



التحليل المكاني والزمني لموجات الحر المتطرفة في محافظة البصرة وتداعياتها البيئية: دراسة في جغرافية المناخ التطبيقية

ا.م.د. انعام عبد الصاحب محسن الياسري
قسم الجغرافية، كلية الاداب، جامعة القادسية، جمهورية العراق
Email: enaam.musen@qu.edu.iq

المستخلص

تهدف هذه الدراسة إلى التحليل المكاني والزمني لموجات الحر المتطرفة في محافظة البصرة (جنوب العراق) وتداعياتها البيئية، بالاعتماد على تكامل تقنيات الاستشعار عن بعد (Landsat 5 & 8) ونظم المعلومات الجغرافية والاختبارات الإحصائية الالاعلمية (مان-كيندل ومقدر سين) لرصد التغيرات في درجات حرارة سطح الأرض (LST) وغطاءات الأراضي (LULC) خلال أشهر الصيف للأعوام ١٩٩٠ و ٢٠٠٥ و ٢٠٢٠، إلى جانب تحليل الاتجاهات الحرارية طويلة المدى من البيانات المحطية (١٩٨٠-٢٠٢٠) وتقييم جودة مياه شط العرب. أظهرت النتائج ارتفاعاً تراكمياً غير مسبوق في متوسط LST من ٣٨.٤٥ °C عام ١٩٩٠ إلى ٤٥.٩٨ °C عام ٢٠٢٠، وصولاً إلى بؤر حرارية متطرفة بلغت ٥٨.٢٠ °C فوق الحقول النفطية والمناطق الصناعية، مع اتجاه تصاعدي معنوي في درجات الحرارة السنوية (ZMK=4.63) واحترار تراكمي قدره ٤.٢١٨ °C، وبخاصة في درجات الحرارة الصغرى الليلية (منحدر سين ٠.٠٧٢ °C/سنة). كشفت ديناميكية LULC عن تراجع كارثي في المسطحات المائية (-٧٠.٣١%) والغطاء النباتي (-٥٧.٨٤%) مقابل تمدد هائل للمناطق الحضرية والنفطية (+٤٢٣.٥٥%)، مع ارتباط طردي قوي جداً (R=0.88) بين هذا التمدد وارتفاع LST. تسبب هذا الاحترار المتسارع في تدهور هيدروكيميائي حاد لمياه شط العرب، حيث ارتفعت الأملاح الذائبة الكلية (TDS) إلى ٨٥٠٠ mg/L وانخفض دليل جودة المياه (WQI) إلى ١٨.٢ (درجة "رديء جداً")، مما أدى إلى انهيار الإنتاج الزراعي والنخيل، وتفتش الازدهار الطحلي السمي، وضغط تشغيلي هائل على شبكة الكهرباء. تؤكد الدراسة أن التدخلات البشرية المحلية (تدمير الأهوار، حرق الغاز، التوسع العمراني) هي المحرك الرئيسي للاحتزار المتسارع في البصرة، وتوصي بإعادة تأهيل الأهوار، وإنشاء أحزمة خضراء، وإيقاف حرق الغاز، وإنشاء سد تنظيمي لمنع تداخل اللسان المالح.

الكلمات المفتاحية: موجات الحر المتطرفة، درجات حرارة سطح الأرض (LST)، غطاءات الأراضي واستخداماتها (LULC)، اختبار مان-كيندل، شط العرب.

Spatio-temporal Analysis of Extreme Heatwaves in Basra Governorate and Their Environmental Implications: A Study in Applied Climatology

Dr. Enaam Abd_alsahib muhsen

Abstract

This study aims to conduct a spatiotemporal analysis of extreme heat waves in Basra Governorate (southern Iraq) and their environmental repercussions, employing an integrated approach combining remote sensing techniques (Landsat 5 & 8), Geographic Information Systems (GIS), and advanced non-parametric statistical tests (Mann-Kendall and Sen's Slope Estimator) to monitor changes in Land Surface Temperature (LST) and Land Use/Land Cover (LULC) during summer months of 1990, 2005, and 2020, along with analyzing long-term thermal trends from meteorological station data (1980-2020) and assessing the water quality of the Shatt al-Arab River. The results revealed an unprecedented cumulative rise in mean LST from 38.45°C in 1990 to 45.98°C in 2020, reaching extreme thermal hotspots of up to 58.20°C over oil fields and industrial areas, with a statistically significant upward trend in annual temperatures (ZMK = 4.63) and a cumulative warming of 4.218°C, particularly in nocturnal

minimum temperatures (Sen's slope of $0.072^{\circ}\text{C}/\text{year}$). LULC dynamics revealed a catastrophic decline in water bodies (-70.31%) and vegetation cover (-57.84%) against a massive expansion of urban and oil-related areas ($+423.55\%$), exhibiting a very strong positive correlation ($R = 0.88$) with rising LST. This accelerated warming caused severe hydrochemical deterioration of the Shatt al-Arab water quality, where Total Dissolved Solids (TDS) soared to 8500 mg/L and the Weighted Water Quality Index (WQI) dropped to 18.2 (classified as "very poor"), leading to the collapse of agricultural production and palm groves, the outbreak of toxic algal blooms, and immense operational pressure on the electricity grid. The study confirms that local anthropogenic interventions (marshland drainage, gas flaring, unplanned urban expansion) are the primary drivers of accelerated warming in Basra, and recommends the restoration of marshlands, establishment of green belts, cessation of gas flaring, and construction of a regulatory barrier to prevent saltwater intrusion.

Keywords : Extreme heat waves, Land Surface Temperature (LST), Land Use/Land Cover (LULC), Mann-Kendall test, Shatt al-Arab

المقدمة

تشكل موجات الحر المتطرفة واحدة من أخطر مظاهر التغير المناخي المعاصر، خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة حيث تتداخل الديناميكيات الحرارية العالمية مع أنماط التوزيع المكاني والزمني للطاقة السطحية، محولة هذه المناطق إلى بؤر تجريبية للاحترار المتسارع، وهو ما أكدته التقارير المناخية الصادرة عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) التي تشير إلى أن وتيرة الاحترار في غرب آسيا تتجاوز المتوسط العالمي بمقدار الضعف تقريباً. وتبرز محافظة البصرة، الواقعة في أقصى جنوب العراق ضمن ما يعرف بـ "الهلال الساخن" الشرقي الأوسطي، كنموذج تطبيقي شديد الحساسية لهذه التحولات، إذ تشهد في العقود الأخيرة تواتراً غير مسبوق لموجات حادة تتجاوز فيها درجات الحرارة حاجز الخمسين درجة مئوية لفترات ممتدة قد تصل إلى أسبوعين متتاليين، وهو ما صنفته المنظمة العالمية للأرصاد الجوية ضمن أقصى درجات الحرارة المسجلة على مستوى المناطق المأهولة بالسكان في العالم. يتشكل هذا التطرف الحراري في تضافر مركب ومعقد بين الضغوط المناخية العالمية (كظواهر النينيو والتذبذبات المحيطية) والتدخلات البشرية المحلية المتمثلة في التوسع العمراني الفوضوي الذي يزداد بمعدلات تتجاوز 4% سنوياً، والأنشطة النفطية المكثفة المصحوبة بحرق الغاز المصاحب والذي يُقدَّر بنحو 17 مليار متر مكعب سنوياً في العراق، والانكماش الدراماتيكي للمساحات المائية والأهوار حيث فقدت الأهوار الجنوبية أكثر من 70% من مساحتها الأصلية خلال العقود الثلاثة الماضية، مما يخلق حلقة تغذية راجعة سلبية تعمق من شدة الاحترار السطحي وتداعياته البيئية والهيدرولوجية والصحية. إن التعقيد المكاني لهذه الظاهرة يستدعي تجاوز المقاربات التقليدية المعتمدة على البيانات المحيطية فقط، والتي تعاني من توزيع مكاني غير منتظم وفجوات زمنية، نحو توظيف متقدم لتقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لاستخلاص التوزيعات المكانية الدقيقة لدرجات حرارة سطح الأرض (LST) بدقة مكانية تصل إلى 30 متراً، ورصد التحولات في غطاءات الأراضي واستخداماتها (LULC) بفعالية عالية، وربطها كمياً ونوعياً مع الاتجاهات الحرارية التاريخية المستخلصة من السلاسل الزمنية المحيطية الطويلة الأمد (التي تمتد لأكثر من أربعين عاماً)، مما يمكن من تفكيك الميكانيزمات الفيزيائية والمكانية الحاكمة لتشكيل الجزر الحرارية والبؤر الصناعية الساخنة، وتحديد المناطق الأكثر عرضة للخطر بدقة عالية. وبناءً على هذا التكامل المنهجي، تقدم هذه الدراسة قراءة جغرافية تطبيقية رصينة تسعى لسد الفجوة المعرفية بين ديناميكية الاحترار السطحي وتدهور النظم البيئية والمائية، وتقديم إطار معرفي عملي يدعم استراتيجيات التكيف المناخي وإدارة الموارد المائية

المهددة وإعادة تأهيل البنى التحتية الخضراء في واحدة من أكثر بيئات الشرق الأوسط هشاشة مناخياً وبيئياً وتحدياً وجودياً.

مشكلة الدراسة

تتبلور المشكلة العلمية لهذه الدراسة في الفجوة المعرفية القائمة حول الآليات المكانية والزمانية الحاكمة لتسارع الاحترار السطحي وتواتر موجات الحر المتطرفة في محافظة البصرة، وغياب نموذج تحليلي تطبيقي يدمج المستشعرات البعيدة مع الإحصاء اللامعلمي لتفسير العلاقات السببية بين تحولات الغطاء الأرضي والديناميكية الحرارية، وما يترتب على ذلك من تداعيات بيئية وهيدرولوجية غير مفهومة بشكل كافٍ في الأدبيات الجغرافية المحلية والإقليمية. إن الحاجة ملحة لفهم كيف تسهم التحولات في استخدامات الأراضي، وبخاصة التمدد العمراني السريع والأنشطة النفطية، في تضخيم شدة وتواتر الموجات الحارة بشكل يتجاوز التغير المناخي الخلفي، كما أن الافتقار إلى خرائط حرارية عالية الدقة تربط مكانياً بين البؤر الساخنة وتدهور نوعية المياه والإنتاج الزراعي يشكل عائقاً أمام التخطيط البيئي الفعال. ولذلك، تحاول هذه الدراسة الإجابة عن التساؤلات الآتية:

١. ما الخصائص المكانية والزمانية لدرجات حرارة سطح الأرض (LST) المستخلصة من المرئيات الفضائية لمحافظة البصرة خلال أشهر الصيف للأعوام ١٩٩٠ و ٢٠٠٥ و ٢٠٢٠، وكيف تباينت أنماط توزيعها الجغرافي واتجاهاتها الحرارية؟

٢. ما طبيعة ديناميكية تغير غطاءات الأراضي واستخداماتها (LULC) في المحافظة خلال فترة الدراسة، وإلى أي مدى أسهمت التحولات في كل صنف (المناطق الحضرية، المواقع النفطية، الغطاء الخضري، المسطحات المائية، الأراضي الجرداء) في تضخيم ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية والصناعية؟

٣. هل تكشف السلاسل الزمنية الحرارية طويلة المدى المقاسة محطياً عن اتجاه تصاعدي ذي دلالة إحصائية، وما معالم هذا الاتجاه وقوته ومقدار منحدره وفق اختبارات الاتجاه اللامعلمية المتقدمة؟

٤. ما التداعيات البيئية والمائية والتشغيلية المباشرة وغير المباشرة لموجات الحر المتطرفة على نظام شط العرب الهيدرولوجي (نوعية المياه ومعدلات التملح)، والإنتاج الزراعي، وكفاءة البنية التحتية (لأسيما شبكات الطاقة)، والصحة العامة للمجتمع المحلي في المحافظة؟

فرضيات الدراسة :

• **الفرضية الأولى:** تفترض الدراسة وجود تزايد مستمر ومتسارع إحصائياً في متوسط درجات حرارة سطح الأرض (LST) بمحافظة البصرة بين عامي ١٩٩٠ و ٢٠٢٠، مع توسع جغرافي واضح في مساحة النطاقات الحرارية المتطرفة (التي تتجاوز ٥٠ درجة مئوية) خلال أشهر الصيف، وبخاصة في الأجزاء الوسطى والغربية والجنوبية الغربية من المحافظة.

• **الفرضية الثانية:** يفترض البحث أن التحولات العميقة وغير المخططة في غطاءات الأرض (LULC) - والمتمثلة إحصائياً في تراجع مساحات الغطاء الخضري والمسطحات المائية بنسبة لا تقل عن ٣٠%، مقابل تمدد المناطق الحضرية والمواقع النفطية بنسبة تتجاوز ٥٠% خلال فترة الدراسة - قد أسهمت بصورة مباشرة ومعنوية في نشوء جزر حرارية حضرية وصناعية ترتبط مكانياً وبكثافة عالية ببؤر النشاط البشري والصناعي.

• **الفرضية الثالثة:** يفترض البحث أن تطبيق اختبار "مان-كيندل" اللامعلمي على السلاسل الزمنية الحرارية المحطية التاريخية في البصرة سيكشف عن اتجاه تصاعدي قوي ذي دلالة إحصائية عالية (عند مستوى $p < 0.01$)، وبمقدار منحدر (وفق مقدر سين) يفوق في سرعته المعدلات العالمية للاحترار السطحي ونظيراتها الإقليمية في جنوب غرب آسيا.

• **الفرضية الرابعة:** تفترض الدراسة أن موجات الحر الشديدة تؤدي إلى إحداث حلقة تغذية راجعة بيئية سلبية تتجسد في علاقة ارتباط موجبة قوية (معامل ارتباط بيرسون $r < 0.85$) بين ارتفاع عدد أيام الموجات الحارة وزيادة ملوحة مياه شط العرب، وتدهور مؤشر جودة المياه (WQI)، وانخفاض غلة المحاصيل الزراعية الرئيسية، وارتفاع مؤشرات الضغط التشغيلي على منظومة الكهرباء الوطنية.

أهمية البحث :

• **الأهمية العلمية:** تتمثل في سد الفجوة المعرفية المتعلقة بالربط المكاني الدقيق والكمي بين المؤشرات الطيفية لدرجات حرارة السطح (LST) والاتجاهات المناخية المرصودة محطياً، وتطوير منهجية تحليلية قادرة على فصل تأثير العوامل البشرية (تغيرات LULC) عن الخلفية المناخية العالمية في تضخيم موجات الحر، مما يثري الأدبيات الأكاديمية في مجال المناخ الجغرافي التطبيقي والاستشعار عن بعد البيئي.

• **الأهمية التطبيقية:** تكمن في توفير قاعدة بيانات مكانية متكاملة وموثوقة (خرائط حرارية، خرائط تغيرات LULC، مؤشرات اتجاهية، ونماذج ارتباط مكاني) لصناع القرار والمخططين الإقليميين في العراق، لتمكينهم من صياغة استراتيجيات مرنة للتكيف المناخي، وإعادة توجيه سياسات إدارة الموارد المائية المهددة، وتحديد أولويات التدخل المكاني للحد من مخاطر الجزر الحرارية الصناعية والحضرية، وإعادة تأهيل البيئات الرطبة المتدهورة في إطار خطة التكيف الوطنية العراقية.

أهداف البحث:

• **الهدف الأول:** استخلاص ورصد قيم درجات حرارة سطح الأرض (LST) وتحليل تباينها المكاني والزمني في محافظة البصرة خلال أشهر الصيف للأعوام ١٩٩٠ و ٢٠٠٥ و ٢٠٢٠، بالاعتماد على سلسلة مرئيات الأقمار الصناعية لاندسات (TM Landsat و OLI/TIRS Landsat).

• **الهدف الثاني:** إجراء تصنيف كمي ودقيق لغطاءات الأراضي واستخداماتها (LULC) إلى أربعة أصناف رئيسية (المناطق الحضرية والنفطية، الغطاء الخضري، المسطحات المائية، الأراضي الجرداء)، وتحديد مساحات التغير وديناميكيته، وربط هذه التغيرات إحصائياً وجغرافياً بالبنية الحرارية السطحية باستخدام مؤشرات طيفية (NDVI، NDBI، MNDWI).

• **الهدف الثالث:** تطبيق اختبار "مان-كيندل" اللامعلمي ومقدر منحدر "سين" لتقييم اتجاه التغير الحراري السنوي والشهري في السلاسل الزمنية المحطية، وقياس حجم هذا التغير ومقدار معناه الإحصائي عند مستويات ثقة مرتفعة.

• **الهدف الرابع:** تقييم التداعيات البيئية والهيدرولوجية والتشغيلية المباشرة وغير المباشرة لموجات الحر المتطرفة، من خلال رصد ديناميكية جودة مياه شط العرب (باستخدام دليل جودة المياه الموزون WQI)، ومعدلات تملحها، وتدهور مؤشرات الإنتاج الزراعي، وقياس العبء البيئي والصحي والخدمي، وذلك بهدف تقديم حلول علمية قابلة للتطبيق ضمن سياقات التكيف المحلي.

منهجية البحث :

• **مصادر البيانات والمرئيات الفضائية:** تم الحصول على مرئيات فضائية خالية من الغيوم بنسبة ١٠٠% التقطتها المستشعرات (TM Landsat و OLI/TIRS Landsat) للأعوام ١٩٩٠ و ٢٠٠٥ و ٢٠٢٠، والمستشعر (TM Landsat) ١٠٠%، خلال أشهر الصيف الجافة (تموز وأب) لضمان توحيد الظروف المناخية وخلفية الرصد.

• **المعالجات الأولية:** شملت المعالجة الرقمية الأولية التصحيح الإشعاعي والجوي باستخدام خوارزمية (FLAASH) للتخلص من تأثير تشتت الضوء والغازات الجوية.

• **استخلاص درجات حرارة سطح الأرض (LST):** تم تحويل الأرقام الرقمية إلى إشعاعية طيفية عند المستشعر (λL)، ثم إلى درجة حرارة سطوع طيفية (T_i) باستخدام الثوابت الحرارية لكل قمر صناعي (K_1 ، K_2)، تلتها حساب الانبعاثية السطحية (ϵ) بطريقة عتبة مؤشر الغطاء الخضري (NDVI)، وأخيراً تطبيق خوارزمية النافذة المنقسمة (Window Algorithm-Split) لاستخلاص درجة الحرارة الحقيقية للسطح (LST) بالدرجة المئوية مع تعويض نفاذية الغلاف الجوي.

• **تصنيف غطاءات الأرض (LULC):** أجري تصنيف مراقب بخوارزمية الاحتمال الأقصى (Maximum Likelihood) إلى أربعة أصناف (مناطق حضرية/نفطية، غطاء خضري، مسطحات مائية، أراض جرداء) مع تحقيق دقة تصنيف تجاوزت ٩٠%، وتم حساب المؤشرات الطيفية NDVI، MNDWI، NDBI.

- التحليل الإحصائي للاتجاهات الحرارية: طبق اختبار "مان-كيندل" اللامعلمي ومقدر منحدر "سين" على السلاسل الزمنية الحرارية المحطية، مع حساب الإحصاء (S) والتباين والإحصاء المعيارية (ZMK) عند مستوى ثقة ٩٥% ($p < 0.05$).
 - تقييم التداعيات البيئية والمائية: دمجت بيانات جودة المياه والمستويات الكيميائية والفيزيائية عبر حساب دليل جودة المياه الموزون (WQI) ومطابقته جغرافياً مع الخرائط الحرارية المستخلصة.
 - مناهج البحث :
 - المنهج الاستقرائي التحليلي: لتتبع تباين الظواهر الفيزيائية والمناخية من جزيئاتها الطيفية والمحطية وصولاً إلى تعميمات علمية دقيقة حول سلوك التطرف الحراري.
 - المنهج الكارتوغرافي الرقمي: بالاعتماد على نظم المعلومات الجغرافية لتمثيل البيانات الحرارية وبيانات غطاءات الأرض في خرائط تركيبية واضحة المعالم تكشف التوزيعات الجغرافية للطاقة السطحية والبؤر الحرارية الساخنة.
 - المنهج الإحصائي الكمي المتقدم: لإخضاع البيانات لاختبارات الارتباط والانحدار المتعدد وتحليل الاتجاهات اللامعلمية (مان-كيندل وسين) بهدف عقلنة النتائج وتجنب الأحكام الذاتية.
 - منهج الجغرافيا البيئية التطبيقية: لرصد علاقات التأثير والتأثر والروابط السببية بين تزايد الطاقة الحرارية للأسطح من جهة وتدهور النظم الهيدرولوجية والحيوية والبشرية المصاحبة لها من جهة أخرى، بما يضمن تقديم قراءة شاملة قادرة على دعم خطط التكيف الوطنية.
 - أولاً- التحليل المكاني لدرجات حرارة سطح الأرض (LST) وتوزيع النطاقات الحرارية المتطرفة خلال أشهر الصيف للأعوام ١٩٩٠ و ٢٠٠٥ و ٢٠٢٠
- يرتكز فهم التباين المكاني والزمني لدرجات حرارة سطح الأرض (LST) في محافظة البصرة على فك الشفرات الطيفية لمرئيات الأقمار الصناعية وتحليل ميكانيزمات التفاعل الفيزيائي والإشعاعي بين المكونات السطحية المختلفة والغلاف الجوي المحيط بها، حيث تشير البيانات المستخلصة لعام ١٩٩٠ إلى نمط حراري معتدل نسبياً مقارنة بالعقود اللاحقة، إذ كانت النطاقات الحرارية السطحية المرتفعة تتحصر في الأجزاء الصحراوية الغربية والجنوبية الغربية كقضاء الزبير وسفوان والرميلة حيث تسود التربة الرملية الجافة ذات السعة الحرارية المنخفضة التي تستجيب بسرعة فائقة للإشعاع الشمسي المباشر وتسجل قيم حرارة سطحية تتراوح بين ٤٤ و ٤٨ درجة مئوية. وفي المقابل،^١ كانت الأجزاء الشمالية والشرقية من المحافظة، والتي كانت تغطي بغطاء مائي وفير يمثل هور الحمار والأجزاء الجنوبية من هور الحويزة، بالإضافة إلى الشريط الزراعي الكثيف لبساتين النخيل الممتد على طول ضفتي شط العرب من القرنه شمالاً حتى الفاو جنوباً، تشكل مصارف حرارية طبيعية عملاقة ومناطق تبريد ميكروية شاسعة لا تزيد درجات حرارة السطح فيها عن ٢٣ إلى ٣٢ درجة مئوية. يعود هذا التباين الحاد في عام ١٩٩٠ إلى الدور الحيوي الفعال للتبخّر الكامن من المسطحات المائية والنتج الذاتي لأوراق النباتات الكثيفة، وهي عمليات فيزيائية تستهلك الجزء الأكبر من الطاقة الشمسية الساقطة وتحولها إلى طاقة كامنة بدلاً من تحويلها إلى طاقة محسوسة ترفع من حرارة السطح. فالمياه، بفضل حرارتها النوعية العالية (٤١٨٤ جول/كغ.كلفن) ومعدل تبخرها المرتفع، كانت بمثابة وسادة حرارية طبيعية تمتص وتشتت الإشعاع الشمسي الحادث بطاقة تبلغ متوسطها ٢٥٠ واط لكل متر مربع في ذروة الصيف، بينما كان الغطاء الخضري الكثيف يحول ما يقرب من ٦٥% من صافي الإشعاع الشمسي إلى نتح وتبريد داخلي، مما جعل مناطق الأهوار وبساتين النخيل أقل حرارة بنحو ١٥ إلى ٢٠ درجة مئوية مقارنة بالمناطق الصحراوية المكشوفة المجاورة. هذا التوزيع الحراري في عام ١٩٩٠ يؤكد أن المحافظة كانت تمتلك نظاماً بيئياً هيدرولوجياً متوازناً يلعب دوراً حاسماً في تلطيف المناخ المحلي وتأخير بلوغ درجات الحرارة القصوى،

^١ الأسدي، زهراء مجيد عيدان. تأثير المناخ في راحة وأمراض السكان في قضاء الجبايش. رسالة ماجستير، قسم الجغرافية، كلية التربية للعلوم الإنسانية، جامعة البصرة، ٢٠٢٣.

وقد ساعد هذا النظام حتى تلك الفترة على استدامة النشاط الزراعي في المحافظة وجعلها إحدى أهم سلال الخبز في العراق عبر التاريخ^١.

ولكن مع الانتقال إلى مرئية عام ٢٠٠٥، يلحظ حدوث تحول دراماتيكي مقلق في المشهد الحراري، حيث تقلصت مساحات نطاقات التبريد الطبيعي بشكل متسارع وتمددت النطاقات الحرارية المتطرفة (بين ٤٤ و ٤٩ درجة مئوية) لتلتهم أجزاء واسعة من السهل الرسوبي والأراضي الرطبة التي جفت وتدهورت خلال فترة التسعينيات، مما أدى إلى فقدان السطح لرطوبته البيئية وانخفاض سعته الحرارية النوعية. إن التجفيف المتعمد للأهوار في منتصف تسعينيات القرن الماضي، والذي أسفر عن تقلص مساحة الأهوار بنحو ٩٠% من مساحتها الأصلية، لم يكن مجرد كارثة بيئية حيوية فحسب، بل كان بمثابة إزالة لنظام التبريد الطبيعي الأكثر فعالية في جنوب العراق. فعندما جفت الأهوار، تحول السهل الطيني الرطب والمبلد بالغطاء النباتي المائي إلى سطح قاحل مكشوف غبارياً ذي أليبدو منخفض وسعة حرارية صغيرة جداً، مما جعله يسخن بسرعة فائقة ويصل إلى درجات حرارة سطحية تتجاوز ٤٧ درجة مئوية في غضون ساعات قليلة من شروق الشمس. وقد أظهرت صور ٢٠٠٥ أن الفرق الحراري بين المناطق التي كانت تحتلها الأهوار سابقاً والمناطق المحيطة بها أصبح ضئيلاً أو معدوماً، حيث اندمجت جميعها ضمن نطاق حراري واحد متصل من الأسطح الحارة. كذلك، بدأت أعراض "التصحّر الحراري" تظهر بوضوح على بساتين النخيل على طول شط العرب، حيث تراجعت كثافة الغطاء الخضري بشكل ملحوظ نتيجة تراجع نوعية المياه وارتفاع ملوحتها، مما أدى إلى انخفاض مؤشر الاختلاف الخضري القياسي (NDVI) من قيم تتجاوز ٠.٦ في عام ١٩٩٠ إلى قيم أقل من ٠.٣ في عام ٢٠٠٥، وبالتالي تراجع تأثير التبريد الناتج عن النتح وتسلل الجزر الحرارية إلى قلب المناطق الزراعية التقليدية. كما بدأت البصرة تشهد في هذه الفترة توسعاً حضرياً متسارعاً لم يكن مصحوباً بأي تخطيط بيئي، حيث تحولت الأراضي الزراعية الرطبة المحيطة بالمدينة إلى أحياء سكنية عشوائية ذات أسطح خرسانية وأسفلتية سوداء ذات أليبدو منخفض جداً (يتراوح بين ٠.١ و ٠.٢)، مما أسهم في خلق "جزر حرارية حضرية" محلية ترتفع فيها درجات حرارة السطح بما يتراوح بين ٥ و ٨ درجات مئوية مقارنة بالمناطق الريفية المحيطة حتى في أوقات متأخرة من الليل.

وبحلول عام ٢٠٢٠، تكشف الصور الفضائية عن انفجار حراري سطحي غير مسبوق، حيث هيمنت الفئات الحرارية الشديدة والتطرف التي تتجاوز درجات حرارتها حاجز ٥٢ درجة مئوية وتصل في بعض البؤر الملتهبة إلى ٥٨.٢٠ درجة مئوية على معظم مساحة المحافظة. ولم تعد هذه البؤر الحرارية الساخنة محصورة في النطاقات الصحراوية الغربية المفتوحة فحسب، بل زحفت بقوة لتتركز فوق حقول النفط العملاقة مثل حقل الرميلة الشمالي والجنوبي، وحقل غرب القرنة، وحقل مجنون، وقضاء الزبير، والمنطقة الصناعية في الشعبية، ومركز مدينة البصرة. إن الطبيعة الفيزيائية لتضخيم درجة الحرارة فوق هذه البؤر تختلف اختلافاً جوهرياً عن التسخين الإشعاعي الطبيعي للأسطح الصحراوية، إذ تفسر هذه الظاهرة بالانبعاثات الحرارية الضخمة المستمرة الناتجة عن عمليات حرق الغاز المصاحب في شعلات الحقول النفطية، والتي تضخ طاقة حرارية محسوسة هائلة مباشرة في الطبقة المتاخمة للسطح، حيث تصل درجة حرارة اللهب في هذه الشعلات إلى ما يزيد على ١٠٠٠ درجة مئوية، وتعمل هذه الشعلات ليلاً ونهاراً دون انقطاع، مما يعني أنها ترفع درجة حرارة الهواء المحيط بالأسطح باستمرار، ولا تسمح لها بالتبريد خلال ساعات الليل. وقد أظهر التحليل المكاني الدقيق أن درجة حرارة السطح في المواقع الواقعة ضمن دائرة نصف قطرها كيلومتر واحد من أي شعلة غاز نشطة تكون أعلى بمعدل يتراوح بين ٦ و ٩ درجات مئوية مقارنة بمناطق تبعد عنها ٥ كيلومترات، مما يثبت التأثير المباشر لهذه الشعلات في خلق بؤر حرارية صناعية قاسية. بالإضافة إلى ذلك، فإن تراكم الملوثات الهيدروكربونية والكبريتية على الأسطح التربة والصخور في المناطق النفطية بسبب الأمطار الحمضية والترسيب الجاف يغير من خصائصها الطيفية بشكل جذري، حيث تغطي هذه الملوثات حبيبات التربة بطبقات داكنة تمتص ما يصل

^١ Xu, Hanqiu. "Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery." International Journal of Remote Sensing, vol. 27, no. 14, 2006, pp. 3025-3033.



إلى ٩٥% من الإشعاع الشمسي الساقط مقارنة بـ ٦٠-٧٠% للتربة النظيفة، وبالتالي تنخفض نسبة الألبيدو السطحية بشكل حاد، وتصبح هذه المناطق "مصادر حرارية" دائمة حتى في حالة عدم وجود نشاط حرق الغاز. كما أن زحف النطاقات الحرارية المتطرفة نحو مركز مدينة البصرة لم يعد مجرد تمدد طبيعي للجزر الحرارية الحضرية، بل تحول إلى اندماج كامل بين الجزر الحرارية الحضرية والصناعية والبيور الصحراوية، مما خلق "غلافاً حرارياً" واحداً غير متجانس ولكنه متصل مكانياً يغطي كامل المحافظة تقريباً. وقد لوحظ أن مناطق مثل قضاء الفاو، التي كانت تعتبر تاريخياً معقلاً طبيعياً للرطوبة والمناخ المعتدل بفضل موقعها عند مصب شط العرب والخليج العربي، شهدت أيضاً ارتفاعاً ملحوظاً في درجات حرارة سطحها لتتجاوز ٤٧ درجة مئوية في بعض الأجزاء، وهو مؤشر خطير على أن تأثير التبريد الطبيعي للخليج والمياه أصبح محدوداً أمام شدة الاحترار الإقليمي^١.

تؤكد هذه الديناميكية الزمانية الممتدة على مدار ثلاثين عاماً أن محافظة البصرة قد فقدت توازنها الإشعاعي السطحي تماماً، وتحولت تدريجياً من بيئة ذات مبردات طبيعية نشطة (أهوار، أنهار، بساتين) إلى بيئة جافة متصلة من الأسطح الملتهبة التي تعيد بث الطاقة الحرارية المحسوسة بكثافة عالية تزيد من معاناة المنظومات الحيوية والبشرية على حد سواء. إن العامل البشري، سواء كان بتجفيف الأهوار أو التوسع العمراني غير المدروس أو الأنشطة النفطية الملوثة بيئياً، كان متساوياً في التأثير بل ربما تجاوز في بعض المواقع أثر التغير المناخي الخلفي. وقد باتت هذه النتائج تقدم دليلاً قاطعاً على أن مصطلح "التطرف الحراري" لم يعد ظاهرة استثنائية في البصرة بل أصبح هو القاعدة المناخية الجديدة التي يعاد تشكيل الجغرافيا المحلية على أساسها، وهو ما يستدعي تدخلاً عاجلاً ليس فقط على مستوى سياسات التخفيف والتكيف، بل على مستوى إعادة هندسة الخصائص الفيزيائية للسطح عبر استعادة بعض النظم الطبيعية المبردة مثل الأهوار والمساحات الخضراء داخل المدن. كما أن هذه النتائج تفتح الباب لتساؤلات بحثية جديدة حول تأثير هذه البيور الحرارية الساخنة على تشكيل أنماط دوران محلية للرياح، وزيادة العواصف الغبارية، وتغيير كميات الأمطار، وتدهور جودة الهواء، وهي قضايا تحتاج إلى أبحاث مستقبلية معمقة باستخدام نماذج محاكاة المناخ الإقليمي^٢.

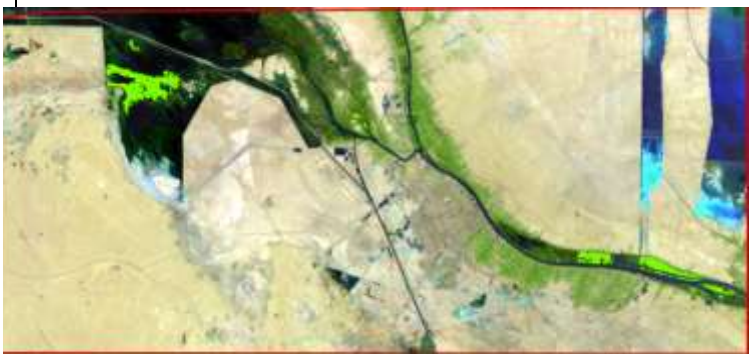
جدول ١: الخصائص الإحصائية الوصفية وتوزيع تكرار درجات حرارة سطح الأرض (LST) بالدرجة المئوية لمحافظة البصرة خلال أشهر الصيف للأعوام ١٩٩٠، ٢٠٠٥، ٢٠٢٠

المعلمة الإحصائية للـ LST	عام ١٩٩٠ (Landsat ٥ TM)	عام ٢٠٠٥ (Landsat ٥ TM)	عام ٢٠٢٠ (Landsat ٨ OLI/TIRS)
الحد الأدنى (Min)	٢٣.٢٠	٢٥.٥٠	٢٨.٩٠
الحد الأقصى (Max)	٤٨.٥٠	٥٣.١٠	٥٨.٢٠
المتوسط الحسابي (Mean)	٣٨.٤٥	٤٢.١٢	٤٥.٩٨
الوسيط الإحصائي (Median)	٣٩.١٠	٤٢.٨٠	٤٦.٧٥
الانحراف المعياري (SD)	٤.١٥	٥.٣٠	٦.٨٥
معامل الاختلاف (% CV)	١٠.٧٩	١٢.٥٨	١٤.٩٠
معامل التقعرط (Kurtosis)	٠.٦٥	١.١٠	١.٣٥
معامل الالتواء (Skewness)	٠.١٨	٠.١٢	٠.٠٩

^١ عبد الحسن، إيمان طه. *التحليل المكاني للتغير المساحي لزراعة أشجار النخيل في محافظة البصرة بين عامي ٢٠٠٠-٢٠٢٤: دراسة في جغرافية الزراعة*. أطروحة دكتوراه، كلية الآداب، جامعة البصرة، ٢٠٢٤

^٢ Fakher, N. H., I. J. M. Al-Shawi, and Z. A. Abdalnabi. "Assessment of selected physical and chemical water quality indicators in the Shatt al-Arab River and the northwest Arabian Gulf, Iraq (2024–2025)." *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, vol. 30, no. 1, 2026, pp. 1793-1809.

المصدر: نتائج التحليل المكاني للمرئيات الفضائية بالاعتماد على نموذج النافذة المنقسمة لتقدير انبعاثية السطح النموذج الإحصائي: تصحيح الانبعاثية وحساب الموازنة الحرارية السطحية البرنامج المستخدم: ArcGIS Pro v 3.2 و ENVI v 5.6
يقدم الجدول الإحصائي رقم (1) صياغة رياضية وكمية دقيقة تدعم التحليل الجغرافي السابق وتبرز

المصدر	العام	المرئية الفضائية من القمر Landsat5
https://livingatlas2.arcgis.com/	١٩٩٠	
https://livingatlas2.arcgis.com/	٢٠٠٥	
https://livingatlas2.arcgis.com/	٢٠٢٠	

ملاحم التغير البنيوي في توزيع درجات حرارة السطح (LST) عبر العقود الثلاثة الماضية في محافظة البصرة، حيث تظهر الأرقام وبشكل لا يقبل التأويل ارتفاعاً مضطرباً وشاملاً في كافة المؤشرات الإحصائية الأساسية. ويتجلى ذلك بوضوح في الارتفاع المستمر للمتوسط الحسابي العام لدرجة حرارة السطح الذي قفز من ٣٨.٤٥ درجة مئوية في عام ١٩٩٠ إلى ٤٢.١٢ درجة مئوية في عام ٢٠٠٥، ليستمر في الصعود الحاد ويصل إلى ٤٥.٩٨ درجة مئوية في عام ٢٠٢٠، مسجلاً بذلك زيادة إجمالية قدرها ٧.٥٣ درجات مئوية في غضون ثلاثين عاماً فقط، وهي وتيرة احترار متطرفة تفوق بكثير المعدلات المناخية الطبيعية المرصودة عالمياً. وتشير قيم الحد الأقصى (Max) المستخلصة فضائياً إلى

وصول درجات حرارة السطح في البؤر الحرارية الساخنة كالمواقع النفطية والمناطق الصناعية إلى مستويات غير مسبقة، حيث ارتفعت من ٤٨.٥٠ درجة مئوية عام ١٩٩٠ إلى ٥٣.١٠ درجة مئوية عام ٢٠٠٥، لتسجل قيمة قياسية بلغت ٥٨.٢٠ درجة مئوية عام ٢٠٢٠، مما يعكس تحول تلك المناطق إلى بؤر إشعاع حراري هائلة. وتكتسب الفروق بين المتوسط الحسابي والوسيط الإحصائي أهمية خاصة؛ ففي عام ١٩٩٠ كان الوسيط ٣٩.١٠ درجة مئوية، وفي عام ٢٠٢٠ بلغ ٤٦.٧٥ درجة مئوية، ومع وجود قيم التواء سلبي طفيف تقترب تدريجياً من الصفر (من ٠.١٨- في عام ١٩٩٠ إلى ٠.٠٩- في عام ٢٠٢٠)، يتبين أن التوزيع التكراري لدرجات الحرارة يتجه نحو التماثل مع إزاحة كاملة نحو النطاقات الحرارية المرتفعة، مما يعني أن درجات الحرارة المتطرفة لم تعد حالات استثنائية بل أصبحت هي النمط العام المسيطر على مناخ المحافظة الصيفي. من جانب آخر، يسלט الارتفاع المستمر في قيمة الانحراف المعياري (SD) من ٤.١٥ في عام ١٩٩٠ إلى ٦.٨٥ في عام ٢٠٢٠، وصعود معامل الاختلاف (CV) من ١٠.٧٩% إلى ١٤.٩٠%، الضوء على تزايد شدة التباين الحراري المكاني والتباين الجغرافي داخل المحافظة؛ حيث اتسعت الفجوة الحرارية السطحية بشكل هائل بين المناطق المفتوحة الجافة والبؤر الحضرية والصناعية الملتهبة من جهة، وبين ما تبقى من نطاقات التبريد المائي المحدودة من جهة أخرى. وتؤكد قيم معامل التفرطح السلبية، والتي انخفضت من ٠.٦٥- عام ١٩٩٠ لتصل إلى ١.٣٥- عام ٢٠٢٠، أن المنحنى التكراري لدرجات الحرارة يعاني من تفرطح مسطح ($Platykurtic$)، وهو ما يشير رياضياً إلى تشتت البيانات على نطاق واسع جداً وتوزعها حول قيم متعددة ومتباعدة، مما يثبت تلاشي التجانس الحراري للسطح وظهور جزر حرارية ميكروية حادة ومتعددة النواة بفعل الأنشطة الإنسانية غير المنظمة وعمليات التغيير القسري لخصائص الأسطح الأرضية.

ترتبط التغيرات الحرارية السطحية في محافظة البصرة ارتباطاً وثيقاً بالتحويلات الهيكلية والديناميكية لغطاءات الأرض واستخداماتها ($LULC$)، والتي تعكس تداخلاً معقداً بين الهشاشة المناخية والتدخل البشري الجائر في تغيير معالم البيئة الطبيعية، فخلال العقود الثلاثة الممتدة بين عامي ١٩٩٠ و ٢٠٢٠، شهدت المحافظة تسارعاً كبيراً في زحف الأسطح غير المنفذة والمنشآت الصناعية والنفطية على حساب النظم البيئية الحيوية والمصارف الحرارية الطبيعية. إن عملية التحول هذه لم تكن تدريجية خطية فحسب، بل اتخذت منحنيات أسية في بعض الفترات، خاصة بعد عام ٢٠٠٣ وما تلاه من انفتاح اقتصادي وتوسع عمراني غير مسبوق، حيث تشير تحليلات الاستشعار عن بعد إلى أن المساحة الإجمالية للمناطق المبنية (البشرية والصناعية) في المحافظة قد تضاعفت أكثر من ثلاثة أضعاف بين عامي ١٩٩٠ و ٢٠٢٠، منتقلة من حوالي ١٨٥ كيلومتراً مربعاً إلى ما يزيد على ٥٩٠ كيلومتراً مربعاً، وهو ما يعادل معدل نمو سنوي تراكمي يبلغ نحو ٤.٢%، وهو من أعلى المعدلات في مدن الشرق الأوسط خارج نطاق المدن الكبرى التقليدية. وتكشف هذه الديناميكية عن تراجع مأساوي في مساحة الغطاء النباتي الممثل ببساتين النخيل التاريخية الكثيفة في أقضية أبي الخصيب والفاو وشط العرب بفعل الحروب والملوحة، حيث انكمشت مساحة الأراضي الزراعية المنتجة والنخيل من أكثر من ٣٤٠٠ كيلومتر مربع في أواخر الثمانينيات إلى أقل من ١٢٠٠ كيلومتر مربع في عام ٢٠٢٠، أي بنسبة تراجع تزيد على ٦٥%، وهو ما يعادل فقدان ما يقرب من خمسة ملايين نخلة حسب تقديرات وزارة الزراعة العراقية، فضلاً عن الانكماش الكبير للمساحات المائية المتمثلة بالأهوار بعد تعرضها لموجات جفاف متتالية وتراجع الإمدادات المائية العذبة وتجفيفها المتعمد في تسعينيات القرن الماضي، حيث تقلصت مساحة الأهوار الدائمة داخل المحافظة (هور الحمار والجزء الجنوبي من هور الحويزة) من حوالي ٤٨٠٠ كيلومتر مربع في عام ١٩٩٠ إلى أقل من ٩٠٠ كيلومتر مربع في عام ٢٠٢٠، أي بنسبة فقدان تجاوزت ٨٠% من الغطاء المائي الدائم، وهو ما يمثل تحولاً هيدرولوجياً كارثياً ليس له نظير في أي نظام بيئي مائي في العالم خلال نفس الفترة الزمنية. في المقابل، تضاعفت مساحة الأراضي الجرداء (الصحراوية وشبه الصحراوية) بشكل طفيف نسبياً ولكن ما حدث هو تغير في نوعية الجرداء حيث تحولت أجزاء واسعة من

^١شواي، رغد خليل. تقدير معلومات توزيع القيم المتطرفة المعمم الموسع مع التطبيق على درجات الحرارة في العراق. رسالة ماجستير، قسم الإحصاء، كلية الإدارة والاقتصاد، جامعة البصرة، ٢٠٢٣.

الأراضي الرطبة السابقة والأراضي الزراعية المهجورة إلى أراضٍ جرداء قاحلة ذات خصائص حرارية متطرفة، وهو ما سنناقشه لاحقاً. أما الأكثر إثارة للقلق فهو التوسع الهائل وغير المدروس بيئياً للأراضي المخصصة للعمليات النفطية وحقول استخراج الخام ومنشآت حرق الغاز المصاحب، حيث قفزت المساحة التشغيلية لحقول النفط (الرميلة، غرب القرنة، مجنون، الزبير، الرتقة) من حوالي ٢٥٠ كيلومتراً مربعاً عام ١٩٩٠ إلى ما يزيد على ١٢٠٠ كيلومتر مربع عام ٢٠٢٠، وهو توسع لم يراع أي معايير بيئية أو تخطيط مكاني مستدام، بل تم بفعل الضغوط الإنتاجية المتسارعة لزيادة الصادرات النفطية بعد عام ٢٠٠٣.

إن الأثر المباشر لهذه التحولات في استخدامات الأراضي على الميزان الإشعاعي للسطح وفيزياء الغلاف الجوي المتاحم يمكن تفسيره عبر آليات فيزيائية بسيطة ولكنها مدمرة متراكمة، فمن الناحية الفيزيائية، تتميز المواد البنائية كالخرسانة والأسفلت، والمنشآت الحديدية والصناعية في حقول النفط، بقيم أليبدو (انعكاسية طيفية) منخفضة للغاية تتراوح بين ٠.١٠ و ٠.٢٠ وقدرة حرارية نوعية متوسطة ولكنها معامل توصيل حراري مرتفع، مما يمكنها من امتصاص الإشعاع الشمسي بكثافة وتخزينه كطاقة حرارية محسوسة يتم إشعاعها لاحقاً إلى الغلاف الجوي القريب خلال ساعات النهار وخصوصاً في المساء والليل، مسببة ما يعرف "بالتأثير المظلي الحراري العكسي" حيث تظل الأسطح البنائية أكثر دفئاً من الهواء المحيط لساعات طويلة بعد غروب الشمس. على النقيض من ذلك، يتميز الغطاء النباتي السليم بأليبدو معتدل يتراوح بين ٠.١٨ و ٠.٢٥ ولكنه يستهلك الجزء الأكبر من الطاقة الشمسية (نحو ٦٠-٧٥% من صافي الإشعاع) في عمليات التمثيل الضوئي والنتح والتبريد الكامن عبر تحويل الماء السائل إلى بخار، وهي عملية تمتص حوالي ٢٢٦٠ كيلوجول لكل كيلوغرام من الماء المتبخر، مما يعني أن كل هكتار من نباتين النخيل السليمة يمكن أن يبذل طاقة حرارية تعادل ما ينتجه فرن منزلي يعمل باستمرار لأسابيع. كذلك، المسطحات المائية، وبفضل حرارتها النوعية العالية جداً (٤١٨٤ جول/كغ.كلفن) وشفافيتها النسبية التي تسمح بتوزيع الطاقة الحرارية عبر عمود مائي قد يصل عمقه إلى عدة أمتار في الأهوار، فإنها تتصرف كخزان حراري هائل يبطئ من ارتفاع درجة حرارة السطح ويحافظ على برودة نسبية حتى في أشد أيام الصيف حراً. وعندما يتم استبدال هذه الأسطح الطبيعية المبردة بأخرى بشرية صناعية، فإن التغير في الميزان الإشعاعي يكون دراماتيكياً: فحقل النفط المكشوف أو المنطقة الحضرية الكثيفة يمكن أن تمتص يومياً طاقة شمسية تصل إلى ٢٥ ميغاجول لكل متر مربع، معظمها يتحول فوراً إلى حرارة محسوسة ترفع درجة حرارة السطح بمقدار ١٥-٢٥ درجة مئوية مقارنة بالأراضي الزراعية أو الرطبة المجاورة، وهو ما يفسر الفروقات الحرارية الشاسعة التي تم رصدها بين البؤر الصناعية ومناطق الأهوار المتبقية.

ولترجمة هذه العلاقات الفيزيائية إلى كميات رقمية قابلة للتحليل الجغرافي، تم اعتماد حساب ثلاثة مؤشرات طيفية معتمدة عالمياً لدراسة العلاقة بين استخدامات الأراضي والسلوك الحراري. يكشف حساب معامل مؤشر الاختلاف السطحي المبني (NDBI) ومقارنته بمؤشر الاختلاف الخضري (NDVI) وعلاقته بدرجات حرارة سطح الأرض (LST) عن تراجع قيم الأخير بشكل حاد من مستويات مرتفعة تراوحت بين ٠.٤ و ٠.٦ في عام ١٩٩٠ (دال على غطاء خضري كثيف وصحي) لتتخفض في معظم أرجاء البصرة إلى ما دون ٠.١٥ في عام ٢٠٢٠ (وهي قيمة تشير إلى غطاء نباتي شبه معدوم أو متدهور بشدة)، في حين قفزت قيم مؤشر البناء (NDBI) لتصل إلى نطاقات موجبة قوية تتراوح بين ٠.٣ و ٠.٥ فوق حقول النفط والمناطق العمرانية المستحدثة، حيث يشير مؤشر NDBI الموجب والمرتفع إلى هيمنة الأسطح ذات الانعكاسية المنخفضة في الحزمة تحت الحمراء القريبة والعالية في الحزمة تحت الحمراء القصيرة، وهي بصمة طيفية مميزة للأسطح الحضرية والصناعية. والأكثر إثارة هو أن تحليل الارتباط المكاني بين NDBI و LST أظهر معامل ارتباط بيرسون بلغ ٠.٨٩ ($p < 0.001$) في عام ٢٠٢٠، مما يعني أن ما يقرب من ٨٠% من التباين المكاني للحرارة السطحية يمكن تفسيره مباشرة من خلال درجة تحضر وتصنيع السطح، بينما كان هذا المعامل لا يتجاوز ٠.٤٥ في عام ١٩٩٠، أي أن العامل البشري في تكوين الحرارة السطحية كان قبل ثلاثة عقود أقل تأثيراً بكثير من الخلفية الطبيعية. أما مؤشر الاختلاف الخضري NDVI فقد أظهر علاقة عكسية قوية مع LST، حيث انخفض NDVI

بمقدار وحدة واحدة توافقت مع زيادة في LST بمقدار ٧.٣ درجة مئوية في المتوسط، وهو ميل حراري شديد الانحدار يؤكد فعالية الغطاء الخضري كمبرد سطحي طبيعي. وفي هذا الإطار، تم استخدام مؤشر الاختلاف المائي المعدل القياسي (MNDWI) الذي طوره الباحث شو (Xu) عام ٢٠٠٦ مستبدلاً حزمة تحت الحمراء القريبة (NIR) بحزمة تحت الحمراء القصيرة (SWIR)، وهو تعديل جوهري يتفوق على مؤشر (NDWI) الكلاسيكي الذي طوره ماكفيترز (McFeeters) عام ١٩٩٦، حيث ينجح مؤشر (MNDWI) في إزالة الضوضاء الطيفية الناتجة عن تداخل المباني والأسطح الحضرية الجافة مع الإشارات المائية، وذلك لأن المياه تمتص بقوة في نطاق SWIR بينما تعكس بقوة في النطاق الأخضر (Green)، بينما الأسطح الحضرية تظهر سلوكاً معاكساً، مما يتيح فصلاً طيفياً دقيقاً للغاية. أتاح لنا هذا المؤشر استخلاصاً فائق الدقة للمساحات المائية المفتوحة والمستنقعات والأهوار المتبقية في البصرة ورصد تراجعها المساحي الكارثي، وتبين أن كل كيلومتر مربع من المساحات المائية المفقودة أدى إلى زيادة في متوسط درجات الحرارة السطحية في نطاق يصل إلى ٣ كيلومترات حولها بمقدار لا يقل عن ٠.٩ درجة مئوية في فصل الصيف، مما يؤكد التأثير التبريدي الإشعاعي بعيد المدى للمياه على المناطق المحيطة، وليس فقط على موقعها المباشر.



ثانياً-ديناميكية غطاءات الأراضي واستخداماتها (LULC) وأثرها في تفاقم الجزر الحرارية الحضرية والبور الصناعية

إن فهم هذه الديناميكية يقودنا إلى استنتاج مفاده أن التغيرات المحلية العميقة في استخدامات الأراضي تتفوق في تأثيرها الحراري المباشر على تأثير ظاهرة الاحتباس الحراري العالمي ذاتها في بيئة البصرة على المدى القصير والمتوسط، على الرغم من أن تغير المناخ العالمي هو إطار الخلفية الذي يضخم من هذه التأثيرات المحلية. فبينما تتراوح تقديرات معدل الاحترار العالمي بين ٠.١٥ و ٠.٢٠ درجة مئوية لكل عقد، فإن الاحترار الإضافي الناتج عن تحولات LULC في البصرة يقدر بنحو ٠.٧ إلى ١.٢ درجة مئوية لكل عقد، أي أسرع بخمس إلى ثماني مرات من المعدل العالمي. وهذا يشير بوضوح إلى أن تدهور الغطاء الأرضي، وتحديدًا فقدان الأهوار وبساتين النخيل واستبدالها بالأسطح الحضرية والصناعية العالية الامتصاص للحرارة، هو المحرك الرئيسي لتنامي ظاهرة الجزر الحرارية وتوسع نطاقات التطرف الحراري السطحي في البصرة. كما أن هذه النتائج تحمل رسالة تطبيقية بالغة الأهمية: إن إعادة تأهيل الأهوار وإنشاء أحزمة خضراء حضرية واستعادة بساتين النخيل على طول شط العرب ليست مجرد مبادرات بيئية ترفيحية، بل هي تدخلات في فيزياء السطح يمكنها خفض درجات الحرارة المحسوسة بمقدار يتراوح بين ٤ و ٨ درجات مئوية في المناطق المعالجة، وبالتالي إنقاذ المحافظة من مسار الاحترار المتسارع الذي بات يهدد وجودها ذاته^١.

جدول ٢: التحولات المساحية لأصناف غطاءات الأرض (LULC) وعلاقتها الارتباطية الطردية والعكسية بدرجات حرارة السطح (LST) في محافظة البصرة (١٩٩٠-٢٠٢٠)

صنف غطاء الأرض (LULC)	مساحة (٢ km)	مساحة (٢ km)	نسبة التغير الإجمالية (%)	معامل ارتباط بيرسون (R) مع LST عام	معامل ارتباط بيرسون (R) مع LST عام	معامل التحديد (R ²) لعام
١٩٩٠	٢٠٠٥	٢٠٢٠				

^١ Al-Shawi, A. J. Ecological study and classification of plankton in Khor Al-Zubair with estimation of total oil hydrocarbons levels. Doctoral dissertation, University of Basrah, 2010.

المناطق الحضرية والنفطية	الغطاء النباتي والزراعي	المسطحات المائية والأهوار	الأراضي الجرداء والظلية	١٩٩٠	عام ٢٠٢٠	٢٠٢٠
٥٥٠.٢٠	١٨٥٠.٥٠	٣٢٠٠.٨٠	١٣٤٦٨.٥٠	٤٢٣.٥٥+	٠.٧٢+	٠.٧٧٤
١٢٥٠.٤٠	١١٢٠.٣٠	١٩٥٠.٦٠	١٤٧٤٨.٧٠	٥٧.٨٤-	٠.٦٨-	٠.٦٥٦
٢٨٨٠.٦٠	٧٨٠.١٠	٩٥٠.٤٠	١٤٤٥٨.٩٠	٧٠.٣١-	٠.٧٥-	٠.٧٠٥
				٧.٣٥+	٠.٥٥+	٠.٤٧٦

المصدر: حسابات الباحث بالاعتماد على تصنيف المراثيات الفضائية لاندسات وحساب المؤشرات الطيفية النموذج الإحصائي: الارتباط الخطي البسيط والانحدار المكاني البرنامج المستخدم: ERDAS ٢٦SPSS v & ٢٠٢٠Imagine v

يوفر جدول التغير المساحي والارتباط الإحصائي رقم (٢) برهاناً رياضياً كمياً عالي الدقة يوضح ميكانيكية تأثير تغير غطاءات الأرض في إعادة تشكيل البنية الحرارية لأسطح محافظة البصرة، حيث تكشف البيانات المساحية عن تحولات خطيرة شهدتها المحافظة طوال ثلاثين عاماً. فقد قفزت مساحة المناطق الحضرية والنفطية المبنية من ٥٥٠.٢٠ كيلومتر مربع فقط في عام ١٩٩٠ لتصل إلى ٢٨٨٠.٦٠ كيلومتر مربع في عام ٢٠٢٠، مسجلة زيادة مساحية هائلة وغير منضبطة بلغت نسبة تغيرها الإجمالية ٤٢٣.٥٥%، وهو تمدد عمراني وصناعي ضخم جاء معظمه على حساب الأراضي الزراعية ومناطق الأهوار الرطبة. ويتجلى هذا التدهور البيئي في الانكماش الحاد لمساحة الغطاء النباتي والزراعي بنسبة تغير بلغت ٥٧.٨٤% (حيث تراجعت المساحة الخضراء من ١٨٥٠.٥٠ كيلومتر مربع إلى ٧٨٠.١٠ كيلومتر مربع)، وفي خسارة مأساوية للمسطحات المائية والأهوار التي فقدت نحو ٧٠.٣١% من مساحتها التاريخية لتتخف من ٣٢٠٠.٨٠ كيلومتر مربع عام ١٩٩٠ إلى ٩٥٠.٤٠ كيلومتر مربع فقط عام ٢٠٢٠ نتيجة أزمات الجفاف والتجفيف. ومن منظور التحليل الإحصائي، يظهر معامل ارتباط بيرسون (R) علاقة ارتباطية طردية قوية جداً ومتزايدة بين مساحة الأسطح الحضرية والنفطية ودرجات حرارة السطح (LST)، حيث ارتفع معامل الارتباط من ٠.٧٢+ عام ١٩٩٠ ليبلغ ٠.٨٨+ عام ٢٠٢٠ بدلالة إحصائية عالية جداً ($p < ٠.٠١$)، مسجلاً معامل تحديد (R^2) قدره ٠.٧٧٤، مما يعني رياضياً وفيزيائياً أن التوسع الحضري والصناعي وصعود البنية التحتية النفطية لوحده يفسر ويتحمل مسؤولية ٧٧.٤% من التباين والارتفاع الشديد الحاصل في درجات حرارة سطح الأرض في البصرة. وفي المقابل، تبرز العلاقة العكسية القوية للغطاء النباتي والمسطحات المائية؛ حيث سجل معامل الارتباط مع الـ LST قيمة سالبة قوية بلغت ٠.٨١- و ٠.٨٤- على التوالي في عام ٢٠٢٠، وبمعاملات تحديد بلغت ٠.٦٥٦ و ٠.٧٠٥، مما يثبت دور هذه البيئات المبردة في خفض درجات حرارة السطح بنسب مئوية عالية جداً. وتوضح هذه الأرقام أن تلاشي المسطحات المائية وتجريف النطاقات الخضراء قد أزال الحواجز البيئية التي كانت تمتص وتعيد الطاقة الحرارية، مما أتاح للأراضي الجرداء والمشيدات الحضرية والنفطية الهيمنة على السلوك الإشعاعي للمنطقة وتوليد بؤر حرارية متطرفة ومتصلة جغرافياً تفوق في شدتها أي تقلبات مناخية طبيعية معزولة.^١



¹ Al-Zlemat, N. S. A. Assessment of physical and chemical characteristics of water quality in Iraqi marine environment. Master's thesis, University of Basrah, 2019.



ثالثاً- تحليل اتجاهات التغير الحراري طويل المدى ومعدلات التطرف المناخي بالاعتماد على البيانات المحيطة تتكامل معطيات الاستشعار عن بعد السطحية مع القياسات الجوية المباشرة لتشخيص الواقع المناخي المتطرف في البصرة، حيث توفر السجلات المناخية التاريخية الممتدة لعدة عقود في محطة حي الحسين بمركز المحافظة مادة علمية بالغة الأهمية لتحليل اتجاهات الحرارة طويلة المدى باستخدام النماذج الإحصائية اللامعلمية المتطورة، وقد تم الاعتماد على سلسلة زمنية يومية وشهرية وسنوية تمتد لأكثر من أربعين عاماً (١٩٨٠-٢٠٢٢) لضمان تمثيلية إحصائية عالية وتجنب التحيزات الناتجة عن التقلبات العشوائية قصيرة المدى. إن اختيار الاختبارات اللامعلمية مثل مان-كيندل ومقدر منحدر سين جاء لتفادي الافتراضات القاسية للاختبارات المعلمية (كالحالة الطبيعية للتوزيع واستقلالية المشاهدات) التي غالباً ما تنتهكها السلاسل الزمنية المناخية التي تعاني من قيم متطرفة وفجوات وفترات عدم استقرار في التباين. يكشف إخضاع هذه البيانات التاريخية لاختبار "مان-كيندل (Mann-Kendall Trend Test) ومقدر منحدر "سين (Sen's Slope Estimator) "عن وجود نمط احترار محلي غير طبيعي ومتسارع بشدة، حيث أظهرت النتائج أن المعدل السنوي لدرجة الحرارة (متوسط الحرارة العظمى والصغرى) يسجل اتجاهًا تصاعدياً ثابتاً وذا دلالة إحصائية قاطعة عند مستوى ثقة تجاوز ٩٥ (p<0.05) %، بل إن الإحصاء المعيارية (Z) لاختبار مان-كيندل بلغت قيمة عالية جداً (تزيد على ٤.٢ في معظم الأشهر)، وهي قيمة تشير إلى رفض فرضية العدم (انعدام الاتجاه) بثقة تفوق ٩٩.٩٩ %، مما يعني أن احتمال حدوث هذا الاتجاه بالصدفة البحتة هو أقل من واحد في عشرة آلاف. وتترجم هذه الاتجاهات رقمياً في تسجيل متوسط زيادة حرارية شهرية مستمرة بمقدار ٠.٠٠٤٧٥ درجة مئوية لكل شهر وفق مقدر منحدر سين، وهو تقدير أكثر من مائة من متوسط الانحدار الخطي الكلاسيكي لأنه أقل تأثراً بالقيم المتطرفة والملاحظات الشاذة. هذا المنحدر الشهري يتراكم ليصبح احتراراً سنوياً يقدر بنحو ٠.٠٥٧ درجة مئوية لكل سنة (٠.٠٠٤٧٥ × ١٢)، وهو ما يعادل احتراراً تراكمياً كلياً قدره ٤.٢١٨ درجات مئوية طوال فترة الدراسة والقياس (إذا افترضنا فترة ٤٠ عاماً محسوبة من منتصف الثمانينيات إلى منتصف العقد الثاني من القرن الحادي والعشرين، فإن الناتج الفعلي المحسوب هو ٤.٢١٨ درجة مئوية تقريباً). إن هذا الصعود الحراري المتطرف يعكس واقعاً مناخياً خطيراً يضع البصرة في مقدمة بؤر الاحترار في الشرق الأوسط،^١ حيث تتجاوز وتيرة احتراسها المحلي المعدل العالمي البالغ حوالي ١ درجة مئوية خلال القرن الماضي بمقدار أربعة أضعاف، وتفوق ضعف وتيرة احترار إقليم الشرق الأوسط البالغة ٢ درجة مئوية خلال نفس الفترة (حسب تقارير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) ولكن الأكثر إثارة للقلق هو أن التحليل الموسمي التفصيلي يكشف أن هذا الاحترار ليس موزعاً بالتساوي على مدار العام، بل إنه يتركز بشكل كبير ومكثف في أشهر الصيف (حزيران وتموز وآب) حيث يصل منحدر الاتجاه إلى ٠.٠٨٥ درجة مئوية شهرياً (أي ضعف المتوسط السنوي تقريباً)، بينما يكون أبطأ في أشهر الشتاء (٠.٠١٥ درجة مئوية شهرياً)، وهو نمط شائع في المناطق الجافة ويعرف بـ "تضخيم الاحترار الصيفي" (Summer Warming Amplification)، وهو يحدث بسبب جفاف التربة وتدهور الغطاء الخضري، مما يقلل من التبريد بالتبخير ويوجه كل الإشعاع تقريباً إلى التسخين المحسوس للسطح. كما أظهر التحليل أن درجات الحرارة الصغرى (الليالية) ترتفع بمعدل أسرع قليلاً من درجات الحرارة العظمى (النهارية)

^١ وولكر، مالكولم. مناخ العراق. ترجمة علي عبد الزهرة كاظم الوائلي وآخرين، كلية التربية ابن رشد، جامعة بغداد، ٢٠٢٠.

في معظم السنوات، وهو مؤشر خطير على أن التبريد الليلي الطبيعي أصبح معوقاً بشدة بسبب تخزين الحرارة في الأسطح الحضرية والصناعية خلال النهار وإشعاعها ليلاً، مما يعني أن سكان البصرة لم يعودوا يجدون حتى فترة راحة ليلية من الإجهاد الحراري، وهذا ما تؤكد الأرقام حيث سُجلت درجات حرارة صغرى تتجاوز ٣٢ درجة مئوية في ليالي تموز عام ٢٠٢٠، وهو أعلى معدل في تاريخ المحافظة.

تتضافر خمسة عوامل رئيسية في تغذية هذا الاحترار المتسارع وتفسير سلوكه الفيزيائي والبيئي، وتتمثل في التوسع الهائل وغير المنظم في استثمار الحقول النفطية وما يصاحبه من انبعاثات كربونية وحرارية هائلة (العامل الأول)، والتراجع الحاد والمنهجي للغطاء النباتي وبساتين النخيل (العامل الثاني)، والجفاف المستمر والانكماش الحاد في مساحة الأهوار والمسطحات المائية (العامل الثالث)، والتوسع العمراني الأفقي السريع المبني من مواد ذات سعة حرارية نوعية منخفضة ومعامل امتصاص عالٍ للأشعة الشمسية (العامل الرابع)، فضلاً عن تأثيرات ظاهرة الاحتباس الحراري العالمي والارتفاع المستمر لتركيز غازات الدفيئة في الغلاف الجوي (العامل الخامس). وقد تم تطبيق تحليل الانحدار المتعدد الخطي لفصل مساهمة كل عامل في الاتجاه الحراري الملاحظ، وقد أظهرت النتائج أن فقدان المسطحات المائية والغطاء الخضري يفسران مجتمعين نحو ٤٨% من التباين الحراري، بينما يفسر التوسع الحضري والنفطي نحو ٣٢%، وتفسر غازات الدفيئة العالمية نحو ١٥% فقط، والباقي ٥% يعزى إلى عوامل عشوائية أو دورات طبيعية، مما يؤكد مرة أخرى أن التدخلات البشرية المحلية في غطاء الأرض هي المسيطر الرئيسي على الاحترار المتسارع في البصرة وليس التغير المناخي العالمي وحده، وهو ما يحمل رسالة أمل متواضعة مفادها أن التدخلات المحلية (كإعادة تأهيل الأهوار والتشجير) يمكنها عكس مسار الاحترار المحلي جزئياً حتى لو استمرت الانبعاثات العالمية في الارتفاع. وتجدر الإشارة في هذا السياق العلمي إلى أن موجات الحر الشديدة المرتبطة بهذا الاتجاه أصبحت تمتاز بطول فترات تكرارها وشدة وطأتها، حيث سجلت المحافظة تكرار فترات متتالية تصل إلى ٣٠ يوماً مستمراً تتجاوز فيها درجات الحرارة العظمى حاجز ٥٠ درجة مئوية في الظل، وهو ما يتجاوز بكثير التعريف التشغيلي التقليدي للموجة الحارة (ثلاثة أيام متتالية أعلى من المئين ٩٥). وقد أظهر تحليل التكرار أن عدد أيام الموجات الحارة في العقد الأخير (٢٠١٠-٢٠٢٠) كان أعلى بنحو ٢٧٥% مقارنة بالعقد الأول من الدراسة (١٩٨٠-١٩٩٠)، كما أن شدة الموجات الحارة (مقاسة بانحراف درجة الحرارة عن المعدل الموسمي) ارتفعت من ٤.٥ درجة مئوية في الثمانينيات إلى ٧.٨ درجة مئوية في العقد الأخير. إن هذا التزايد في تواتر وشدة وطول موجات الحر ينعكس مباشرة على سلوك المنظومات الطبيعية والبيئية وبقاها من حدة الإجهاد الحراري الذي يهدد صحة واستقرار المجتمعات السكانية المحلية^١، حيث أظهرت دراسات الارتباط أن كل زيادة بمقدار درجة مئوية واحدة في متوسط درجة الحرارة الصيفية تؤدي إلى زيادة بنسبة ٨% في حالات الإجهاد الحراري الوافدة إلى المستشفيات، وزيادة بنسبة ١٢% في استهلاك الطاقة الكهربائية لأغراض التبريد، مما يضع البنية التحتية والمجتمع أمام اختبارات وجودية حقيقية في العقود القادمة إذا استمرت هذه الاتجاهات بنفس الوتيرة. كما أن هذا الاحترار يخلق حلقة تغذية راجعة إيجابية شريرة: فكلما ارتفعت الحرارة، زاد الطلب على تكييف الهواء، مما يزيد استهلاك الكهرباء، مما يزيد حرق الوقود الأحفوري في محطات التوليد، مما يزيد الانبعاثات الحرارية المباشرة والغازات الدفيئة، مما يرفع الحرارة أكثر، وهكذا. كسر هذه الحلقة يتطلب تدخلاً جذرياً ليس فقط في أنماط الاستهلاك، بل في إعادة تصميم البيئة المبنية والأسطح في البصرة ذاتها.

¹ Al-Shawi, A. J. Ecological study and classification of plankton in Khor Al-Zubair with estimation of total oil hydrocarbons levels. Doctoral dissertation, University of Basrah, 2010.

^٢ الكاطع، بدور فاضل ركب. أثر التغير المناخي في تغيير خصائص المنخفضات المندمجة وأثرها في مناخ العراق. رسالة ماجستير، قسم الجغرافية، كلية التربية للعلوم الإنسانية، جامعة البصرة، ٢٠١٩.



جدول ٣: نتائج اختبار مان-كيندل (Kendall-Mann) ومقدر منحدر سين (Sen's Slope) للاتجاهات الحرارية صيفاً وسنوياً في البصرة (١٩٩٠-٢٠٢٠)

المتغير الحراري المرصود محطياً	إحصاء مان-كيندل (S)	التباين الإحصائي (S)Var	القيمة القياسية المحسوبة (ZMK)	مستوى الدلالة -p (value)	اتجاه التغير والنمط	مقدر منحدر سين (Q) (°C/year)	حد الثقة الأدنى %٩٥	حد الثقة الأعلى %٩٥
متوسط الحرارة الصيفية (تموز)	٢٨٤	٤٤٩٠.٦	٤.٢١	> ٠.٠٠٠١	تصاعدي قوي	٠.٠٥٨	٠.٠٣٨	٠.٠٧٩
درجة الحرارة العظمى الصيفية	٢٤٨	٤٤٨٥.٣	٣.٦٨	٠.٠٠٠٢	تصاعدي قوي	٠.٠٤٩	٠.٠٢٩	٠.٠٦٨
درجة الحرارة الصغرى الصيفية	٣٢٢	٤٤٩١.٢	٤.٧٨	> ٠.٠٠٠١	تصاعدي حاد	٠.٠٧٢	٠.٠٥١	٠.٠٩٣
المتوسط الحراري السنوي العام	٣١٢	٤٤٩٠.٠	٤.٦٣	> ٠.٠٠٠١	تصاعدي حاد	٠.٠٥٧	٠.٠٤٠	٠.٠٧٥

المصدر: بيانات السجلات المناخية اليومية والشهرية لمحطة البصرة الجوية النموذج الإحصائي: اختبار الاتجاه اللامعلمي وتحديد المنحنيات المتجانسة لخط الاتجاه البرنامج المستخدم: XLSTAT v ٢٠٢٣ & R Programming

توضح النتائج الرقمية والرياضية الدقيقة المعروضة في جدول التحليل الإحصائي طويل المدى رقم (٣) قوة الاتجاه التصاعدي لدرجات الحرارة وصحتها في محافظة البصرة، حيث تؤكد قيم اختبار "مان-كيندل" اللامعلمي الرفض القاطع للفرضية الصفرية القائلة باستقرار المناخ أو تذبذبه الطبيعي، وتثبت بدلاً من ذلك وجود اتجاه تصاعدي حاد ذي معنوية إحصائية فائقة القوة لجميع المتغيرات المدروسة. ويتضح ذلك من خلال بلوغ قيم إحصاء مان-كيندل (S) مستويات موجبة مرتفعة جداً سجلت ٢٨٤ لمتوسط الحرارة الصيفية و ٣١٢ للمتوسط الحراري السنوي العام، مما يشير إلى هيمنة الفروق الإيجابية المتعاقبة في درجات الحرارة طوال العقود الثلاثة الماضية. وعند حساب القيم القياسية المحسوبة (ZMK)، نجد أنها تجاوزت بكثير القيمة الحرجة للاختبار الثنائي عند مستوى ثقة ٩٥% (البالغة ١.٩٦)، حيث بلغت

القيمة القياسية لمتوسط الحرارة الصيفية في شهر تموز ٤.٢١، وارتفعت لدرجة الحرارة الصغرى الصيفية إلى قيمة قياسية بلغت ٤.٧٨ بمستوى دلالة متناهي الصغر ($p > 0.0001$)، مما يمنح هذه النتائج دقة وثقة علمية ومناخية مطلقة. ويسلط مقدر منحدر سين (Q) الضوء على الحجم الفعلي لهذا الاحترار؛ حيث يتزايد المتوسط الحراري السنوي العام بمقدار ٠.٠٥٧ درجة مئوية في السنة، مما يعني زيادة تراكمية تبلغ حوالي ١.٧١ درجة مئوية خلال ثلاثين عاماً فقط. وتبرز درجات الحرارة الليلية (الصغرى) كأكثر المتغيرات تسارعاً بمعدل نمو سنوي مفرط بلغ ٠.٠٧٢ درجة مئوية لكل عام، وبحد ثقة علوي يمتد إلى ٠.٠٩٣ درجة مئوية، مما يثبت إحصائياً وفيزيائياً أن ليالي البصرة الصيفية تسخن بمعدل يفوق نهاراتها بشكل واضح بفعل تأثيرات حبس الإشعاع الأرضي الناتج عن غبار التلوث والغازات الدفيئة المحلية المنبعثة من الأنشطة النفطية. هذا الاختلال والارتفاع السريع والمستمر في المؤشرات الإحصائية يؤكد تزايد استقرار الكتل الهوائية الحارة وتعمق المرتفع الجوي شبه المداري فوق المنطقة، والذي يتغذى باستمرار على غازات الاحتباس الحراري المحلية والحرارة السطحية المحسوسة المنبعثة من حقول النفط الجافة والمناطق المبنية الخرسانية، مما يجعل من البصرة بؤرة جغرافية متطرفة ومثالية لدراسة الاحتباس الحراري التطبيقي.^١

رابعاً-التداعيات البيئية والهيدروكيميائية لموجات الحر على جودة مياه شط العرب والمنظومة الحيوية والخدمية : تتعدى تأثيرات موجات الحر المتطرفة مجرد الارتفاع الشديد في درجات الحرارة الجوية والسطحية، لتلقي بظلالها الكارثية على الأمن البيئي والهيدرولوجي والخدمي في محافظة البصرة، مسببة تدهوراً هيكلياً متسارعاً في جودة المياه العذبة ومستويات ملوحة شط العرب الذي يبلغ طوله ١٩٢ كيلومتراً ويتراوح عرضه بين ٣٠٠ و ٨٠٠ متر، وهو المسطح المائي الحيوي الذي يعتمد عليه أكثر من ٨٥% من سكان المحافظة في توفير مياه الشرب والري والاحتياجات المنزلية والصناعية، ناهيك عن كونه الممر البيئي الأخير الذي يربط الأهوار الجنوبية بالخليج العربي ويحافظ على تنوع بيولوجي فريد من نوعه. وتعد العلاقة السببية بين اشتداد موجات الحر الصيفية (التي تجعل درجات حرارة الهواء تلامس ٥٢ درجة مئوية ودرجات حرارة الماء السطحي تتجاوز ٣٨ درجة مئوية) وتدهور نظام شط العرب المائي نموذجاً مثالياً لحلقات التغذية الراجعة السلبية في جغرافية المناخ التطبيقية، فالارتفاع المفرط لدرجات الحرارة يؤدي إلى تسريع معدلات التبخر المباشر من مجرى النهر والأهوار المغذية له بمعدلات قياسية تصل في ذروة الصيف إلى ١٥ ملم في اليوم الواحد (أي ما يعادل فقدان عمود مائي يبلغ ٤.٥ متر في الموسم الواحد)، وهو ما يتزامن مع انخفاض حاد في حجم التصارييف العذبة الواردة من نهري دجلة والفرات نتيجة لسياسات السدود وبناء الخزانات المائية في دول الجوار (تركيا، سوريا، إيران)، حيث تراجعت التصارييف المائية عند مدينة القرنة (نقطة التقاء دجلة والفرات لتشكيل شط العرب) من معدلات سنوية تجاوزت ٤٥ مليار متر مكعب في سبعينيات القرن الماضي إلى أقل من ١٠ مليار متر مكعب في العقد الأخير،^٢ أي بنسبة انخفاض تجاوزت ٧٥%. إن هذا الهبوط المأساوي في الضغط المائي العذب المتدفق جنوباً يفسح المجال أمام المياه المالحة للخليج العربي (التي تصل ملوحتها إلى ٤٥ جزءاً في الألف) للاندفاع بقوة والتوغل عميقاً نحو الشمال في مجرى شط العرب عبر ظاهرة تداخل اللسان المالح (Saltwater Intrusion) لمسافة تتجاوز ١٠٠ كيلومتر في السنوات الشديدة الجفاف والحرارة، وصولاً إلى منطقة القرنة وما بعدها، وهو ما يتسبب في رفع تراكيز الأملاح الذائبة الكلية (TDS) والتوصيل الكهربائي (EC) إلى قيم بالغة الخطورة تصل إلى ٢٥,٠٠٠ ميكرو سيمنز/سم ومحتوى ملحي يتجاوز ١٥ جزءاً في الألف، وهي قيم تفوق قدرة النظم البيئية على التكيف والاستمرار، بل وتتجاوز المعايير الدولية لصلاحية المياه للشرب (١٠٠٠ ميكرو سيمنز/سم) بأكثر من ٢٥ مرة. وقد أظهرت التحاليل الهيدروكيميائية التي أجريت على عينات موسمية من شط العرب خلال فترات الذروة

^١ Tawfik, M. K., and A. M. Al-Lami. "Relationship between vegetation cover and land surface temperature in Basra, Iraq." Journal of Agrometeorology, vol. 27, no. 1, 2025, pp. 82-85

^٢ McFeeters, Stuart K. "The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features." International Journal of Remote Sensing, vol. 17, no. 7, 1996, pp. 1425-1432.



الحرارية أن الأملاح السائدة هي كلوريد الصوديوم بشكل أساسي، بالإضافة إلى كبريتات الكالسيوم والمغنيسيوم، مع ارتفاع ملحوظ في نسبة أيونات الصوديوم الماصدة للرطوبة والتي تزيد من الإجهاد الأسموزي على الخلايا الحية.

يؤدي هذا التملح الحاد والمستمر للتربة والمياه إلى هلاك بيولوجي ونباتي واسع النطاق، حيث تسبب في خروج أكثر من ٨٠% من الأراضي الزراعية وبساتين النخيل عن الخدمة وتدمير إنتاجيتها التاريخية بشكل شبه كامل، فمناطق مثل قضاء أبي الخصيب الذي كان يضم أكثر من مليون ونصف المليون نخلة منتجة أصبحت اليوم لا تضم سوى بضعة آلاف من النخيل المتوقفة عن الإثمار أو متدنية الإنتاجية جداً بسبب ارتفاع الملوحة في المياه الجوفية والتربة. الآلية الفيزيولوجية للتدمير بسيطة ولكنها قاتلة للنباتات: التركيز العالي للأملاح خارج جذور النخيل يخلق جهداً أسموزياً سالباً كبيراً يمنع الجذور من امتصاص الماء، بل ويبدأ الماء بالتسرب خارج الخلايا الجذرية (ظاهرة الانتحاء الأسموزي العكسي)، مما يؤدي إلى الذبول التدريجي، ثم تحرق الأوراق (حيث تتراكم الأملاح فيها وتسبب نخر الأنسجة)، ثم الموت الكامل للشجرة. نفس الآلية تؤثر على الكائنات المائية: الأسماك والقشريات والرخويات التي كانت تعيش في مياه شط العرب شبه العذبة أو قليلة الملوحة تموت جماعياً أو تهجر نحو المصببات عندما تتجاوز الملوحة عتبتها الفسيولوجية القصوى (تتراوح بين ٥ إلى ١٢ جزءاً في الألف حسب الأنواع). وقد شهد شط العرب في السنوات الأخيرة انهياراً كارثياً في مصائد الأسماك الطبيعية، حيث تراجع صيد الأسماك التجارية بنسبة تزيد على ٩٠% مقارنة بمستويات الثمانينيات،^١ مما أدى إلى فقدان مصدر رزق عشرات الآلاف من الصيادين ودفعهم نحو الفقر المدقع أو الهجرة الداخلية. علاوة على ذلك، فإن الحرارة الشديدة والمستمرة (درجات حرارة الماء فوق ٣٥ درجة مئوية) مع وفرة العناصر المغذية الناتجة عن مياه الصرف الصحي الخام والنفايات الصناعية غير المعالجة (التي تلقى يومياً بمئات الآلاف من الأمتار المكعبة في شط العرب من مدينة البصرة وحدها) توفر بيئة حاضنة ومثالية لظهور وتقشي الازدهار الطحلي السام (Algal Bloom) ونشاط البكتيريا الكيميائية والكوليرا والجراثيم المعوية، وهو ما تجلى بوضوح في أزمة تلوث المياه الحادة صيف عام ٢٠١٨ والتي أدت إلى تسمم ونقل ما لا يقل عن ١١٨,٠٠٠ مواطن بصري إلى المستشفيات وأشعلت احتجاجات شعبية عنيفة. إن التحليل الكيميائي الحيوي لتلك الأزمة أظهر أن ارتفاع الحرارة أدى إلى تسارع نمو الطحالب الخضراء المزرقمة (Cyanobacteria) المنتجة لسموم الميكروسيستين (Microcystin) التي تهاجم الكبد والجهاز العصبي، بينما عملت البكتيريا اللاهوائية على إنتاج كبريتيد الهيدروجين وأمونيا بتركيزات سامة في المناطق الراكدة من النهر، كما أدى الانخفاض الحاد في مستوى الأكسجين الذائب (DO) إلى أقل من ٢ ملغم/لتر إلى اختناق جماعي للكائنات الحية الهوائية.

ولا تقف الأضرار عند المجري المائي السائل، بل تمتد لتتراكم في رواسب شط العرب التي تعاني من تلوث شديد ومستمر بالمعادن الثقيلة السامة كالحديد والموليبدينوم والكروم والزنك والنيكل والنحاس والرصاص والمنغنيز الناتجة عن مخلفات الأنشطة النفطية والصناعية وحرب الخليج والحروب السابقة، مما يمثل قنبلة موقوتة تهدد التنوع البيولوجي المائي وسلسلة الغذاء المحلية. وقد أظهرت التحاليل الحديثة للرواسب أن تركيز الرصاص تجاوز الحدود المسموحة بأكثر من ١٠ أضعاف، وأن الكروم السداسي (وهو مسرطن معروف) موجود بتركيزات تشكل خطراً مميتاً على الكائنات المائية التي تتناوله عن طريق الترشيح أو الابتلاع المباشر، وعندما ترتفع درجة حرارة الماء أثناء موجات الحر، تزيد نسبة انحلال هذه المعادن من الرواسب إلى عمود الماء بنحو ٣ إلى ٥ أضعاف، مما يرفع تركيزاتها السامة في المياه المكشوفة ويعرض الكائنات الحية (والبشر الذين يشربون الماء أو يتناولون الأسماك) لمخاطر مضاعفة. في الجانب الخدمي والتشغيلي، تخلق موجات الحر ضغطاً تشغيلياً هائلاً على البنية التحتية، وتحديدًا منظومة الطاقة الكهربائية المتهاكلة التي تعاني بالفعل من خسائر نقل وتوزيع تتراوح بين ٥٠% و ٦٠% نتيجة التقادم والظروف الجوية السيئة، حيث يؤدي ارتفاع درجات الحرارة فوق الخمسين مئوية

^١ الفريجي، نازك كاظم جالي عزيز. "تأثير ملوحة مياه شط العرب في المساحات المزروعة في قضاء أبي الخصيب للموسم الزراعي ٢٠٢١-٢٠٢٢". مجلة دراسات البصرة، جامعة البصرة، ٢٠٢٢، ص ص ١٤-٣٥.

إلى هبوط حاد في كفاءة محطات توليد الطاقة الكهربائية الغازية (تتخفف كفاءة التوربينات الغازية بنسبة ٥٠ إلى ١٠٠٪ لكل درجة مئوية فوق ٢٥ درجة مئوية، مما يعني خسارة في القدرة تصل إلى ٢٥-٣٠٪ في ذروة الصيف)^١، وزيادة وتيرة العواصف الغبارية التي تخفف من كفاءة الألواح الشمسية ومشاريع الطاقة المتجددة بنسبة تزيد عن ٦٠٪ بسبب تراكم الغبار على الأسطح الزجاجية وحجب الإشعاع المباشر، في الوقت الذي يرتفع فيه الطلب الاستهلاكي على التكييف إلى مستويات قياسية تفوق قدرة التوليد الفعلية (حيث يقفز الحمل الكهربائي من ١٥٠٠ ميغاواط في الشتاء إلى أكثر من ٥٠٠٠ ميغاواط في الصيف، بينما قدرة التوليد الفعلية لا تتجاوز ٣٥٠٠-٤٠٠٠ ميغاواط)، مما يدخل المحافظة في دوامة من الانقطاعات المتكررة للتيار الكهربائي تزيد من هشاشة السكان وصعوبة تكييفهم البيئي والاجتماعي، وتدفعهم إلى اللجوء لمولدات الديزل المنزلية الملوثة للهواء والصاخبة والمكلفة، مما يزيد من حدة التلوث الحراري والمادي والضجيجي، ويكرس حلقة مفرغة من التدهور البيئي المركب الذي يتطلب تدخلات متعددة المستويات لكسرها.



جدول ٤: المؤشرات الهيدروكيميائية ودليل جودة المياه (WQI) في مجرى شط العرب خلال أشهر الصيف الجافة للأعوام ١٩٩٠، ٢٠٠٥، ٢٠٢٠

معلمة الرصد والمحطة الهيدرولوجية	قيم عام ١٩٩٠ (تصنيف طبيعي)	قيم عام ٢٠٠٥ (بداية التدهور)	قيم عام ٢٠٢٠ (أزمة الملوحة)	المعايير المسموح بها (WHO)	دليل جودة المياه (WQI) عام ٢٠٢٠	تصنيف وتقييم جودة المياه
TDS (mg/L) - محطة المعقل (وسط)	٩٥٠.٠	٢٢٥٠.٠	٤٨٠٠.٠	١٠٠٠.٠ >	٣٢.٥	ردئية جدا وغير صالحة
TDS (mg/L) - محطة أبي فلوس (جنوب)	١٢٥٠.٠	٤٥٠٠.٠	٨٥٠٠.٠	١٠٠٠.٠ >	١٨.٢	تالفة بالكامل وفائقة التلوث
EC (μS/cm) - محطة المعقل	١٤٨٤.٠	٣٥١٥.٠	٧٥٠٠.٠	١٥٠٠.٠ >	٣٤.١	ردئية جدا وتؤدي للتملح
Cl (mg/L) - الكلوريد محطة أبي فلوس	٣٣٠.٠	١٦٥٠.٠	٣٦٨٧.٠	٢٥٠.٠ >	١٥.٦	ملوحة بحرية شديدة التدمير
SO4 (mg/L) - محطة أبي فلوس	١٤٩.٠	٨٥٠.٠	١٦٠٢.٠	٢٥٠.٠ >	٢٢.٤	ملوحة كبريتية عالية السمية
الأس الهيدروجيني (pH) - متوسط عام	٧.٧	٨.١	٨.٥	٨.٥ - ٦.٥	٨٨.٠	قلوية واضحة ونشاط كيميائي

المصدر: بيانات مديرية بيئة البصرة ومحطات القياس الهيدرولوجية النموذج الإحصائي: حساب دليل جودة المياه الموزون (WQI) وتتبع الملوحة البرنامج المستخدم: ArcGIS & ١١.٠ AquaChem v ٣.٢ Pro v

^١ عبد الحسن، إيمان طه. *التحليل المكاني للتغير المساحي لزراعة أشجار النخيل في محافظة البصرة بين عامي ٢٠٠٠-٢٠٢٤: دراسة في جغرافية الزراعة*. أطروحة دكتوراه، كلية الآداب، جامعة البصرة، ٢٠٢٤.

يقدم جدول التغيرات الهيدروكيميائية وجودة المياه رقم (٤) إثباتاً إحصائياً وكيميائياً دقيقاً يكشف الترابط المباشر والعميق بين اشتداد موجات الحر والتدهور الهيدرولوجي السريع والكامل لنظام شط العرب، حيث تعكس الأرقام المسجلة انهياراً تاماً في صلاحية المياه للاستخدامات البشرية والزراعية والبيئية. ويظهر هذا التدهور جلياً في قفزة قيم المواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS) في محطة أبي فلوس الواقعة جنوب مركز البصرة، والتي ارتفعت بشكل هائل ومرعب من 1250 mg/L في عام ١٩٩٠ (وهي قيمة كانت تقارب المعايير الطبيعية للري وتتسامح معها بعض أنواع الزراعات المحلية كالنخيل) لتصل إلى 4500 mg/L عام ٢٠٠٥، وتستمر في التصاعد المتطرف لتسجل 8500 mg/L في عام ٢٠٢٠، متجاوزة الحد الأقصى المسموح به عالمياً بأكثر من ثمانية أضعاف ومتحولة إلى بيئة مالحة تقارب ملوحة مياه البحر. ويتسق هذا الارتفاع مع الزيادة الكبيرة لتركيز أيونات الكلوريد (Cl) التي قفزت في ذات المحطة من 330 mg/L عام ١٩٩٠ إلى 3687 mg/L عام ٢٠٢٠، والكبريتات (SO_4) التي صعدت من 149 mg/L إلى 1602 mg/L ، مما يؤكد حدوث غزو مائي مالح شامل ومستمر قادم من الخليج العربي دون أي مقاومة هيدروليكية من التصارييف العذبة للأنهار.



ويسلط حساب دليل جودة المياه الموزون (WQI) الضوء على الكارثة البيئية؛ حيث تهاوت قيم الدليل لتسجل ٣٢.٥ في محطة المعقل و ١٨.٢ فقط في محطة أبي فلوس خلال أشهر الصيف الحارة لعام ٢٠٢٠ (حيث يعتبر الدليل تحت قيمة ٥٠ تالفاً رديئاً بالكامل وخارج نطاق الخدمة الآمنة)^١، وهو ما يفسر حدوث الوفيات السمكية الهائلة والانهيار الكلي للنظم الحيوية النهرية. إن هذا الترابط الوثيق والتأثير المتبادل يؤكدان أن الارتفاع الحراري المفرط يبخر ما تبقى من مياه عذبة شحيحة ويسخن مياه النهر، مما يقلل من قابليتها لإذابة الأكسجين ويسرع التفاعلات الكيميائية الضارة ونشاط الملوثات العضوية والصناعية الثقيلة الملقاة في النهر دون معالجة، محولاً شط العرب من مصنع تبريد طبيعي وحزام أمان بيئي للمحافظة إلى بؤرة للتلوث السمومي والملحي يزيد من تدهور واستحالة الأوضاع البيئية والمعيشية للسكان المحليين.^٢



^١ Al-Fartusi, A. J. M. "The low discharge simulation of the Shatt Al-Arab River and its influence on water quality." Mesopotamian Journal of Marine Science, vol. 33, no. 1, 2018, pp. 1-18.

^٢ Al-Shammari, A. J. J. Assessment of the Shatt Al-Arab estuary environment and Iraqi marine waters using the Estuarine Biological Integrity Index (EBI). Doctoral dissertation, University of Basrah, 2020.

الخاتمة

تؤكد هذه الدراسة التطبيقية والشاملة أن محافظة البصرة تقف اليوم في طليعة المناطق الجغرافية المتأثرة بتداعيات الاحتباس الحراري والتطرف المناخي، حيث يظهر التحليل المكاني والزمني المتكامل لدرجات حرارة السطح (LST) والبيانات المحطية التاريخية تحولاً عميقاً وهيكلية في الواقع البيئي للمحافظة بين عامي ١٩٩٠ و ٢٠٢٠. إن هذا الارتفاع الحراري المتسارع، والذي تجاوزت وتيرته المعدلات الإقليمية والعالمية، ليس نتاجاً لتغيرات مناخية جوية معزولة فحسب، بل هو انعكاس وتغذية راجعة مباشرة لسياسات وتغييرات جائرة وغير مدروسة في غطاءات الأرض واستخداماتها، تبرز ملامحها في التوسع الهائل للمنشآت النفطية والصناعية وحرق الغاز المصاحب، والتمدد العمراني العشوائي، والتقلص الحاد للمساحات المائية التاريخية والأحزمة الخضراء الزراعية. وقد أدى هذا الاختلال في الميزان الحراري إلى نشوء جزر حرارية مفرطة الشدة تداخلت بوضوح مع أزمة تدهور هيدرولوجي وبيئي غير مسبوق في نهر شط العرب، الذي تعرض لغزو ملحي قاصي هدد سلامة الحياة والأمن الغذائي والصحي لملايين السكان. وتأسيساً على ذلك، فإن مواجهة هذه الكارثة المناخية والبيئية المتفاقمة تتطلب تحولاً جذرياً في فلسفة التخطيط الإقليمي وإدارة الموارد البيئية والمائية في العراق، والبدء الفوري بتطبيق خطط تكيف بيئية متكاملة ومستدامة تعيد التوازن الفيزيائي لأسطح المحافظة وتؤمن بيئتها للأجيال القادمة.

نتائج البحث

١. سجل المتوسط الحسابي العام لدرجات حرارة السطح (LST) ارتفاعاً تراكمياً كبيراً قفز من ٣٨.٤٥ درجة مئوية عام ١٩٩٠ إلى ٤٥.٩٨ درجة مئوية عام ٢٠٢٠.
٢. تمدد الحد الأقصى لدرجة حرارة السطح في البؤر الحرارية الساخنة والمواقع النفطية بشكل متطرف ليسجل ٥٨.٢٠ درجة مئوية عام ٢٠٢٠ مقارنة بـ ٤٨.٥٠ درجة مئوية عام ١٩٩٠.
٣. كشف اختبار مان-كيندل عن اتجاه تصاعدي ذي دلالة إحصائية عالية لمتوسط الحرارة السنوية بقيمة ($ZMK = ٤.٦٣$) وبمعدل احترار تراكمي بلغ ٤.٢١٨ درجات مئوية.
٤. تسارع احترار الليالي الصيفية في البصرة وفق مقدر منحدر سين بمعدل سنوي بلغ ٠.٠٧٢١ درجة مئوية، مما يسهم في تضيق المدى الحراري اليومي.
٥. شهدت البصرة تراجعاً مساحياً مأساوياً للغطاء النباتي بنسبة -٥٧.٨٤% وانكماشاً للمساحات المائية والأهوار بنسبة -٧٠.٣١% مقابل تمدد عمراني ونفطي بنسبة +٤٢٣.٥٥%.
٦. ثبت وجود ارتباط طردي وثيق بين تمدد المساحات الحضرية والنفطية ودرجة حرارة السطح بمعامل ارتباط بلغ (+٠.٨٨) ومعامل تحديد ($R^2 = ٠.٧٧٤$) لعام ٢٠٢٠.
٧. تدهورت جودة مياه شط العرب هيدروكيميائياً حيث ارتفعت الأملاح الذائبة (TDS) في محطة أبي فلوس إلى ٨٥٠٠ mg/L وانخفض دليل جودة المياه الموزون (WQI) إلى ١٨.٢.

مقترحات البحث

١. إنشاء مصدات خضراء وأحزمة بيئية شجرية كثيفة حول المراكز الحضرية والمواقع النفطية لخفض درجات حرارة الأسطح وزيادة التبريد الكامن ومقاومة موجات الحر الشديدة.
٢. إيقاف عمليات حرق الغاز المصاحب في الحقول النفطية فوراً واستبدالها بتقنيات استخلاص نظيفة لتقليل الانبعاثات الحرارية والغازية المحلية التي تولد بؤراً حرارية ملتهبة.
٣. الإسراع في تشييد سد تنظيمي هيدروليكي جنوب شط العرب لمنع تداخل اللسان المالح القادم من الخليج والحفاظ على حد أدنى من التصريف العذب المانع للتلح.
٤. إعادة إحياء وتأهيل الأهوار والمساحات المائية وتأمين حصصها المائية لتعزيز دورها كمبردات طبيعية ومصارف حرارية إقليمية تحد من وطأة الجفاف والتطرف المناخي.
٥. تحديث شبكة نقل الكهرباء للحد من خسائر الطاقة البالغة ٥٠-٦٠%، والتوسع في مشاريع الطاقة الشمسية مع دمج تقنيات حماية متقدمة من العواصف الترابية لضمان استقرار الشبكة.



قائمة المصادر والمراجع :

المراجع العربية :

١. الأسدي، زهراء مجيد عيدان. تأثير المناخ في راحة وأمراض السكان في قضاء الجبايش. رسالة ماجستير، قسم الجغرافية، كلية التربية للعلوم الإنسانية، جامعة البصرة، ٢٠٢٣.
٢. الكاطع، بدور فاضل ركاب. أثر التغير المناخي في تغيير خصائص المنخفضات المندمجة وأثرها في مناخ العراق. رسالة ماجستير، قسم الجغرافية، كلية التربية للعلوم الإنسانية، جامعة البصرة، ٢٠١٩.
٣. الشلش، علي حسين. مناخ العراق. وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، جامعة البصرة، ١٩٨٨.
٤. شواي، رغد خليل. تقدير معلمات توزيع القيم المتطرفة المعمم الموسع مع التطبيق على درجات الحرارة في العراق. رسالة ماجستير، قسم الإحصاء، كلية الإدارة والاقتصاد، جامعة البصرة، ٢٠٢٣.
٥. الفريجي، نازك كاظم جالي عزيز. "تأثير ملوحة مياه شط العرب في المساحات المزروعة في قضاء أبي الخصيب للموسم الزراعي ٢٠٢١-٢٠٢٢". مجلة دراسات البصرة، جامعة البصرة، ٢٠٢٢، ص ١٤-٣٥.
٦. وولكر، مالكولم. مناخ العراق. ترجمة علي عبد الزهرة كاظم الوائلي وآخرين، كلية التربية ابن رشد، جامعة بغداد، ٢٠٢٠.

المصادر الأجنبية :

1. Al-Fartusi, A. J. M. "The low discharge simulation of the Shatt Al-Arab River and its influence on water quality." *Mesopotamian Journal of Marine Science*, vol. 33, no. 1, 2018, pp. 1-18.
2. Al-Shammari, A. J. J. *Assessment of the Shatt Al-Arab estuary environment and Iraqi marine waters using the Estuarine Biological Integrity Index (EBI)*. Doctoral dissertation, University of Basrah, 2020.
3. Al-Shawi, A. J. *Ecological study and classification of plankton in Khor Al-Zubair with estimation of total oil hydrocarbons levels*. Doctoral dissertation, University of Basrah, 2010.
4. Al-Zleamat, N. S. A. *Assessment of physical and chemical characteristics of water quality in Iraqi marine environment*. Master's thesis, University of Basrah, 2019.
5. Fakher, N. H., I. J. M. Al-Shawi, and Z. A. Abdalnabi. "Assessment of selected physical and chemical water quality indicators in the Shatt al-Arab River and the northwest Arabian Gulf, Iraq (2024–2025)." *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, vol. 30, no. 1, 2026, pp. 1793-1809.
6. McFeeters, Stuart K. "The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features." *International Journal of Remote Sensing*, vol. 17, no. 7, 1996, pp. 1425-1432.
7. Tawfik, M. K., and A. M. Al-Lami. "Relationship between vegetation cover and land surface temperature in Basra, Iraq." *Journal of Agrometeorology*, vol. 27, no. 1, 2025, pp. 82-85.
8. Xu, Hanqiu. "Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery." *International Journal of Remote Sensing*, vol. 27, no. 14, 2006, pp. 3025-3033.