

٥- IPCC Data Distribution Centre. (2023). AR٦ Climate Datasets. Available online.

Abstract

This dissertation examines long-term climate change trends and evaluates their impacts on the suitability of agricultural systems, with particular emphasis on the System of Rice Intensification (SRI) in the Najaf and Al-Qadisiyah governorates, which form part of Iraq's semi-arid region. The study is based on the premise that recent climatic changes no longer represent temporary cyclical fluctuations, but rather constitute structural pressures that necessitate a reorganization of the relationship between climate, water, and space, as well as the adoption of highly efficient adaptive agricultural systems.

The research relies on the analysis of extended climatic datasets covering the period $(1980–2023)$, including maximum and minimum air temperatures, rainfall amounts, and reference evapotranspiration (ETo), in addition to analyzing the temporal and spatial distribution of these variables across four successive climatic cycles. Quantitative indices were employed to assess the climatic suitability of rice cultivation, most notably the Climate Suitability Index (MSI) and Water Use Efficiency (WUE). Furthermore, the Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) approach was applied to evaluate agricultural adaptation alternatives under future climate scenarios extending to 2050.

The results of the temporal analysis revealed a statistically significant upward trend in both maximum and minimum temperatures, particularly after the year 2000, accompanied by a steady increase in evapotranspiration and a decline in effective rainfall. This led to an expansion of climatic water deficit across the four climatic cycles, reaching its highest levels during the $(2011–2023)$ cycle. This combined climatic shift contributed to a transition from a pattern of periodic climatic variability to a structurally stressful climate regime, directly affecting the suitability and production stability of rice cultivation.

Findings derived from the Climate Suitability Index (MSI) indicated a gradual decline in the proportion of areas classified as highly suitable for rice cultivation, with significant portions shifting toward moderate and

marginal suitability classes. This change exhibited clear spatial variability between Najaf and Al-Qadisiyah. Najaf Governorate recorded higher levels of climatic stress during the fourth climatic cycle, reflected in a more pronounced contraction of highly suitable areas, whereas certain zones in Al-Qadisiyah—particularly its northern parts—demonstrated relatively greater resilience. Statistical analyses further revealed strong and significant negative correlations between SRI suitability and both elevated temperatures and evapotranspiration, while positive correlations were observed with relative humidity. In contrast, the influence of solar radiation remained below the critical threshold compared to other climatic variables.

The applied results demonstrated that the traditional continuous flooding irrigation system exceeded acceptable water consumption limits, with a marked decline in water use efficiency, rendering it inefficient under semi-arid climatic conditions. Conversely, the System of Rice Intensification (SRI) achieved a substantial reduction in water consumption and a notable improvement in water use efficiency, while maintaining relatively stable yields under climatic stress. However, the effectiveness of SRI when applied independently declined in more arid environments, highlighting the necessity of integrating it with Alternate Wetting and Drying (AWD) irrigation management.

Within this context, the results of the Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) confirmed the superiority of the combined (SRI + AWD) alternative across all future climate scenarios up to 2050, achieving the highest composite scores in terms of productivity, water efficiency, and environmental sustainability. Water Use Efficiency (WUE) emerged as the most influential variable in ranking adaptation alternatives, surpassing economic indicators when weighting schemes were altered, thereby reflecting the dominance of water scarcity as a governing factor in future agricultural decision-making. Moreover, climate scenario analysis showed that the intermediate scenario ($SSP2–4.5$) provides a wider adaptation margin and lower adaptation costs compared to more severe scenarios, which carries significant implications for long-term planning

c

The dissertation concludes that effective agricultural adaptation cannot be achieved through isolated changes in agricultural techniques, but rather through an integrated approach that reorganizes the relationship between climate, water, and space within a unified spatio-temporal framework. It further emphasizes that adopting the (SRI + AWD) model represents a structural shift from an extractive agricultural system toward a rational and sustainable adaptive model, constituting a necessary condition for sustaining rice cultivation and enhancing food security in Iraq’s arid and semi-arid environments, with strong potential for application in other regions with similar climatic characteristics.

Republic of Iraq
Ministry of Higher Education and Scientific Research
University of Al-Qadisiyah / College of Arts
Department of Geography

Global warming and the orientation toward the System of Rice Intensification (SRI) in the governorates of Najaf Al-Ashraf and Al-Qadisiyah.

A Dissertation Submitted by
Ahmed Kazem Abdullah
to the Council of the College of Arts / University of Al-Qadisiyah
in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Doctor of Philosophy (Ph.D.) in Geography
Supervised by
Professor Dr. Hussein Ali Abdul Hussein

2026 AD **1447 AH**