

ديناميات الجزيرة الحرارية لمدينة سوهاج استجابةً لتغير

الغطاءات الأرضية خلال الفترة (١٩٩٠ - ٢٠٢١م)

باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد
ونظم المعلومات الجغرافية

إعداد

د/ وائل هريدي زهران مهران

مدرس الجغرافيا الطبيعية

كلية الآداب - جامعة أسيوط

تاريخ الاستلام: ١/٥ / ٢٠٢٢م

تاريخ القبول: ٢٢ / ١ / ٢٠٢٢م

المستخلص:

تتناول الدراسة الحالية ديناميات الجزيرة الحرارية في مدينة سوهاج استجابة للتغيرات التي تحدث في الغطاءات الأرضية الرئيسية Land covers، ومن ثم تغير شدة الجزيرة الحرارية الحضرية السطحية، ولذلك تم تصميم هذه الدراسة لنمذجة وقياس ديناميات الجزيرة الحرارية الحضرية لمدينة سوهاج كاستجابة لتغير الغطاءات الأرضية الرئيسية خلال الفترة ١٩٩٠ - ٢٠٢١ م.

وقد اعتمدت الدراسة بشكل رئيسي على التكامل بين تقنيتي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لمعالجة وتحليل المرئيات الفضائية. ومن هنا جاءت أهمية الدراسة في الاعتماد على تقنية الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية في رصد وتحليل تغير درجة حرارة سطح الأرض وعلاقتها بديناميات الغطاءات الأرضية خلال أعوام ١٩٩٠، ٢٠٠٠، ٢٠١٠، ٢٠٢١ م وذلك باستخدام بيانات القمر الصناعي لاندسات Landsat-5 TM, Landsat-7 ETM+ and Landsat-8. وقد استخدمت الدراسة التصنيف الموجه (المراقب) Supervised Classification لرسم خرائط تغيرات الغطاء الأرضي land cover changes، كما استخدمت الدراسة النطاق الحراري Thermal Band لاشتقاق درجة حرارة سطح الأرض (LST) والجزيرة الحرارية الحضرية (UHI)، ثم تلا ذلك حساب مؤشرات استخدام الأرض، مثل مؤشر التباين النسبي للنباتات (NDVI)، ومؤشر التباين النسبي للكتلة المبنية (NDBI)، ومؤشر التباين النسبي للمياه (NDWI)، وأيضاً تم استخدام تحليل الانحدار الخطي لإبراز العلاقة والارتباط بين درجة حرارة سطح الأرض، وكل من المؤشرات السابقة الذكر.

خلصت الدراسة إلى عدد من النتائج لعل أبرزها أن مدينة سوهاج شهدت نموًا حضريًا هائلًا حيث زادت مساحة المناطق العمرانية من ٥٩,٩٪ إلى ٧١,٥٩٪ من إجمالي مساحة مدينة سوهاج خلال الفترة من ١٩٩٠ وحتى ٢٠٢١ م، بينما حدث انخفاض (تناقص) كبير في مساحة الغطاء النباتي من ٢٥,٨٪ إلى ١٤,٠٤٪ من إجمالي مساحة المدينة خلال نفس الفترة السابقة. ونتيجة لذلك حدث زيادة كبيرة في درجة حرارة سطح الأرض، فقد زادت من ٣٤,٥٦ س إلى ٣٨,٤٣ س بزيادة إجمالية بلغت ٣,٨٧ س خلال نفس الفترة السابقة، ومن ثم زيادة شدة الجزيرة الحرارية الحضرية السطحية SUHI Intensity.

الكلمات المفتاحية: درجة حرارة سطح الأرض، ديناميات الجزيرة الحرارية، الغطاءات الأرضية، التحضر، مؤشرات استخدام الأرض، مدينة سوهاج.

Abstract:

The current study deals with the dynamics of the heat island in the city of Sohag in response to the changes that occur in the main land covers, resulting in a change in the intensity of the surface urban heat island. Therefore, this study was designed to model and measure the urban heat island dynamics of Sohag city in response to the major land cover changes during the period 1990-2021.

The study relied mainly on the integration of remote sensing and geographic information systems technologies for processing and analyzing satellite visuals. Therefore, the significance of the study in relying on remote sensing technology and geographic information systems in monitoring and analyzing the change in the temperature of the Earth and its relationship to the dynamics of land cover during the years 1990, 2000, 2010, 2021, using the data of the Landsat-5 TM, Landsat-7 satellite ETM+ and Landsat-8 OLI/TIRS. The study used the Supervised Classification to map land cover changes. The study also used the Thermal Band to derive the Land Surface Temperature (LST) and the Urban Heat Islands (UHI), as well as the calculation of land use indicators, such as the Nominalized Difference Vegetation Index (NDVI), the Normalized Difference Built-up Index (NDBI), the Normalized Difference Water Index (NDWI). In addition, a linear regression analysis was used to highlight the relationship and correlation between LST, and each of the aforementioned indicators.

The study concluded a number of results, perhaps the most prominent is that the city of Sohag witnessed tremendous urban growth, as the urban areas increased from 59.9% to 71.59% of the total area of Sohag during the period from 1990 to 2021 AD, while there was a significant decrease in the area of vegetation cover from 25.8% to 14.04% of the total area of the city during the same period. As a result, there was a significant increase in the surface temperature of the Earth, which increased from 34.56° C to 38.43° C, with a total increase of 3.87° C during the same period, and then the intensity of the urban surface heat island increased.

Key words: Land Surface Temperature (LST), Heat Island dynamics, land covers, urbanization, land use indicators, Sohag city.

١- مقدمة الدراسة:

تُعد مدينة سوهاج واحدة من أعلى الكثافات العمرانية في محافظة سوهاج حيث شهدت مدينة سوهاج خلال السنوات الأخيرة تغيرات جغرافية ملحوظة في الغطاءات الأرضية الرئيسية Land Covers كاستجابة للنمو السكاني والهجرة من المناطق الريفية إلى المناطق الحضرية الذي أضحى أحد أهم الظواهر الرئيسية منذ بداية القرن الحادي والعشرين.

يُعد التحضر أحد أهم العناصر الأساسية وراء النمط المتغير للمناخ في جميع أنحاء العالم (Bazrkar et al., 2015)، (Miller & Hutchins, 2017). فخلال العقود الأخيرة حدثت تغيرات في استخدام الأرض والغطاء الأرضي، وكذلك حدث ضعف في الغطاء الأرضي الطبيعي مما أدى إلى تغيير مناخ المناطق الحضرية بشكل كبير (Daneshvar et al., 2019)، (Montazeri & Masoodian, 2020). ويعزي التغيير السريع في استخدام الأرض والغطاء الأرضي (LU/LC) إلى النمو المستمر لسكان المناطق الحضرية (Bharath et al., 2018). حيث يتزايد عدد سكان المناطق الحضرية بمعدل سريع خاصة في البلدان النامية وذلك بسبب الهجرة المستمرة من الريف بحثاً عن فرص عمل أفضل (Dutta et al., 2021)، (Naikoo et al., 2020). فقد كان حوالي ٣٠٪ من سكان العالم يقيمون في المناطق الحضرية في عام ١٩٥٠م وارتفعت هذه النسبة إلى ٥٥٪ في عام ٢٠١٨م ثم بحلول عام ٢٠٥٠م من المتوقع أن تصل إلى ٦٨٪ (United Nations, 2018). وقد أدت الزيادة المستمرة في عدد سكان المدن إلى تحويل أسطح الغطاءات الأرضية الطبيعية إلى أنواع من استخدامات الأرض/ الغطاءات الأرضية بشرية المنشأ Anthropogenic LU/LC وذلك بهدف التوسع في المناطق الصناعية والتجارية والسكنية (Sharifi, A., & Hosseingholizadeh, M., 2019).

تنشأ الجزيرة الحرارية للمدينة وتتطور زمنيًا ومكانيًا نتيجة لتظافر مجموعة من العوامل المرتبطة بالمدينة وغلانها الجوي. وقد اهتمت دراسات عدة بتناول هذه

العوامل، وذلك بهدف وضع إطار تفسيري يُنظر لنشأة هذه الظاهرة. وقد أضحي ذلك أحد المباحث الرئيسية في دراسات المناخ الحضري، والذي تمخضت أدبياته عن إبراز العديد من العوامل التي تساهم في ظهور المدن كجزر حرارية حضرية. ومع تنوع هذه العوامل وتباينها، إلا أن منها من شغل مركزا مهماً في تفسير الجزيرة الحرارية في كثير من المدن، ويأتي على رأس هذه العوامل المتغيرات المرتبطة بالتغيرات التي تحدث في الغطاء الأرضي، فقد أشارت دراسة (Jiang, J., & Tian, G., 2010)، إلى أن التغيرات التي تحدث في استخدام الأرض/ الغطاء الأرضي Land use and Land Cover، تؤدي إلى نشأة الجزيرة الحرارية الحضرية، وقد تناولت بعض الدراسات تأثير تغير استخدامات الأرض/ الغطاءات الأرضية علي درجة حرارة سطح الأرض LST (Chen, X. L., (Chen, X. L., 2006)، (Carlson, T. N., & Arthur, S. T., 2000) (2010)، حيث إنها ترتبط ارتباطاً طردياً مع نسبة الأسطح غير المنفذة Impervious Surface. ودائماً ما يكون هناك اختلافات كبيرة بين الأسطح غير المنفذة الإصطناعية والأسطح الطبيعية المنفذة في درجة حرارة سطح الأرض LST وذلك بسبب اختلاف خصائصهم الحرارية (Morabito, M., et al., 2018)، لذا تكون دائماً درجة حرارة سطح الأرض LST في المناطق الحضرية أعلى من المناطق الريفية المحيطة بها لأن كثافة الأسطح المبنية density of built-up تكون أعلى في المدن، ويطلق علي هذا الاختلاف بين درجة الحرارة في المناطق الحضرية والريفية مصطلح الجزر الحرارية الحضرية (UHI).

وركزت دراسات أخرى (Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J., 2004)، على دراسة العلاقة بين درجة حرارة سطح الأرض، ووفرة الغطاء النباتي Vegetation Abundance، من خلال استخدام بعض المؤشرات النباتية مثل مؤشر التباين النباتي النسبي NDVI، كمؤشر للتعبير عن مدي وفرة الغطاء النباتي، حيث كشفت نتائج هذه الدراسات السابقة عن وجود ارتباط سلبي ما بين درجة حرارة سطح الأرض والمؤشرات النباتية السابقة، نتيجة لتأثير التبريد الذي تحدثه المناطق الخضراء.

ديناميات الجزيرة الحرارية لمدينة سوهاج استجابة لتغير الغطاءات الأرضية خلال الفترة (١٩٩٠ - ٢٠٢١ م) باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية

يُعد رصد التغيرات التي حدثت في أنماط (فئات) الغطاءات الأرضية وتأثير ذلك على درجة حرارة سطح الأرض وشدة الجزيرة الحرارية الحضرية السطحية UHI في مدينة سوهاج الهدف الرئيس لهذه الدراسة، وكذا معرفة حجم ومقدار التغير الذي حدث في أنماط الغطاءات الأرضية الرئيسية خلال فترة الدراسة وتأثير ذلك على التغير في درجة حرارة سطح الأرض؛ وذلك من أجل الوقوف على الوضع الراهن والوصول إلى حقائق علمية بأسلوب يعتمد على التقنيات الحديثة في رصد وكشف التغيرات باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية خلال سنوات (١٩٩٠، ٢٠٠٠، ٢٠١٠، ٢٠٢١ م).

وتجدر الإشارة إلى أنه في العقدين الماضيين، تم إجراء العديد من الدراسات لتقييم التغيرات الناجمة عن التحضر في نمط المناخ في بلدان مختلفة، على سبيل المثال قام (Chapman, S., et al., 2017) بإجراء مسح شامل حول التحضر وتغير المناخ ولاحظ أن درجة حرارة شمال شرق الولايات المتحدة قد ارتفعت بنحو ٥° س. وقام (Veena, K., et al., 2020) بتحليل ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية في المدن الهندية وأشار إلى أن المدن الهندية شهدت ارتفاعاً في درجة الحرارة بنحو ٢ - ٦° س، وبالمثل قام (Zhou et al., 2004) بإجراء دراسة شاملة عن أدلة التغيرات المناخية بسبب التحضر في الصين وأشار إلى أن درجة الحرارة في الصين تشهد زيادة عشرية قدرها ٥,٥° س.

علاوة على ذلك، تم إجراء دراسات أيضاً باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد لدراسة تأثير التحضر على درجة حرارة سطح الأرض (LST) والجزيرة الحرارية الحضرية UHI في أجزاء مختلفة من العالم (Amiri, R., et al., 2009)، (Rahaman,)، (S., et al., 2021)، (Sherafati et al., 2018). وقام (Zhao et al., 2020) بدراسة التباين المكاني في درجة حرارة سطح الأرض بين الأجزاء المركزية ومناطق التوسع في المدن الصينية ووجد فارق في درجة حرارة سطح الأرض يصل إلى ٤° س بين الأجزاء المركزية ومناطق التوسع الحضري.

١.١ منطقة الدراسة:

تقع مدينة سوهاج علي الضفة الغربية والشرقية لنهر النيل عند تقاطع دائرة عرض ٢٦°٣٣ شمالاً مع خط طول ٤٢°٣١ شرقاً. ومدينة سوهاج هي عاصمة لمحافظة سوهاج كما في شكل (١)، تقع في منتصف الجزء الغربي المأهول من محافظة سوهاج تحيط بها بعض القرى التابعة وتقع شرقها مدينة أخميم الأثرية الشهيرة وتنقسم المدينة إلى جزئين أساسيين يفصل بينهما نهر النيل، الجزء الأول: ويقع شرق النيل وتوجد به أهم الاستعمالات بالمدينة مثل مبني ديوان المحافظة ومجلس المدينة ومبني حي شرق كما توجد به جامعة سوهاج، أما الجزء الثاني، ويقع غرب النيل وبه قلب المدينة القديم ومحطة السكة الحديد ومعظمه سكني.

وتعد مدينة سوهاج واحدة من المراكز الحضرية الرئيسية، فقد بلغ إجمالي عدد سكانها نحو ٢٣٩,٩٨٨ ألف نسمة (الجهاز المركزي للتعبئة العامة والأحصاء، ٢٠١٧م)، ويبلغ إجمالي مساحة مدينة سوهاج نحو ١٠,٤٧ كم^٢. وهي تنقسم إلى قسم أول (حي غرب) الذي يتخذ من غرب النيل موضعاً له ويضم خمس شياخات هم، إبراهيم فراج، الخولي، الشريف، صالح، مازن، ويبلغ حجم سكانه ١٣١,٢٦٧ ألف نسمة عام ٢٠١٧م. وقسم ثان (حي شرق): ويضم شياختي الكبش وناصر، ويقع شرق النيل ويبلغ حجم سكانه نحو ١٠٨,٧٢١ ألف نسمة.

مناخياً، يسود المدينة الظروف الجوية لإقليم الصحاري الحارة Hot Desert ويرمز له طبقاً لتصنيف كوبن بالرمز BWh (Kottek, M, et al., 2006)، حيث يبلغ المعدل السنوي لدرجة الحرارة اليومية في محطة سوهاج للرصد الجوي ٢٣,٩°س، وتتراوح ما بين ١٦,٨°س في المعدل السنوي لدرجة الحرارة الصغرى، وبين ٣١,٨°س في المعدل السنوي لدرجة الحرارة العظمى. وتأتي هذه المعدلات الحرارية المرتفعة استجابة لزيادة عدد ساعات السطوح الشمسي، وزيادة معدلات الإشعاع الشمسي الكلي. كما يتسم مناخ المدينة بالجفاف، حيث يقل معدل الرطوبة النسبية إلى ٤٥,٣٪، وترتفع معدلات التبخر نتح إلى ٥,٧ ملم/عام (EMA., 2011).

٢.١ إشكالية الدراسة:

تجدر الإشارة إلى أن التحضر أدى إلى حدوث تغيرات في استخدام الأرض والغطاء الأرضي (LU/LC) والتي تتضمن تحويل الأسطح النباتية المنفذة والأسطح الطبيعية الأخرى إلى أسطح مبنية غير منفذة Impervious built-up surfaces (Kalnay, E., & Cai, M., 2003)، (Rahman et al., 2012). ومن أهم النتائج لذلك حدوث تغير للنظام المناخي الحضري Urban Climatic System وخاصة ارتفاع درجة حرارة سطح الأرض والهواء. ومن ثم حدوث تغيرات في الديناميكا الحرارية Modifies the thermodynamics لأسطح المناطق الحضرية وبالتالي تتراكم الحرارة لفترات أطول على سطح الأرض (Pal, S., & Ziaul, S. K., 2017) (Pramanik, S., & Punia, M.,) (2020). ونتيجة لذلك تزداد درجة حرارة سطح الأرض في المناطق الحضرية مما يؤدي إلى ظهور أو نشأة الجزيرة الحرارية الحضرية (UHI).

٣.١ أهمية الدراسة:

تتبع أهمية الدراسة من موضوع البحث، ومحاولة الربط بين التغيرات التي تحدث في الغطاءات الأرضية الرئيسية، وأثرها على تغير درجة حرارة سطح الأرض وشدة الجزيرة الحرارية الحضرية السطحية SUHII في مدينة سوهاج.

كما تستمد أهمية الدراسة من حداثة أدواتها حيث تم الاعتماد على التقنيات الحديثة في اشتقاق البيانات الخاصة بالغطاءات الأرضية والجزيرة الحرارية، حيث أضحى من السهل إنتاج خريطة دقيقة لدرجة حرارة سطح الأرض Land Surface Temperature عن طريق مرئيات الأقمار الصناعية؛ وذلك لسهولة الحصول عليها من ناحية، واتصال السلسلة الزمنية للقياس خلال مهمة الأقمار الصناعية. ومن ناحية أخرى فإن التوزيع غير المنظم لمحطات الأرصاد الجوية، والتعقيد الذي ينطوي على اختيار نواة المدينة الحضرية (المرجعية الحرارية لتقدير شدة الجزيرة وحجمها)؛ أدى إلى التباين في القيم المرصودة سواء في محطات الرصد أو الرصد الميداني، على أن تتم المقارنة بدرجات حرارة ضواحي المدينة على مختلف عتبات درجة الحرارة، وهذا ما يتم

ديناميات الجزيرة الحرارية لمدينة سوهاج استجابة لتغير الغطاءات الأرضية خلال الفترة (١٩٩٠ - ٢٠٢١ م) باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية

في دراسة الجزر الحرارية السطحية للمناطق الحضرية، ولذلك يعتمد البحث الحالي في دراسة ديناميات الجزيرة الحرارية على وصف درجة الحرارة وتطورها باستخدام مفهوم الجزيرة الحرارية الحضرية السطحية SUHI.

هذا ويكتسب هذا البحث أهميته من خلال دراسته لواحدة من أهم الظواهر المناخية في الوقت الحالي، إذ تحظى ظاهرة الجزيرة الحرارية الحضرية بعدد وافر من المشروعات والأبحاث العلمية على مستوى المدن الكبرى في العالم، كما أن لدراسة هذه الظاهرة في مصر مردود تطبيقي وأثر نفعي كبير في مجالات المناخ والبيئة والتخطيط والتنمية المستدامة، إذ يساعد فهم ديناميات الجزر الحرارية الحضرية على إتخاذ التدابير اللازمة نحو ترشيد استخدام الطاقة واستخدام أمثل للأرض.

٤.١ أهداف الدراسة:

- تهدف الدراسة الحالية إلى رصد وتحليل التغير في الغطاء الأرضي في مدينة سوهاج، وتحليل تأثير دينامياتها على درجة حرارة سطح الأرض والجزيرة الحرارية وشدها خلال الفترة من (١٩٩٠ - ٢٠٢١ م).
- دراسة الخصائص الحرارية للغطاءات الأرضية Thermal characteristics of Land Cover حيث تعد أحد الاتجاهات البحثية الحديثة في المناخ التطبيقي.
- إيضاح أهمية الاستشعار عن بعد في رصد ديناميات الجزيرة الحرارية وتقديم أساس علمي ومنهج لدراسة الجزر الحرارية.
- تقدير العلاقة والارتباط بين درجة حرارة سطح الأرض LST وبعض مؤشرات الغطاءات الأرضية مثل NDVI، NDWI، NDBI.

٥.١ فرضيات الدراسة:

تقوم الدراسة الحالية على اختبار فرضية أساسية أكدتها الدراسات الأجنبية، وهي أن تغير (ديناميات) درجة حرارة سطح الأرض مؤشر هام على تغير الغطاءات الأرضية، ومن ثم نشأة الجزيرة الحرارية الحضرية السطحية، ومن ثم فهو يفسر بعض ملامح التباين المكاني والزمني للجزيرة الحرارية، ويساهم في فهم آليات تكونها بشكل

تفصيلي، وبالتالي وضع حلولاً لمواجهة هذه المشكلة والتقليل من آثارها السلبية. وفي ضوء ذلك تتناول الدراسة ديناميات الجزيرة الحرارية السطحية وعلاقتها بتغير الغطاءات الأرضية في مدينة سوهاج خلال الفترة من ١٩٩٠ - ٢٠٢١م. وكذا تفترض الدراسة أن زيادة مساحة العمران وتقلص المسطحات الخضراء لهما دور في تغير المناخ داخل المدينة.

٦.١ الدراسات السابقة:

يفيد عرض الدراسات السابقة بشكل عام في توجيه الباحث إلى نقاط مهمة تتعلق بالبحث العلمي ومنها: اختيار الأدوات والمعاملات والصيغ الرياضية البحثية المناسبة لموضوع الدراسة، واعتماد منهج جغرافي خاص يتناسب مع الموضوع، وكذا يفيد عرض الدراسات السابقة في التعرف على ما توصلت إليه الدراسات السابقة. وسوف نستعرض بعضاً من هذه الدراسات التي تم الاستفاده منها مع الإشارة إلى أبرز ملامحها، وهي كالتالي:

- دراسة (وليد عباس عبد الراضي، ٢٠١٣م): بعنوان "الحرارة في مجمع القاهرة الحضري" وهي رسالة دكتوراه، تناولت في إحدى طياتها الأدوات والأساليب المستخدمة في دراسة الجزيرة الحرارية الحضرية كتقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية، وكذا ناقشت عوامل نشأة الجزر الحرارية الحضرية مثل استخدامات الأرض/الغطاءات الأرضية الرئيسية.

- دراسة (حسام محمد إسماعيل، ٢٠١٧م): تناولت تطور الجزر الحرارية السطحية في مدينة حلوان خلال الفترة من ٢٠٠٠ - ٢٠١٦م. واعتمدت الدراسة على استخدام مرئيات MODIS في قياس شدة الجزيرة الحرارية السطحية وتركيبها الحراري، وبيان العوامل المؤثرة في الجزر الحرارية السطحية على مدينة حلوان. وقد أشارت نتائج البحث إلى عدم وجود نمط فصلي واضح لتطور شدة الجزر الحرارية السطحية وتباينها في عمران مدينة حلوان بالنسبة للمناطق المجاورة.

ديناميات الجزيرة الحرارية لمدينة سوهاج استجابة لتغير الغطاءات الأرضية خلال الفترة (١٩٩٠ - ٢٠٢١ م) باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية

- دراسة (وائل زهران، ٢٠١٨م): وتناولت الجزيرة الحرارية وبعض آثارها البيئية في مدينة أسيوط، إذ عالجت الدراسة في إحدى طياتها الأدوات والأساليب المستخدمة في معالجة وتحليل المرئيات الفضائية واشتقاق درجة حرارة سطح الأرض، وأيضاً ناقشت الجزيرة الحرارية وشدتها بالنسبة للمناطق المتاخمة للمدينة، والعوامل التي أثرت في نشأتها مثل التباين المكاني لاستخدامات الأرض كالغطاء النباتي والأسطح غير المنفذة ونهر النيل.
- دراسة (Effat, H. A., & Hassan, O. A. K., 2014): حول كشف ورصد التغير في الجزر الحرارية الحضرية وعلاقتها ببعض المتغيرات باستخدام صور اللاندسات، دراسة حالة لمدينة القاهرة. واعتمدت هذه الدراسة على خمس فترات زمنية لكشف ورصد التغيرات لأعوام، (١٩٨٤، ١٩٩٠، ٢٠٠١، ٢٠٠٦، ٢٠١٣م)، وأبرزت الدراسة أن مدينة القاهرة شهدت نموًا حضريًا كبيرًا، حيث زادت مساحة المنطقة العمرانية وانخفضت مساحة الغطاء النباتي.
- دراسة (Abutaleb, K., et al., 2015): هدفت إلى تقييم الجزيرة الحرارية الحضرية فوق مدينة القاهرة باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد من مرئيتين فضائيتين أعوام ٢٠٠٢م، ٢٠١٢م وهي من نوع Landsat ETM+، وقد خلصت الدراسة إلى أن هناك زيادة في درجات الحرارة خلال فترة الدراسة تراوحت ما بين ٠,٥ - ٣,٥ °س.
- ودرس (Abou El-Magd, I., Ismail, A., & Zanaty, N., 2016): التباين المكاني للجزر الحرارية الحضرية فوق مدينة القاهرة باستخدام السلاسل الزمنية المنتجة من مرئيات الأقمار الصناعية باستخدام مرئيات من نوع Landsat-5 TM, Landsat 7 ETM+ and Landsat-8 OLI/TIRS خلال الفترة من ١٩٩٠ - ٢٠٠٤م، وقد تم تحليل العلاقة بين الجزر الحرارية ومؤشر التباين النسبي للنباتات NDVI، ومؤشر التباين النسبي للمياه NDWI، وتبين أن العلاقة بين درجة حرارة سطح الأرض LST وكلا من مؤشري NDVI، NDWI كانت سلبية بارتباط بلغ ٠,٥٧، ٠,٨ على التوالي، وكان الارتباط إيجابياً بنحو ٠,٨١ مع مؤشر التباين النسبي للكثلة المبنية.

- دراسة (Doomi, M. B., et al., 2016): وجاءت بعنوان تأثيرات التغيرات في الغطاء الأرضي على درجة حرارة سطح الأرض في مدينة عمان، وهدفت إلى دراسة أثر التغير في أنماط الغطاء الأرضي على درجة حرارة سطح الأرض. وقد استخدمت الدراسة تقنيات الاستشعار من بعد لتفسير وتوضيح طبيعة هذه العلاقة، وتبين وجود زيادة في درجة حرارة سطح الأرض خلال الفترة من ١٩٨٧ - ٢٠١٤م. وانتهت الدراسة إلى وجود علاقة قوية بين التغير في أنماط الغطاءات الأرضية ودرجة حرارة سطح الأرض.

- دراسة (Hassan, T., et al., 2021): هدفت إلى الكشف عن ديناميات الجزر الحرارية الحضرية السطحية كاستجابة ل استخدام الأرض/ الغطاء الأرضي والغطاء النباتي جنوب آسيا خلال الفترة من ٢٠٠٠ - ٢٠١٩م، وتبين من الدراسة تناقص الغطاء النباتي Vegetation Cover في جميع المدن المدروسة مع زيادة المناطق الحضرية خلال العشرين عامًا، ووجدت الدراسة ارتباطاً سلبياً قوياً بين درجة حرارة سطح الأرض ومؤشر التباين النسبي للنباتات.

- وتناول (Rihan, M., et al., 2021): ديناميات الجزيرة الحرارية الحضرية كاستجابة لتغير استخدام الأرض/الغطاء الأرضي LU/LC في مدينة مومباي الساحلية بالهند خلال الفترة ١٩٩١ - ٢٠١٨م. وكشفت نتائج الدراسة عن حدوث انخفاض كبير في مساحة الغطاء النباتي من ٢١٥,٨ إلى ١٢٩,٢٧ كم^٢، بينما تضاعفت المناطق المبنية من ١٧٣,٠٩ إلى ٣٤٦,٠٢ كم^٢ في المدينة خلال الفترة ما بين ١٩٩١ - ٢٠١٨م، ونتيجة لذلك لوحظ حدوث زيادة كبيرة في درجة حرارة سطح الأرض. وكذا كشف تحليل الانحدار أن هناك ارتباطاً بين الجزيرة الحرارية الحضرية UHI وبعض مؤشرات استخدام الأرض، فقد زاد مؤشر نسبة المناطق المبنية NDBI في المدينة، بينما حدث انخفاض في مؤشر التباين النباتي النسبي NDVI، ومؤشر المناطق الفضاء (المكشوفة) NDBAI.

- دراسة (Rahman, M., et al., 2022): تأثير التحضر على شدة الجزيرة الحرارية الحضرية في المناطق الرئيسية في بنجلاديش Bangladesh باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد والأدوات الجغرافية المكانية، واعتمدت الدراسة على تحليل المرئيات الفضائية خلال فصل الشتاء ولثلاث فترات زمنية بفاصل عقد من الزمن، منهم مرئيتين للقمر الصناعي Landsat-5 TM بتاريخ ٢٠٠٠، ٢٠١٠م، وأخرى للقمر الصناعي Landsat-8 OLI/TIRS بتاريخ ٢٠٢٠م.

٢- البيانات وأساليب الدراسة:

١.٢ مصادر البيانات الرقمية:

تُعد الجزيرة الحرارية الحضرية السطحية (SUHI) هي الطريقة الأكثر شيوعاً واستخداماً لدراسة البيئة الحرارية الحضرية Urban Thermal Environment وذلك بسبب توفر مجموعة متنوعة من بيانات الاستشعار عن بعد الحراري Thermal remote sensing (Voogt, J. A., & Oke, T. R., 2003). علاوة على ذلك، فإن الدراسات الخاصة بالجزر الحرارية الحضرية (UHI) والتي تقوم على استخدام درجة حرارة الأرصاد الجوية لها قيود معينة بسبب التوزيع غير المتكافئ لمحطات الأرصاد الجوية (Dinku, T., 2019). وفي الوقت نفسه، فإن الدراسات المعتمدة على الأقمار الصناعية أتاحت الفرصة لدراسة نمط الجزر الحرارية الحضرية (UHI) بمقاييس مكانية وزمانية أعلى نسبياً (Kumari, M., et al., 2019). علاوة على ذلك، تتوفر بيانات القمر الصناعي بسهولة ويمكن استخدامها في تقدير الارتباط الزمني المكاني Spatiotemporal بين النمو الحضري ونمط الجزر الحرارية الحضرية (et al., 2014). لذلك تستخدم بيانات الأقمار الصناعية لنمذجة وقياس التوسع الحضري وتأثيراته على الجزر الحرارية الحضرية باستخدام أساليب وتقنيات مختلفة (Dutta, D., et al., 2019).

هذا، وتُعد مرئيات الاستشعار من بعد المصدر الرئيس لاستخلاص درجة حرارة سطح الأرض ولذا فإن دراسة الجزر الحرارية السطحية في المناطق الحضرية (المدن) تعتمد اعتماداً كلياً على البيانات المشتقة من نطاقات الأشعة تحت الحمراء Thermal Infrared، ولم يبدأ التقدم الحقيقي في دراسة الجزر الحرارية الحضرية السطحية إلا مصاحباً للتطور الكبير في تقنيات الاستشعار من بعد.

وتجدر الإشارة إلى أن توفر بيانات الأقمار الصناعية في غاية الأهمية والفائدة، إذ تتميز تلك البيانات بثبات تواريخ الرصد Times of satellite platform، بالإضافة إلى تغطية مكانية أكبر، ودورية تسجيل البيانات، كما أن درجة الحرارة المقاسة لا تعكس درجة حرارة الهواء بشكل مباشر وإنما درجة حرارة سطح الأرض وهو مؤشر مهم للغاية في دراسة الجزر الحرارية بشكل عام (حسام اسماعيل، ٢٠١٧، ص ٢٢).

وقد اعتمدت الدراسة بشكل رئيسي على تحليل المرئيات الفضائية كمصدر للبيانات؛ وذلك من أجل دراسة دينامية درجة حرارة سطح الأرض وعلاقتها بالتغير في الغطاءات الأرضية الرئيسية في مدينة سوهاج، وقد تمت عمليات الإدخال والمعالجة والإخراج باستخدام برنامج الاستشعار عن بعد ERDAS IMAGINE 2014، وبرنامج نظم المعلومات الجغرافية Arc GIS 10.5. وقد تم استخدام مرئيات الأقمار الصناعية لاندسات من نوع Landsat-5 TM, Landsat- 7 ETM₊ and Landsat- 8 OLI/TIRS والتي تم الحصول عليها من موقع هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS)، بهدف اشتقاق خرائط درجة حرارة سطح الأرض ورصد أنماط الغطاءات الأرضية LC وديناميتها (التغيرات التي طرأت عليها)؛ لإعداد مؤشرات استخدام الأرض وكذلك شدة الجزيرة الحرارية الحضرية. ويوضح الجدول (١) بيان بهذه المرئيات الفضائية وخصائصها والهدف من استخدامها في الدراسة.

ديناميات الجزيرة الحرارية لمدينة سوهاج استجابة لتغير الغطاءات الأرضية خلال الفترة (١٩٩٠ - ٢٠٢١ م) باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية

جدول (١) خصائص المرئيات الفضائية المستخدمة في الدراسة

S. No	Data used	Date of acquisition	PATH	ROW	Spatial Resolution (m)	Time
1	Landsat- 5 (TM)	July 28, 1990	175	042	120 m	09:39 AM
2	Landsat- 7 (ETM+)	July 31, 2000	175	042	60 m	10:10 AM
3	Landsat- 5 (TM)	August 4, 2010	175	042	120 m	10:09 AM
4	Landsat 8 (OLI/TIRS)	August 2, 2021	175	042	100 m	10:19 AM

المصدر: هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية [/https://earthexplorer.usgs.gov](https://earthexplorer.usgs.gov)

وتم تجهيز البيانات الأولية والثانوية في الدراسة من أجل الكشف بكفاءة عن كيفية تأثر درجة حرارة سطح الأرض بالتغيير في الغطاء الأرضي. وقدمت هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية (USGS) البيانات الأولية لأربع صور لاندسات، الأولي Landsat- 5 (TM) مؤرخه في ٢٨ يوليو ١٩٩٠م، والثانية Landsat- 7 (ETM+) مؤرخه في ٣١ يولييه ٢٠٠٠م، والصورة الثالثة من نوع لاندسات Landsat-5 (TM) مؤرخه في ٤ أغسطس ٢٠١٠م. والمرئية الرابعة Landsat 8 (OLI/TIRS) بتاريخ ٢ أغسطس ٢٠٢١م، وتم استخدام جميع النطاقات في هذه الدراسة، ولا سيما النطاقات الحرارية التي تحظى بثقة كبيرة في تحديد درجة حرارة سطح LST.

٢-٢ أساليب وأدوات الدراسة:

تُعد نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، ركنين أساسيين من أركان التكنولوجيا الجغرافية المكانية التي تمثل بدورها البنى التحتية للجغرافية المعاصرة، كما تعد النمذجة الخرائطية ميدانا متقدما في البحث الجغرافي الذي يشمل عمليات التحليل والتركييب الرياضى على سطح الخريطة، ومن ثم إنتاج خرائط مكانية يعتمد عليها في فهم الظاهرة المدروسة.

هذا، وقد تم الاعتماد على البيانات المأخوذة من مرئيات القمر الصناعي Landsat فبرغم أن مرئيات هذا القمر والمأخوذة عن المستشعر TM₊/TM /OLI ذات دقة مكانية Spatial Resolution مقدارها ٣٠ مترًا باستثناء القناة الطيفية السادسة التي مقدار دقتها المكانية ٦٠ مترًا في لاندسات TM₊ /ETM₊، والنطاق العاشر والحادي عشر في لاندسات OLI/TIRS ذو دقة مكانية ١٠٠ متر، وهي ليست الأفضل مقارنة بالمرئيات الفضائية التي تنتجها منصات أخرى مجانية ك Sentinel ذات الدقة المكانية ١٠ متر في بعض النطاقات Bands، و ٢٠ مترًا في نطاقات أخرى، ولكن الأخيرة في ذات الوقت لا تمتلك أرشيفا تاريخيا يتناسب مع موضوع الدراسة على الرغم من تفوقها من ناحية الدقة الطيفية Spectral Resolution أيضًا، إذ يعود إطلاق أول قمر صناعي لمنصة Sentinel سنة ٢٠١٤م.

كما أخذ في الاعتبار أن تكون المرئيات الفضائية المختارة خالية قدر الإمكان من السحب والغيوم، وبذلك تم تحديد نسبة الغيوم من المرئيات الفضائية المحملة بقيمة لا تتجاوز الـ ١٠% من مجمل مساحة مشهد المرئية على ألا تكون - قدر الإمكان - واقعة داخل حدود منطقة الدراسة؛ وذلك لكون الغيوم الكثيفة تحجب جزءاً من سطح الأرض وتؤثر على دقة النتائج.

بدأ العمل بإعداد المرئيات الفضائية وتجهيزها وإجراء المعالجات الأولية عليها Preprocessing، حيث تم تحميل المرئيات الفضائية، وتجميعها Layer Stacking، وقطع منطقة الدراسة Subset، وتوحيد الإسقاط ونظام الإحداثيات وفقاً للنظام UTM_ Zone 36 N WGS 1984، كما تم إجراء عمليات التسحين الراديومتري والمكاني لزيادة درجة وضوح المرئيات الفضائية وزيادة الدقة المكانية للصورة Resolution Merge إلى ١٥ مترًا.

وقد استخدمت في هذه الدراسة عمليات مختلفة لتحليل صور لاندسات منها: تصنيف المرئيات الفضائية، اشتقاق مؤشرات استخدام الأرض، NDWI، NDBI،

ديناميات الجزيرة الحرارية لمدينة سوهاج استجابة لتغير الغطاءات الأرضية خلال الفترة (١٩٩٠ - ٢٠٢١ م) باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية

NDVI وأيضا تم استخلاص درجة حرارة سطح الأرض، وحساب شدة الجزيرة الحرارية السطحية، ثم تبع ذلك إدخال جميع الملفات في ArcGIS لحساب جداول البيانات ومعالجتها. ويمكن تحديد أهم أساليب وأدوات معالجة المرئيات الفضائية والتحليلات المكانية والزمانية المستخدمة في الدراسة فيما يلي:

١-٢-٢ تصنيف الغطاءات الأرضية الرئيسية.

يعتبر تصنيف الغطاءات الأرضية الرئيسية لصور لاندسات أحد أهم التطبيقات المطورة من أقمار رصد الأرض، وقد تم استخدام العديد من التقنيات والأساليب لتصنيف LU/LC باستخدام بيانات Landsat منذ أوائل السبعينيات (Phiri, D., & Morgenroth, J., 2017)، وتوفر فترة الأرشفة الطويلة لصور لاندسات للباحثين فرصة لاكتساب نظرة ثاقبة للاتجاهات السابقة التي تعتبر مهمة عند مراقبة تغيرات الغطاء الأرضي.

تعتبر خريطة الغطاءات الأرضية الرئيسية من المتطلبات الرئيسية في هذه الدراسة، وذلك لاستخدامها في دراسة أثر هذه الغطاءات ودينامياتها على درجة حرارة سطح الأرض. وقد تم حصر الغطاءات الأرضية في مدينة سوهاج والتي لها تأثير رئيس على درجة حرارة سطح الأرض في أربع غطاءات رئيسة هي المنطقة المبنية Built-up Area، الغطاء النباتي Vegetation Cover، المسطحات المائية Water Bodies، الأرض الفضاء والبور، وكذا تم استخدام عملية التصنيف الموجه أو المراقب Supervised Classification في تحديد الغطاءات الأرضية، وذلك بعد جمع عينات التدريب والتحقق منها، فضلا عن اختيار طريقة الاحتمالية العظمى Maximum Likelihood في عملية التصنيف، لكونها من أشهر طرق التصنيف المعمول بها في الاستشعار من بعد وأكثرها دقة.

حساب مؤشرات استخدام الأرض:

يتسم أسلوب المؤشرات بالدقة والمعالجة الكمية في استخلاص الأسطح الأرضية بدرجة أفضل من التصنيف التقليدي. وهناك ثلاثة مؤشرات رئيسية لاستخلاص الغطاءات الأرضية الرئيسية تم حسابها لتقييم الارتباط بين تغير الغطاءات الأرضية وديناميات الجزيرة الحرارية الحضرية UHI في مدينة سوهاج، وهذه المؤشرات هي مؤشر التباين النسبي للنباتات NDVI، ومؤشر التباين النسبي للكتلة المبنية NDBI، ومؤشر التباين النسبي للمياه NDWI، ومن بين جميع مؤشرات استخدام الأرض يعد مؤشر التباين النسبي للنباتات NDVI أحد أكثر المؤشرات شيوعاً واستخداماً لإظهار كثافة الغطاء النباتي (Kant, Y., et al., 2009). وهذه المؤشرات هي كالآتي:

- مؤشر التباين النباتي النسبي (NDVI):

تمثل النباتات أحد أهم الظواهر المهمة للتنمية الحضرية في جميع أنحاء العالم، وبالتالي تعد مقياساً على نوعية البيئة في كل من الدول النامية والمتقدمة، وتساعد على خفض درجة الحرارة في المدن وبناءً عليه زيادة إحساس السكان بالراحة الفسيولوجية.

يُعد مؤشر التباين النباتي النسبي Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) من المؤشرات الطيفية الأكثر استخداماً في مجال تحليل صور الأقمار الصناعية ودراسة الغطاء النباتي، والحرائق والتصحر... وغيرها من الظواهر الطبيعية، حيث يعد أحد مؤشرات الغطاء النباتي الأكثر استخداماً على نطاق واسع، وقد تم تطويره من لدن Rouse عام ١٩٧٣م (Szabó, S., et al., 2016)، ومن ثم تم حساب المؤشر باستخدام نطاقات الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) والحمراء (R)، وقد تم حساب مؤشر التباين النباتي النسبي NDVI بالاعتماد على برنامج Arc GIS 10.5 من خلال تطبيق المعادلة على Raster Calculator ضمن أدوات Arc Tool Box.

ديناميات الجزيرة الحرارية لمدينة سوهاج استجابة لتغير الغطاءات الأرضية خلال الفترة (١٩٩٠ - ٢٠٢١ م) باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية

وينطلق المؤشر من حقيقة مفادها أن النباتات تظهر انعكاسا عاليا في الطول الموجي للأشعة تحت الحمراء القريبة بين ٠,٧ - ١,٣ ميكرومتر، وامتصاص عالى في الطول الموجي للأشعة الحمراء بين ٠,٦ - ٠,٧ ميكرومتر، لذلك يتم تقدير هذا المؤشر وفقاً للصيغة الرياضية الآتية:

$$NDVI = (NIR-RED)/(NIR+RED)$$

حيث إن:

The near-infrared band = NIR = انعكاسات الأشعة تحت الحمراء القريبة

The red band = RED = انعكاسات الأشعة الحمراء

وفي ضوء اختلاف الأطوال الموجية للنطاقات Bands بين المستشعر TM، ETM+، OLI/TIRS، فيمكن تنفيذ المعادلة على المستشعرات المختلفة وذلك على النحو الآتي: (Avdan, U., & Jovanovska, G., 2016) (Rahman, M., et al., 2022).

$$\text{Landsat-5 (TM)} \quad NDVI = (Band 4 - Band 3)/(Band 4 + Band 3)$$

$$\text{Landsat-7 (ETM+)} \quad NDVI = (Band 4 - Band 3)/(Band 4 + Band 3)$$

$$\text{Landsat- 8 (OLI)} \quad NDVI = (Band 5 - Band 4)/(Band 5 + Band 4)$$

وتتراوح قيم مؤشر التباين النسبي للنباتات بين (+١، -١)، وكلما ارتفعت قيم المؤشر دل ذلك على كثافة الغطاء النباتي وبمعنى آخر تشير القيم المرتفعة للمؤشر إلى الغطاء النباتي الأكثر وفرة وأكثر صحة، والعكس صحيح، وعادة ما تقاس أقل درجة حرارة (باستثناء المسطحات المائية) في المناطق ذات القيم الأعلى للمؤشر حيث الكثافة المرتفعة للنباتات.

- مؤشر التباين النسبي للكثافة المبنية (NDBI):

يشير مؤشر التباين النسبي للكثافة المبنية إلى إظهار والكشف عن كثافة الكتلة المبنية Built-up density في منطقة ما (Zha, Y., Gao, J., & Ni, S., 2003). ولذا

اقترح (Zha et al., 2003) مؤشر استخلاص الأراضي المبنية Area Built- up من المرئيات الفضائية تحت مسمى مؤشر التباين النسبي للكتلة المبنية Normalized_ Difference Built- up Index (NDBI)، وتم ذلك انطلاقاً من مبدأ أن الاستجابة الطيفية للمباني تحقق انعكاساً عالياً للأشعة تحت الحمراء المتوسطة MIR/SWIR، وانعكاساً أقل للأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR)، ويتم تقديره وفقاً للمعادلة الآتية: (Rihan, M., et al., 2021).

$$NDBI = \frac{MIR_{um} - NIR_{um}}{MIR_{um} + NIR_{um}} \quad \dots\dots\dots Landsat-TM/ ETM+$$

$$NDBI = \frac{(SWIR - NIR)}{(SWIR + NIR)} \quad \dots\dots\dots Landsat- OLI/TIRS$$

وبذلك يمكن تطبيق المعادلة مع المستشعر TM/ETM+ على النحو الآتي:

$$NDBI = (Band5 - Band4) / (Band5 + Band4)$$

ومع المستشعر OLI يمكن تطبيقها على النحو الآتي:

$$NDBI = (Band 6 - Band 5) / (Band 6 + Band 5)$$

وتتراوح قيم نتائج تطبيق المؤشر بين (+1) التي تجسد أعلى انعكاس للمباني، (-1) التي تجسد عدم وجود مباني، ومع ذلك فإن هذا المؤشر ليس بالجودة التي يمتلكها مؤشر NDVI، نظراً لتداخل الانعكاسية الطيفية للأشعة تحت الحمراء القريبة بين مؤشري التباين النباتي النسبي NDVI، وتباين الكتلة العمرانية NDBI التي تحقق انعكاساً عالياً للنبات أكثر مما تحقق انعكاساً منخفضاً للمباني، فضلاً عن أن المؤشر لا يمكنه فصل المباني على نحو نقي، بسبب تداخل الانعكاسية الطيفية بين المباني والمناطق القاحلة الفقيرة بالغطاء النباتي إلى حد ما.

- مؤشر التباين النسبي للمياه (NDWI) Normalized Difference Water Index

يستخدم مؤشر التباين النسبي للمياه NDWI للكشف عن التغيرات التي تحدث في المسطحات المائية. وكذا المحتوى المائي لأوراق النباتات باستخدام الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) والأشعة تحت الحمراء قصيرة الموجة (SWIR) وهي التقنية الأكثر استخدامًا لإظهار المسطحات المائية، وذلك عن طريق الصيغة التالية:

$$NDWI = \frac{NIR_{\lambda m} - MIR_{\lambda m}}{NIR_{\lambda m} + MIR_{\lambda m}}$$

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

وبذلك يمكن تطبيق المعادلة مع المستشعر OLI/TIRS ، TM ، ETM+ على النحو الآتي:

$$\begin{aligned} &= (Band 4 - Band 5) / (Band 4 + Band 5) \dots\dots Landsat-5 TMNDWI \\ &= (Band 4 - Band 5) / (Band 4 + Band 5) \dots\dots Landsat- 7 ETM+NDWI \\ &= (Band 5 - Band 6) / (Band 5 + Band 6) \dots\dots Landsat -8 OLI/TIRSNDWI \end{aligned}$$

٢-٢-٢ حساب درجة حرارة سطح الأرض (LST) Land Surface Temperature

تعرف درجة حرارة سطح الأرض، بأنها درجة الحرارة التي يُشعر بها عند ملامسة سطح الأرض مع اليدين أو درجة حرارة السطح الخارجي (القشرة) من الأرض (Rajeshwari, A., & Mani, N. D., 2014). لذا يُطلق عليها أيضا اسم Skin temperature. وتعتبر درجة حرارة سطح الأرض هي المتغير الرئيسي في الدراسة، ويمكن اشتقاقها من القنوات الطيفية في مجال الأشعة دون الحمراء الحرارية عبر سلسلة من الخطوات. ولما كانت درجة حرارة سطح الأرض أحد الجوانب المهمة في الدراسات المناخية فقد شكلت موضوعاً رئيسياً لتطوير بعض الأساليب المستخدمة في قياسها من

الفضاء. وتُعد درجة حرارة سطح الأرض عاملاً مهماً عند دراسة العديد من الموضوعات مثل، تغير المناخ العالمي Global Climate Change، والعمليات الهيدرولوجية والزراعية Hydrological and Agricultural Processes، واستخدام الأرض الحضرية/الغطاء الأرضي Urban land Use/land Cover. وتجدر الإشارة إلى أن هناك وعياً متزايداً بين علماء البيئة بأن الاستشعار عن بعد يلعب دوراً مهماً في توفير البيانات اللازمة لتقييم ظروف النظم الإيكولوجية Ecosystems Conditions، وكذا رصد التغيرات التي تطرأ عليها (Ustin, S., 2004).

ويمكن حساب "تقدير" درجة حرارة سطح الأرض من خلال الاعتماد على بيانات الاستشعار من بعد في مجال الأشعة تحت الحمراء الحرارية Thermal Infrared Remote Sensing، ويمكن تسجيل درجة الحرارة بصورة واضحة عن طريق قياس الطاقة الإشعاعية المنبعثة من سطح الأرض.

وتُعد المرئيات الفضائية مصدر البيانات، والأسلوب الوحيد لدراسة هذا النوع من درجة حرارة سطح الأرض، وتأتي مرئيات Landsat-5 TM، وLandsat-7 ETM+، وLandsat-8 OLI/TIRS في مقدمة بيانات الاستشعار عن بعد التي يمكن استخدامها في دراسة الجزيرة الحرارية السطحية في عمران مدينة سوهاج والنطاقات المتاخمة لها، حيث تتميز قنواتها الحرارية بدقة مكانية تتراوح ما بين 60 - 120 متر، وهي بذلك تُعد الأعلى في الدقة المكانية بين كل المرئيات التي تلتقط صوراً في المدى الطيفي الحراري؛ مما يجعلها الأفضل في هذا المجال، وسيتم تناول درجة حرارة سطح الأرض، وشدة الجزيرة الحرارية السطحية في مدينة سوهاج بشكل أساسي في توقيت النقاط تلك المرئيات الساعة العاشرة صباحاً تقريباً، وذلك لعدد أربع مرئيات فضائية لفترات مختلفة.

وقد لجأت الدراسة إلى تكامل تقنيتي الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية من أجل تحليل المرئيات الفضائية ومخرجاتها المختلفة لدراسة العلاقة بين

ديناميات الجزيرة الحرارية لمدينة سوهاج استجابة لتغير الغطاءات الأرضية خلال الفترة (١٩٩٠ - ٢٠٢١ م) باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية

درجة حرارة سطح الأرض والتغيرات التي تحدث في الغطاءات الأرضية، والخروج بنتائج كمية توضح طبيعة هذه العلاقة بمنطقة الدراسة (Barsi et al., 2014)، (Rajeshwari, A., & Mani, N. D., 2014)، (Laosuwan, T., et al., 2017) (USGS., 2016). وقد تم حساب درجة حرارة سطح الأرض وفقاً للمراحل التالية:

- حساب الإشعاعية الطيفية من مرئيات:

Landsat-5 TM / Landsat-7 ETM /Landsat-8 OLI/TIRS

يقصد بالإشعاعية الطيفية كثافة التدفق الإشعاعي Radiative Flux Density المنبعث من سطح الأرض في مجال الأشعة دون الحمراء الحرارية Thermal IR أو ما يعرف مناخياً باسم الإشعاع الأرضي، ويمكن حساب قيم الإشعاعية الطيفية Spectral Radiance أعلى الغلاف الجوي (TOA) Top of Atmospheric أو فيما يعرف باسم الإشعاعية الطيفية عند فتحة المحس، وذلك عن طريق تحويل القيم الرقمية Digital Number للقناة الحرارية Band-10, Band-6 إلى إشعاعية طيفية محسوبة أعلى الغلاف الجوي (TOA) Top of Atmospheric، أو عند فتحة المحس At-Sensor Radiance باستخدام المعادلة التالية:

$$L_{\lambda} = \left\{ \frac{L_{MAX\lambda} - L_{MIN\lambda}}{Qcal_{MAX} - Qcal_{MIN}} \right\} (Qcal - Qcal_{MIN}) + L_{MIN\lambda}$$

ويمكن صياغتها أيضاً في الصورة التالية:

$$L_{\lambda} = gain * DN + offset$$

ويمكن صياغة المعادلة أيضاً في الصورة التالية:

$$L_{\lambda} = ((LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}) / 255) * DN + LMI_{\lambda}$$

حيث إن:

L_{λ}	الإشعاعية الطيفية عند فتحة المحس وات/ متر ٢/ طول موجي
gain	قيمة يتم الحصول عليها من ملف Metadata للمرئية
offset	قيمة يتم الحصول عليها من ملف Metadata للمرئية
LMIN	قيمة يتم الحصول عليها من ملف Metadata للمرئية
LMAX	قيمة يتم الحصول عليها من ملف Metadata للمرئية
DN	القيم الرقمية Digital Number لخلايا المرئية
Q_{calMAX}	قيمة يتم الحصول عليها من ملف Metadata للمرئية
Q_{calMIN}	قيمة يتم الحصول عليها من ملف Metadata للمرئية

وتصاغ في القمر الصناعي Landsat- 8 OLI/TIRS في الصيغة التالية:

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L$$

حيث إن

L_{λ}	=	الإشعاعية الطيفية عند فتحة المحس (أعلى الغلاف الجوي) وات/متر ٢/ طول موجي
M_L	=	قيمة يتم الحصول عليها من ملف Metadata للمرئية
A_L	=	قيمة يتم الحصول عليها من ملف Metadata للمرئية
Q_{cal}	=	القيم الرقمية DN لخلايا المرئية.

ويوضح جدول (٢)، المدخلات اللازمة لتطبيق المعادلات والصيغ الرياضية.

جدول (٢) أهم الإحصاءات المتعلقة بالمرئيات الفضائية من ملف Metadata

S.No	Constant	Landsat- 5 (TM)	Landsat- 7 (ETM+)	Landsat- 8 (OLI/TIRS)	
		Band 6	Band 6	Band 10	Band 11
1	ML (gain)	0.055375	0.067087	0.0003342	0.0003342
2	AL (offset)	1.18243	-0.06709	0.10000	0.10000

المصدر: ملف Metadata المرفق بالمرئيات المستخدمة في الدراسة.

ديناميات الجزيرة الحرارية لمدينة سوهاج استجابة لتغير الغطاءات الأرضية خلال الفترة (١٩٩٠ - ٢٠٢١ م) باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية

- تحويل الإشعاعية الطيفية إلى درجة حرارة سطح الأرض:

يتم حساب درجة حرارة سطح الأرض لمنطقة الدراسة من خلال تحويل قيم الإشعاعية الطيفية Spectral Radiance عند فتحة المحس (أعلى الغلاف الجوي) إلى درجات حرارة بالكلفن، وذلك باستخدام أداة Raster calculator في برنامج Arc GIS 10.5، ويوضح جدول (٣) المدخلات اللازمة لتطبيق المعادلة المذكورة أسفلاً، وذلك عن طريق المعادلة التالية: (Landsat-8 OLI/TIR Science Data Users Handbook, 2016).

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_\lambda} + 1\right)}$$

حيث إن:

T = درجة الحرارة بالكلفن مقاسة عند فتحة المحس (أعلى الغلاف الجوي).

L_λ = الإشعاعية الطيفية أعلى الغلاف الجوي.

K1 = قيمة ثابتة يتم الحصول عليها من ملف Metadata.

K2 = قيمة ثابتة يتم الحصول عليها من ملف Metadata.

- تحويل درجات الحرارة إلى وحدة سيليزية:

يتم تحويل درجات الحرارة المحسوبة في الخطوة السابقة من وحدة كلفن إلى وحدة سيليزية من الصيغة التالية:

$$T_s (^{\circ}\text{C}) = T_s (^{\circ}\text{K}) - 273.15$$

حيث إن: $T_s (^{\circ}\text{C})$ = درجات الحرارة بوحدة سيليزية.

$T_s (^{\circ}\text{K})$ = درجات الحرارة بوحدة كلفن.

حساب شدة الجزيرة الحرارية الحضرية السطحية Intensity SUHI

أما شدة أو قوة الجزيرة الحرارية SUHI Intensity فهي مقياس كمي للجزيرة الحرارية الحضرية، ويمكن من خلال هذا المقياس حساب قوة الجزيرة الحرارية للمدينة بطرح متوسط درجة حرارة الظهير الزراعي للمدينة من متوسط درجة حرارة المدينة، وهو تقريباً المقياس الكمي الوحيد الذي يمكن الاعتماد عليه في هذا الشأن. اللهم إلا مؤشر "شدة الجزيرة الحرارية القصوى Maximum UHI" المشتق من المقياس السابق، ويعبر عن أقصى تأثير للمدينة على درجة الحرارة بطرح متوسط درجة حرارة الظهير الزراعي للمدينة من أعلى درجة حرارة تم تسجيلها داخل المدينة. ولبيان قوة الجزيرة الحرارية الحضرية السطحية لمدينة سوهاج بشكل كمي تم استخدام الصيغة التالية:

$$\text{SUHI Intensity} = \text{LST}_{\text{Urban}} - \text{LST}_{\text{rural}}$$

حيث إن SUHI Intensity شدة الجزيرة الحرارية الحضرية السطحية، $\text{LST}_{\text{Urban}}$ متوسط درجة حرارة المدينة، $\text{LST}_{\text{rural}}$ متوسط درجة حرارة الظهير الزراعي المحيط بالمدينة. وقد تم تحديد الظهير المتاخم (الظهير الريفي) بنطاق ثابت Buffer حول المدينة^(١) اتساعه ٢ كم.

جدول (٣) قيم K_1 و K_2 لمجموعات بيانات Landsat المستخدمة في الدراسة

S.No	Constant	Landsat- 5 (TM)	Landsat- 7 (ETM+)	Landsat- 8 (OLI/TIRS)	
		Band 6	Band 6	Band 10	Band 11
1	K1	607.76	666.09	774.8853	480.8883
2	K2	1260.56	1282.71	1321.0789	1201.1442

المصدر: ملف Metadata المرفق بالمرئيات المستخدمة في الدراسة.

(١) حددت دراسة (Dezso, Z. et al., 2006) نطاق الظهير الزراعي للمدن المليونية في وسط أوروبا بـ ١٠ كم. وحددتها دراسة (وليد عباس، ٢٠١٩م) لمدينة المنصورة بنطاق ٣ كم حول المدينة.

٣. النتائج والمناقشة:

تتضمن المناقشة تحليلاً لخمسة مباحث رئيسية هي: ديناميات تغير الغطاءات الأرضية الرئيسية، ودرجة حرارة سطح الأرض، وديناميات شدة الجزيرة الحرارية الحضرية السطحية، ومؤشرات استخدام الأرض، وأخيراً العلاقة بين مؤشرات استخدام الأرض ودرجة حرارة سطح الأرض خلال فترات الدراسة.

٣-١ ديناميات تغير الغطاءات الأرضية في مدينة سوهاج خلال الفترة ١٩٩٠-٢٠٢١م.

تُعد أنماط الغطاءات الأرضية في أي مدينة نتاجاً للتطور الذي مرت به المدينة عبر تاريخها. وتعد نتاجاً لتفاعل مجموعة من العوامل الاجتماعية والاقتصادية المؤثرة والفعالة، وانعكاساً منطقياً لأهمية الوظائف التي تمارسها المدينة (أحمد علي إسماعيل، ١٩٩٣)؛ ولذلك فهي تتسم بالدينامية والتطور تبعاً لتغير احتياجات المجتمع، وعلاوة على ذلك فإن فهم التركيب الحراري للمدينة يعتمد على خريطة الغطاءات الأرضية.

أصبح من الأهمية بمكان رصد واكتشاف التغير Change Detection الذي يحدث في الغطاء الأرضي في التخطيط ووضع الاستراتيجيات والحلول المناسبة للمشاكل البيئية واستنزاف الموارد الأرضية والحد من الاستعمال العشوائي لإستخدامات الأرض، وقد تطورت الأساليب والأدوات والتقنيات الحديثة المتخصصة في رصد الغطاءات الأرضية تطوراً كبيراً، فمع التقدم الكبير في الأقمار الصناعية وتوفر مرئياتها؛ أمكن رصد واكتشاف التغير في الغطاءات الأرضية Land Cover Changes من خلال المقارنة بين المرئيات الفضائية التي يتم تحليل بياناتها في سنوات مختلفة.

وقد تم رسم خريطة الغطاءات الأرضية الرئيسية لمنطقة الدراسة المحددة حسب الغطاءات التي حددتها الدراسات السابقة مثل (وليد عباس عبد الراضي، ٢٠١٣م)، (وائل زهران، ٢٠١٨م)، (Ibrahim, F., & Rasul, G., 2017)، (Athukorala, D., &)، (Murayama, Y., 2021)، (Hassan, T., et al., 2021)، (Mandal, J., et al., 2019).

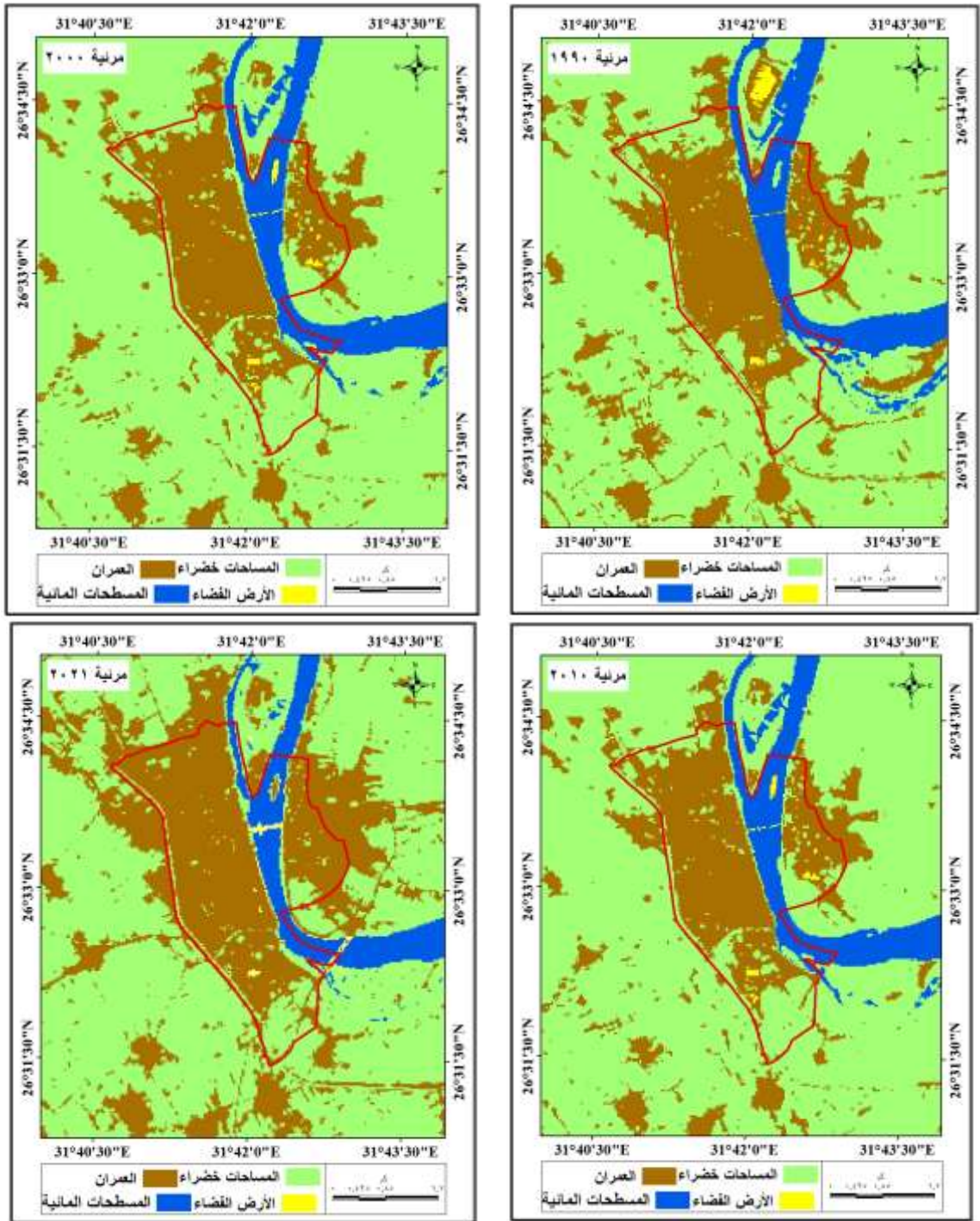
(Liu, C., & Li, Y., 2018)، وغيرها من الدراسات التي حددت الغطاءات الأرضية الرئيسية في العمران (مبانى، طرق)، المسطحات الخضراء، الأرض الفضاء والبور، والمسطحات المائية، ويوضح شكل (٢) توزيع الغطاءات الأرضية الرئيسية في منطقة الدراسة ودينامياتها خلال الفترات (١٩٩٠، ٢٠٠٠، ٢٠١٠، ٢٠٢١م)، ويوضح جدول (٤، ٥) مساحات الغطاءات الأرضية المختلفة ودرجة سيادتها خلال فترة الدراسة، وبناءً عليه تم حساب مقدار التغير ونسبته في السنوات التالية لسنة الأساس ١٩٩٠م والتي تعتبر الفترة الأولى التي تم عمل التصنيف للغطاءات الأرضية بها، وهو ما يمكن بيانه فيما يلي:

١-١-٢ عمران منطقة الدراسة:

شهدت مدينة سوهاج تمداً حضرياً سريعاً خلال فترة الدراسة ١٩٩٠-٢٠٢١م؛ حيث كشفت نتائج التحليل عن هذا التطور والتغير في عمران المدينة، فقد شكلت المنشآت الحضرية نسبة كبيرة من مساحة المدينة وتميزت بالدينامية المستمرة خلال فترة الدراسة. حيث يعد الاستخدام العمراني من الوظائف المهمة في المدينة، ويستأثر بالنصيب الأكبر من جملة الغطاءات الأرضية الرئيسية، فقد احتل الترتيب الأول خلال فترات الدراسة الأربعة. ففي عام ١٩٩٠م وهي تعتبر السنة الأولى للدراسة (سنة الأساس) تبين أن عمران المدينة أحتل الترتيب الأول من حيث المساحة، فقد استحوذ على نحو ٦,٢٧ كم^٢ بنسبة ٥٩,٩٪ من جملة الغطاءات الأرضية الرئيسية في منطقة الدراسة^(٢). ومن ناحية أخرى تميز عمران المدينة بالثبات النسبي خلال عام ٢٠٠٠م.

(٢) يبلغ إجمالي مساحة منطقة الدراسة (مدينة سوهاج) نحو ١٠,٤٧ كم^٢.

ديناميات الجزيرة الحرارية لمدينة سوهاج استجابة لتغير الغطاءات الأرضية خلال الفترة (١٩٩٠ - ٢٠٢١ م) باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية



المصدر: التصنيف الموجه لمرئيات Landsat-5 TM, Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI

شكل (٢) تغير الغطاءات الأرضية الرئيسية في مدينة سوهاج خلال الفترة من ١٩٩٠ - ٢٠٢١ م.

واستمر عمران المدينة في النمو خلال عام ٢٠١٠م، فقد زادت مساحة العمران في المدينة إلى ٧,٠٩ كم^٢ ونسبة بلغت ٦٧,٦٩ ٪ من جملة الغطاءات الأرضية الرئيسية، ونسبة تغير بلغت ١٣,١ ٪ خلال الفترة ٢٠٠٠ - ٢٠١٠م. وعلى نفس النمط استمر عمران المدينة في النمو خلال الفترة الأخيرة من الدراسة ٢٠٢١م فقد سجل نحو ٧,٤٩ كم^٢ ونسبة ٧١,٥٩ ٪ من جملة الغطاءات الأرضية، ونسبة تغير بلغت ٥,٦ ٪ خلال الفترة من ٢٠١٠-٢٠٢١م. وإجمالاً، تبين أن عمران مدينة سوهاج نما من ٥٩,٩ ٪ إلى ٧١,٥٩ ٪ خلال الفترة من ١٩٩٠ - ٢٠٢١م، ونسبة تغير بلغت ١٩,٥ ٪ خلال نفس الفترة السابقة.

جدول (٤) مساحة الغطاءات الأرضية في مدينة سوهاج خلال الفترة من ١٩٩٠ - ٢٠٢١م.

٢٠٢١م		٢٠١٠م		٢٠٠٠م		١٩٩٠م		الغطاءات الأرضية
المساحة كم ^٢	%	المساحة كم ^٢	%	المساحة كم ^٢	%	المساحة كم ^٢	%	
٧,٤٩	٧١,٥٩	٧,٠٩	٦٧,٦٩	٦,٢٧	٥٩,٩	٦,٢٧	٥٩,٩	العمران
١,٤٧	١٤,٠٤	١,٥٧	١٤,٩٨	٢,٦٥	٢٥,٤	٢,٧	٢٥,٨	المساحات الخضراء
٠,٢٥	٢,٣٧	٠,١٣	١,٢٢	٠,١٤	١,٣	٠,٠٤	٠,٤	الأرض الفضاء والبور
١,٢٦	١٢	١,٦٩	١٦,١١	١,٤٠	١٣,٤	١,٤٦	١٣,٩	المسطحات المائية
١٠,٤٧	١٠٠	١٠,٤٧	١٠٠	١٠,٤٧	١٠٠	١٠,٤٧	١٠٠	الإجمالي

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على التصنيف الموجه للمرتبات الفضائية للقمر الصناعي Landsat، وكذا عملية التحليل النطاقي Zonal Statistics as Table باستخدام برنامج Arc TM, ETM+, OLI، و GIS, 10.5.

٢.١-٢ المساحات الخضراء:

تشغل المساحات الخضراء مرتبة متقدمة -الترتيب الثاني- ضمن الغطاءات الأرضية الرئيسية في مدينة سوهاج، وتفيد في التخفيف من شدة الجزيرة الحرارية، حيث تعد إحدى الاستراتيجيات المتبعة للتخفيف من الآثار والتداعيات السلبية الناتجة عن

ديناميات الجزيرة الحرارية لمدينة سوهاج استجابة لتغير الغطاءات الأرضية خلال الفترة (١٩٩٠ - ٢٠٢١ م) باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية

الجزيرة الحرارية. وقد بلغت مساحة المساحات الخضراء في المدينة نحو ٢,٧ كم^٢ عام ١٩٩٠م، وهو ما يمثل ٢٥,٨٪ من جملة الغطاءات الأرضية الرئيسية في المدينة (١٠,٤٧ كم^٢)، أي ما يزيد قليلاً عن ربع مساحة منطقة الدراسة خلال عام ١٩٩٠م. ثم انخفضت هذه النسبة إلى ٢٥,٤٪ عام ٢٠٠٠م، وبمساحة بلغت ٢,٦٥ كم^٢ من جملة مساحة المدينة، وهذا يشير إلى التناقص النسبي للمساحات الخضراء في المدينة بنسبة تغير ١,٩٪ خلال الفترة ١٩٩٠-٢٠٠٠م.

واستمر التناقص في المساحات الخضراء بالمدينة خلال عام ٢٠١٠م، لتشكل حوالي ١,٥٧ كم^٢، وهو ما يعادل ١٤,٩٨٪ من جملة الغطاءات الأرضية الرئيسية بالمدينة، وبنسبة تغير ٤٠,٨٪، وهذا يعني أن المساحات الخضراء تقلصت مساحتها من ٢٥,٤٪ عام ٢٠٠٠م إلى ١٤,٩٨٪ عام ٢٠١٠م، أي تناقص واختفي ما يقرب من نصف المساحات الخضراء خلال هذه الفترة. ومن ناحية أخرى بلغت مساحة المساحات الخضراء ١,٤٧ كم^٢ وبما يمثل ١٤,٠٤٪ من جملة مساحة المدينة عام ٢٠٢١م، وبنسبة تغير ٦,٤٪ خلال الفترة ٢٠١٠-٢٠٢١م. وإجمالاً، تبين أن المساحات الخضراء تناقصت مساحتها من ٢٥,٨٪ إلى ١٤,٠٤٪، وبنسبة تغير بلغت ٤٥,٦٪ خلال الفترة من ١٩٩٠ - ٢٠٢١م.

٣-١-٣ المسطحات المائية:

تتمثل المسطحات المائية في نهر النيل الذي يتوسط المدينة وبعض الترع الفرعية مثل التربة السوهاجية والترعة الجراوية والطهاوية، وتشغل المسطحات المائية الترتيب الثالث من حيث المساحة بالمدينة، فقد بلغت مساحتها ١,٤٦ كم^٢ عام ١٩٩٠م، وهو ما يمثل ١٣,٩٪ من جملة الغطاءات الأرضية بالمدينة. ثم حدث ثباتاً نسبياً في المسطحات المائية خلال عام ٢٠٠٠م بمساحة بلغت ١,٤٠ كم^٢، بما يعادل ١٣,٤٪ من جملة الغطاءات الأرضية، بينما ارتفعت مساحتها إلى ١,٦٩ كم^٢ بما يمثل ١٦,١١٪ من الغطاءات الأرضية عام ٢٠١٠م، وبنسبة تغير ٢٠,٧٪ في الفترة

من ٢٠٠٠-٢٠١٠م. بينما تناقصت المسطحات المائية لتسجل ١,٢٦ كم^٢ بنسبة ١٢٪ من إجمالي الغطاءات الأرضية عام ٢٠٢١م، وبنسبة تغير بلغت ١٣,٧٪ في الفترة ٢٠١٠-٢٠٢١م.

جدول (٥) التغير في مساحة الغطاءات الأرضية في مدينة سوهاج خلال الفترة من ١٩٩٠ - ٢٠٢١م.

١٩٩٠ - ٢٠٢١م		٢٠١٠ - ٢٠٢١م		٢٠٠٠ - ٢٠١٠م		١٩٩٠ - ٢٠٠٠م		الفترة الزمنية
المساحة كم ^٢	%	المساحة كم ^٢	%	المساحة كم ^٢	%	المساحة كم ^٢	%	الغطاءات الأرضية
١,٢٢+	١٩,٥+	٠,٤+	٥,٦+	٠,٨٢+	١٣,١+	--	-	ال عمران
١,٢٣-	٤٥,٦-	٠,١-	٦,٤-	١,٠٨-	٤٠,٨-	٠,٠٥-	١,٩-	المساحات الخضراء
٠,٢١	٥٢٥+	٠,١٢+	٩٢,٣+	٠,٠١-	٧,١-	٠,١+	٢٥٠+	الأرض الفضاء والبور
٠,٢-	١٣,٧-	٠,٤٣-	٢٥,٤-	٠,٢٩+	٢٠,٧+	٠,٠٦-	٤,١-	المسطحات المائية

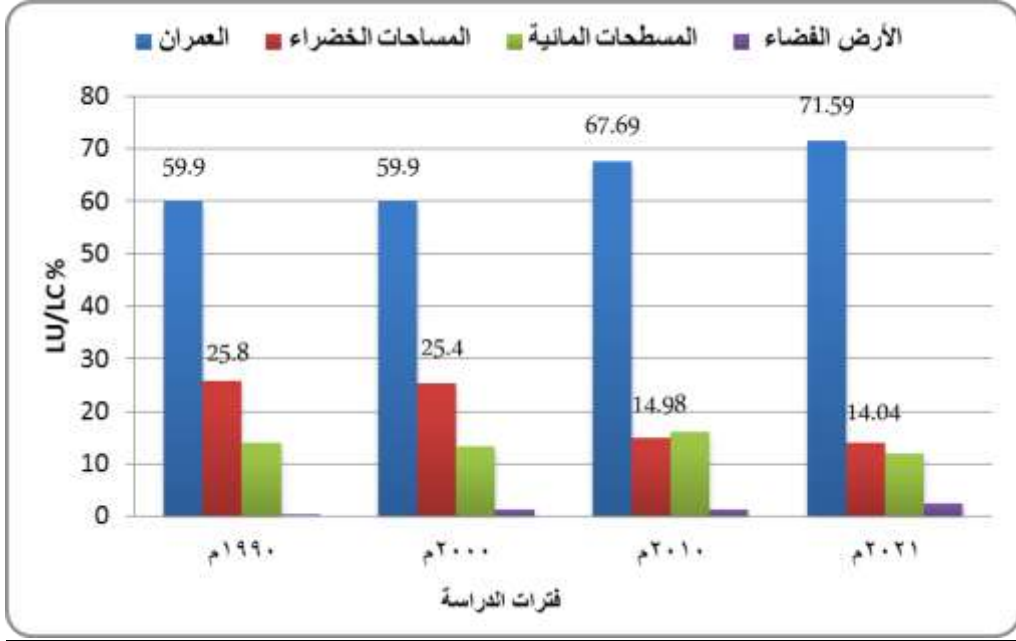
المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على جدول (٤).

٤.١.٣ الأرض الفضاء والبور:

تشغل الأراضي الفضاء والبور الترتيب الأخير من حيث المساحة بين الغطاءات الأرضية الرئيسية في المدينة، وتفيد في استيعاب أنشطة ومنشآت في كافة الاستخدامات المختلفة، وقد يطلق عليها الاحتياطي السكني الاستراتيجي للتوسع العمراني في المستقبل، وكثيراً ما تستغل في إقامة عمارات سكنية ومنازل، وبالنظر للتوزيع الجغرافي للأرض الفضاء والبور نجد أنها تنتشر بصورة واضحة على أطراف المدينة وبعض البقع الصغيرة داخل المدينة بينما يقل وجودها في مناطق وسط البلد وقلب المدينة. وتبلغ مساحة الأرض الفضاء والبور في المدينة ٠,٠٤ كم^٢ وبما يمثل ٠,٤٪ من جملة الغطاءات الأرضية عام ١٩٩٠م، وارتفعت هذه النسبة إلى ١,٣٪ في

ديناميات الجزيرة الحرارية لمدينة سوهاج استجابة لتغير الغطاءات الأرضية خلال الفترة (١٩٩٠ - ٢٠٢١ م) باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية

عام ٢٠٠٠م، وبمساحة بلغت ٠,١٤ كم^٢، ثم سجلت انخفاصاً طفيفاً ٠,١٣ كم^٢ وبما يمثل ١,٢٢٪ من جملة الغطاءات الأرضية عام ٢٠١٠م، وفي عام ٢٠٢١م سجلت ارتفاعاً في تغطيتها المساحية ٠,٢٥ كم^٢ ونسبة ٢,٣٧٪ من جملة الغطاءات الأرضية الرئيسية بالمدينة.



شكل (٣) ديناميات الغطاءات الأرضية الرئيسية في مدينة سوهاج خلال الفترة من ١٩٩٠ - ٢٠٢١م

إجمالاً، تبين أن النمو العمراني في مدينة سوهاج شهد زيادة سريعة ومستمرة خلال الفترة من ١٩٩٠م - ٢٠٢١م، ففي عام ١٩٩٠م تركزت معظم الأسطح المبنية عالية الكثافة في الأجزاء الوسطى من المدينة، بينما كانت مبعثرة ومنخفضة الكثافة في الأجزاء الشمالية والجنوبية والشرقية والغربية من المدينة، ومع ذلك فقد زادت الكتلة المبنية في جميع أنحاء المدينة بمرور الوقت، وفي عام ٢٠٢١م يمكن ملاحظة تركيز المناطق المبنية عالية الكثافة في الأجزاء الشمالية أيضاً والزحف تدريجياً باتجاه أطراف المدينة، في حين أن جميع فئات الغطاءات الأرضية الأخرى قد شهدت انخفاصاً

وتذبذبًا في تغطيتها المساحية خلال الفترة ١٩٩٠-٢٠٢١م، ولا سيما المساحات الخضراء التي سجلت أعلى انخفاضًا، فقد لوحظ الغطاء النباتي بشكل ملحوظ في الأجزاء الشمالية والجنوبية والغربية من المدينة في عام ١٩٩٠م، لكنه انخفض بشكل ملحوظ خلال الفترة ٢٠١٠م وحتى ٢٠٢١م. ويرجع ذلك إلى التوسع في المساحة المبنية في هذه الأجزاء نتيجة النمو السكاني والاقتصادي السريع خلال تلك الفترة.

ووفقًا لما سبق، يُظهر التباين في تغير الغطاءات الأرضية الرئيسية في منطقة الدراسة أن المساحات الخضراء كانت تمثل أكثر الغطاءات الأرضية انتشارًا وتوزيعًا بعد العمران في عام ١٩٩٠م، فقد كانت تمثل ما يزيد عن ربع مساحة منطقة الدراسة (٢٥,٨٪)، ثم انخفضت إلى ما يقرب من نصف مساحتها ١٤,٠٤٪ عام ٢٠٢١م. وهذا الانخفاض في المساحات الخضراء ناتج عن تحويل الأسطح النباتية إلى أراضي مبنية وصناعية وتجارية، فقد بلغت مساحة العمران ٥٩,٩٪ عام ١٩٩٠م، ثم زاد إلى ما يقارب ثلاثة أرباع منطقة الدراسة (٧١,٥٩٪) عام ٢٠٢١م.

٢-٣ ديناميات الخصائص الحرارية للغطاءات الأرضية الرئيسية:

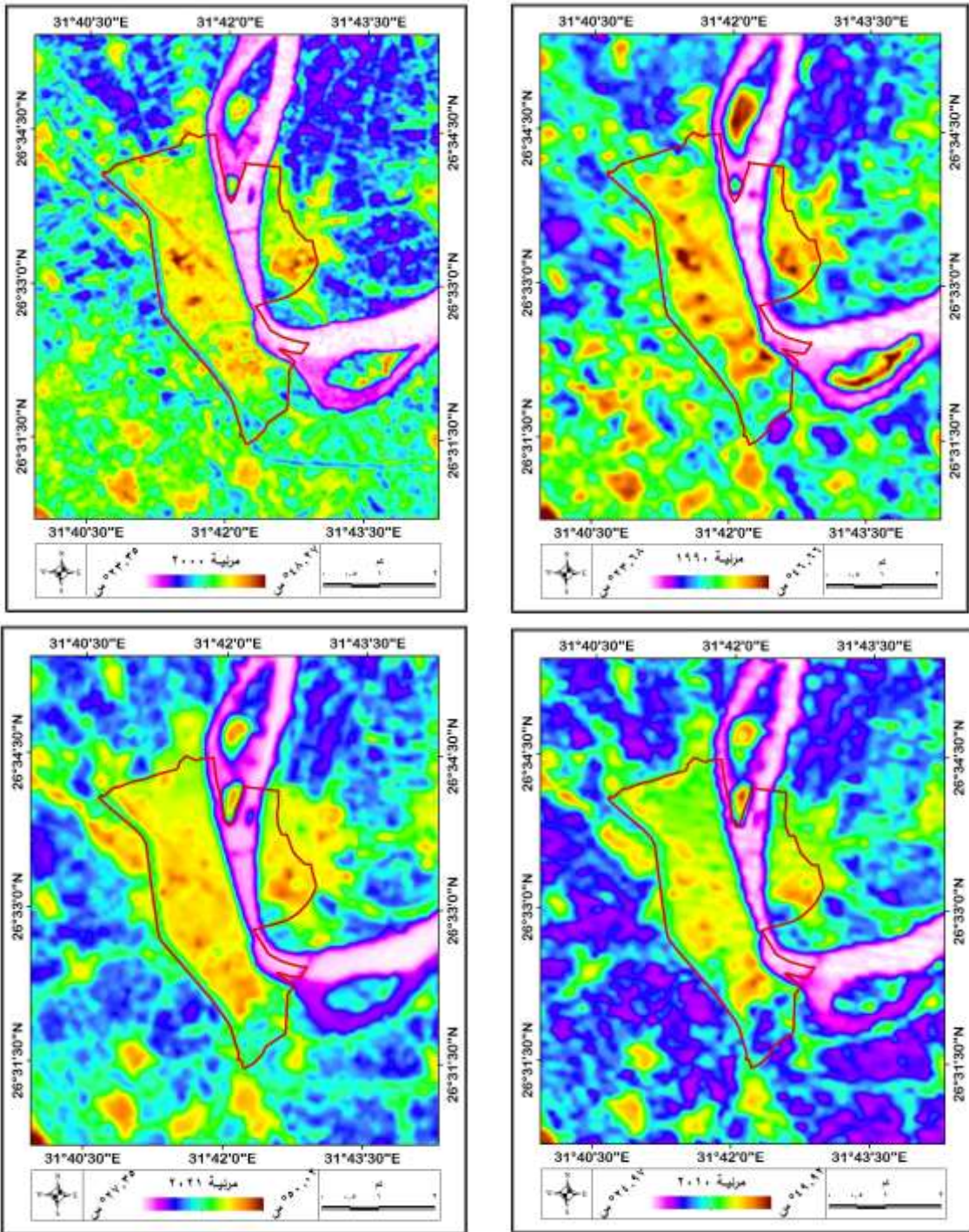
سبق الإشارة إلى أن مدينة سوهاج من المدن التي شهدت نموًا عمرانيًا وسكانيًا في محيط بيئي حار وجاف على حساب المساحات الخضراء، وتضم العديد من الأنشطة البشرية والصناعية التي تؤثر على مناخها المحلي، وبالتالي فإن المدينة تواجه عددًا من التحديات البيئية المختلفة التي تواجهها معظم مدن العالم، ويعد ارتفاع درجة حرارة سطح الأرض (الجزيرة الحرارية الحضرية)، واحدة من هذه التحديات التي تواجهها المدينة.

تسهم درجة حرارة سطح الأرض بدور رئيسي في تقييم المناخ الحضري، حيث تُعد أحد العوامل المهمة في مراقبة المناخ الحضري. ويمكن أن توفر مراقبة الاختلافات والتباينات في درجة حرارة سطح الأرض فهماً أفضل لظاهرة الجزيرة الحرارية الحضرية. وقد جاءت الغطاءات الأرضية الرئيسية في صدارة العوامل لأنها السبب الرئيس في نشأة

ديناميات الجزيرة الحرارية لمدينة سوهاج استجابة لتغير الغطاءات الأرضية خلال الفترة (١٩٩٠ - ٢٠٢١ م) باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية

الجزيرة الحرارية. فلولا وجود المدينة ما كانت جزيرتها الحرارية، حيث تنشأ أساساً نتيجة تحول الغطاء الأرضي الأصلي، خاصة الغطاء النباتي الطبيعي والمزروع، إلى الأسطح والاستخدامات الحضرية التي تميز المدينة (خاصة المواد الأسمنتية والأسفلتية والمعدنية). أضف لذلك مالها من تأثير كبير في شدة الجزيرة وملامح مسارها اليومي وتباينها المكاني (وليد عباس عبد الراضي، ٢٠١٣).

وفي هذا الصدد تجدر الإشارة إلى أن العديد من الدراسات والأبحاث قد تناولت العوامل المحددة والمسببة للجزيرة الحرارية الحضرية مثل دراسة (Voogt, J. A., & Oke, T. R., 2003)، وكذا دراسة (Pu, R., 2006)، (Jenerette, G. D., 2007). وهناك جانب من هذه الدراسات حاول التركيز بشكل كبير على الارتباط ما بين السلوك الحراري، وأنماط استخدامات الأرض/الغطاءات الأرضية مثل دراسة (Weng, Q., et al., 2004)، ودراسة (Imhoff, M. L., et al., 2010)، ودراسة (Tang, J., 2017). ومن ناحية أخرى ركزت بعض الدراسات على الأسطح غير المنفذة Impervious Surface كأحد العوامل المؤثرة في الجزيرة الحرارية الحضرية (Arnfield, A. J., 2003). وبالمقارنة بمناطق ريفية محيطة، تختلف المناطق غير المنفذة في المدن اختلافاً كبيراً في نسبة الألبيدو Albedo، السعة الحرارية Thermal Capacity، الخشونة السطحية Roughness، وكلها عوامل تؤثر في تعديل الميزانية السطحية للطاقة، وارتفاع درجة حرارة سطح الأرض في المناطق الحضرية (Weng, Q., et al 2011). (Xian, G., & Crane, M., 2006)، (Zhang, X., et al., 2009)، (Guo, G., et al., 2015). بينما تناولت دراسة (Livesley, S. J., et al., 2016) دور المسطحات المائية في التأثير علي الجزيرة الحرارية.



شكل (٤) التباين الزمني والمكاني لدرجة حرارة سطح الأرض في مدينة سوهاج والنطاق المتاخم لها في الفترة

(١٩٩٠ - ٢٠٢١م)

ديناميات الجزيرة الحرارية لمدينة سوهاج استجابة لتغير الغطاءات الأرضية خلال الفترة (١٩٩٠ - ٢٠٢١ م) باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية

ترتبط الأنماط المميزة لدرجة حرارة سطح الأرض بالخصائص الحرارية لفئات الغطاء الأرضي (Weng, Q., 2001). ولفهم علاقة التنمية الحضرية بدرجة حرارة سطح الأرض بشكل أفضل، تم الحصول على القيم الحرارية لكل نوع من أنواع الغطاءات الأرضية عن طريق تراكب Overlaying مرئية درجة حرارة سطح الأرض مع خريطة الغطاءات الأرضية الرئيسية في مدينة سوهاج.

يتضح من شكل (٤)، الذي يوضح توزيع درجة حرارة سطح الأرض (س) في مدينة سوهاج للغطاءات الأرضية الرئيسية لكل صورة فضائية من الصور متعددة الفترات الزمنية؛ وذلك اعتماداً على عملية المعايرة الراديومترية Radiometric Calibration للفئة الحرارية Landsat-5 TM, Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI/ TIRS لفصل الصيف نهاراً، وكذا جدول (٦)، الذي يبين أهم إحصاءات درجات الحرارة المحسوبة من حيث أصغر، وأكبر، ومتوسط درجات الحرارة، والانحراف المعياري لها في منطقة الدراسة حيث يتبين الآتي:

١.٢.٣ الخصائص الحرارية لعمران المدينة:

تستحوذ المنشآت الحضرية المختلفة على نسبة كبيرة من الغطاءات الأرضية بلغت نحو ثلاث أرباع منطقة الدراسة، وقد بلغ متوسط درجة حرارتها $37,53^{\circ}\text{C}$ س نهاراً، أي ثاني أكبر الأسطح الحضرية حرارة في المدينة بعد الأرض الفضاء والبور خلال عام ١٩٩٠م، وتحتل المركز نفسه في عام ٢٠٠٠م بمتوسط حراري لسطحها بلغ $39,81^{\circ}\text{C}$ س، وبفارق حراري $2,28^{\circ}\text{C}$ س عن عام ١٩٩٠م. وعلى الجانب الآخر سجلت أقصى درجة حرارة لسطح الأرض نحو $43,71^{\circ}\text{C}$ ، $46,57^{\circ}\text{C}$ س لأعوام ١٩٩٠، ٢٠٠٠م على الترتيب، بينما سجلت أدنى قيمة $26,67^{\circ}\text{C}$ ، $30,75^{\circ}\text{C}$ س لنفس الفترة السابقة على الترتيب.

وعلى نفس السياق السابق، سجل متوسط درجة حرارة عمران المدينة خلال عام ٢٠١٠م حوالي $39,58^{\circ}\text{C}$ س، وبانخفاض حراري بسيط مقداره $0,23^{\circ}\text{C}$ س عن عام

٢٠٠٠م، ثم عاود المؤشر الحراري للعمران الارتفاع مرة أخرى ليسجل ٤٠,٦٥°س عام ٢٠٢١م وبزيادة حرارية بلغت ١,٠٧°س عن عام ٢٠١٠م. بينما سجلت أقصى درجة حرارة لسطح الأرض نحو (٤٥,٢١°س)، (٤٤,٩٥°س)، بينما سجلت الدنيا (٢٧,٥٢°س)، (٢٨,٥٨°س) لأعوام ٢٠١٠، ٢٠٢١م على الترتيب.

٢.٢-٣ الخصائص الحرارية للمساحات الخضراء:

تتمثل المساحات الخضراء بالمدينة في المتخللات الزراعية، والحدائق الحضرية Urban Parks، والمنتزهات والملاعب وأشجار جانبي الطريق Road-side Trees، ووفقاً لما سبق توضيحه تعرضت مساحات كبيرة من المساحات الخضراء للتناقص والتآكل خلال فترة الدراسة، ولهذا مردودة وانعكاساته على الجزيرة الحرارية للمدينة. فقد أبرزت العديد من الدراسات أن زيادة المساحات الخضراء داخل المدينة، تُعد إحدى التدابير المهمة للتخفيف من تأثيرات الجزيرة الحرارية (Scott, K. I., Spronken-Smith, R. A., & Simpson, J. R., & McPherson, E. G., 1999) وكذلك (Oke, T. R., 1998). بالإضافة إلى أنها تعمل على صد التيارات الهوائية، وكذلك اعتراض الإشعاع الشمسي قبل أن يتم امتصاصه من قبل المواد غير المنفذة Impervious Materials بالمدينة، وبالتالي تساعد على خفض درجة حرارة الهواء بما يتراوح بين ١,٦° - ٣,٣°س، من خلال التبخر - نتح (Meredith, H. A., 2004).

تُعد المساحات الخضراء بالمدينة ثاني أقل الغطاءات الأرضية حرارة بالمدينة بعد المسطحات المائية، فقد بلغ متوسط درجة حرارتها ٣٣,٣٥°س عام ١٩٩٠م، واحتلت المركز ذاته في عام ٢٠٠٠م بمتوسط حراري لسطحها ٣٥,٩٦°س، وبفارق حراري بلغ ٢,٦١°س عن الفترة الأولى. بينما سجلت أقصى درجة في المساحات الخضراء نحو ٤٠,٦٩°، ٤٣,٩٨°س لأعوام ١٩٩٠، ٢٠٠٠م على الترتيب، بينما سجلت أدنى قيمة ٢٦,٦٧°، ٢٥,٨٨°س لنفس الفترة السابقة على الترتيب.

ديناميات الجزيرة الحرارية لمدينة سوهاج استجابة لتغير الغطاءات الأرضية خلال الفترة (١٩٩٠ - ٢٠٢١ م) باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية

وعلى النهج السابق نفسه، سجل متوسط درجة حرارة المساحات الخضراء بالمدينة نحو $34,54^{\circ}\text{C}$ خلال عام ٢٠١٠م، وبانخفاض حراري مقداره $1,15^{\circ}\text{C}$ عن عام ٢٠٠٠م، ثم عاود المؤشر الحراري للمساحات الخضراء في الارتفاع مرة أخرى إلى $36,13^{\circ}\text{C}$ عام ٢٠٢١م، وازدياد حرارية بلغت $1,59^{\circ}\text{C}$ مقارنة بعام ٢٠١٠م. ومن ناحية أخرى سجلت أقصى درجة حرارة لسطح الأرض نحو $42,21^{\circ}\text{C}$ ، وبينما سجلت الدنيا $26,67^{\circ}\text{C}$ ، $28,23^{\circ}\text{C}$ لس الأعوام ٢٠١٠، ٢٠٢١م على الترتيب.

وأثبتت كثير من الدراسات أن المساحات الخضراء داخل المدينة دائماً ما تكون أكثر حرارة من تلك الموجودة في الظهير المتاخم، وهو ما يعزي إلى زيادة الكثافة النباتية والمحتوى المائي في الأخيرة، وتعمل المساحات الخضراء بالمدينة على تطيف درجة الحرارة نظراً لأنها الأقل حرارة نهاراً، ويعود ذلك في الأساس إلى استنزاف جزء من الطاقة الشمسية الممتصة في عملية التبخر نتج، لتنتقل في شكل حرارة كامنة Latent Heat وليس حرارة المحسوسة Sensible Heat تعمل على تسخين الهواء، كما تساهم المساحات الخضراء الموجودة على أطراف المدينة وبصفة خاصة الواقعة شمال المدينة أيضاً في التخفيف من درجة الحرارة في مدينة سوهاج، حيث تعمل الرياح القادمة من الشمال بنقل المؤثرات المطفة من الظهير الزراعي الشمالي إلى المدينة.

٣.٢.٣ الخصائص الحرارية للمساحات المائية:

تعتبر المساحات المائية (على سبيل المثال، المحيطات والبحيرات والأنهار والجدول المائية) عاملاً مهماً لتخفيف درجة الحرارة أثناء النهار، على الرغم من أن المساحات المائية قد توفر الدفء خلال الليل. ونظراً لأن المساحات المائية تتمتع بسعة حرارية نوعية أكبر مقارنة بالغطاءات الأخرى، فإن معدل تسخينها يكون أبداً من الغطاءات الأخرى، مما يؤدي إلى التخفيف من تأثير الجزيرة الحرارية على طول النطاق المتاخم لضفتي نهر النيل بصفة خاصة. وقد كشفت دراسة (Saaroni, H., &

(Ziv, B., 2003) عن أن المسطحات المائية وحتى الصغيرة المساحة يمكن أن تقلل من الإجهاد الحراري خلال النهار. وأيضًا وجدت دراسة (Kim, Y. H., et al., 2008) أن المجرى المائي stream قد غير من تدفق الحرارة المحسوسة changed sensible heat flux وخفف (لطف) Mitigated من درجة الحرارة في سيول - كوريا. وأيضًا وجدت دراسة (Murakawa, S., et al., 1991) أن التأثير الأفقي لنهر أوتا Ota River - باليابان - على المناخ المحلي Microclimate يمكن أن يصل إلى بضع مئات من الأمتار. وأخيرًا تبين من دراسة (Hathway, E. A., & Sharples, S., 2012)، أن تأثيرات التبريد Cooling effects لنهر عرضه ٢٢ مترًا يمكن أن تصل إلى ٣٠ متر من ضفة النهر في شيفيلد Sheffield.

يُعد نهر النيل المسطح المائي الرئيس الذي يخترق المدينة من الجنوب ويتوسطها، وتمثل مساحته ما يقرب من ١٥٪ تقريبًا من جملة الغطاءات الأرضية الرئيسية، وتأتي المسطحات المائية كأقل الغطاءات الأرضية حرارة نهارًا، فقد بلغ متوسط درجة حرارتها نحو (٢٦,٤٤°س)، (٢٦,١°س) لعامي ١٩٩٠، ٢٠٠٠م على الترتيب، بينما سجلت أقصى درجة حرارة (٣١,٦٥°س)، (٢٨,٨٢°س)، وسجلت الدنيا (٢٤,٥٤°س)، (٢٤,٨٨°س) لنفس الفترة السابقة على الترتيب.

وعلى نفس السياق، سجل متوسط درجة حرارة المسطحات المائية بالمدينة خلال ٢٠١٠م نحو (٢٨,٧٥°س) بانخفاض حراري مقداره (٠,٠٧°س) مقارنة بعام ٢٠٠٠م، ثم عاود المؤشر الحراري للمياه ليرتفع ارتفاعًا طفيفًا ليسجل (٢٨,٨٤°س) عام ٢٠٢١م وبزيادة حرارية بلغت (٠,٠٩°س) مقارنة بعام ٢٠١٠م. بينما سجلت أقصى درجة حرارة لسطح المياه نحو (٣٨°س)، (٣٤,٨°س)، وسجلت الدنيا (٢٥,٨٣°س)، (٢٧,٣٥°س) لأعوام ٢٠١٠، ٢٠٢١م على الترتيب.

جدول (٦) تباين درجة حرارة سطح الأرض LST وفقا لأنماط الغطاءات الأرضية الرئيسية في مدينة سوهاج في الفترة من ١٩٩٠ - ٢٠٢١ م.

تواريخ المربعات المكانية	١٩٩٠ م			٢٠٠٠ م			٢٠١٠ م			٢٠٢١ م		
	MIN	MAX	Mean	MIN	MAX	Mean	MIN	MAX	Mean	MIN	MAX	Mean
فئات درجات الحرارة	٣١,٦٧	٤٣,٧١	٣٧,٥٣	٣٧,٥٣	٤٦,٥٧	٣٩,٨١	٣٧,٥٣	٤٥,٢١	٣٩,٥٨	٣٧,٥٣	٤٥,٢١	٣٩,٥٨
العمران	٣١,٦٧	٤٣,٧١	٣٧,٥٣	٣٧,٥٣	٤٦,٥٧	٣٩,٨١	٣٧,٥٣	٤٥,٢١	٣٩,٥٨	٣٧,٥٣	٤٥,٢١	٣٩,٥٨
المساحات الخضراء	٣١,٦٧	٤٣,٧١	٣٧,٥٣	٣٧,٥٣	٤٦,٥٧	٣٩,٨١	٣٧,٥٣	٤٥,٢١	٣٩,٥٨	٣٧,٥٣	٤٥,٢١	٣٩,٥٨
الأرض الفضاء	٣٠,٠	٤١,٤٥	٣٨,٢٧	٣٨,٢٧	٤٥,٧١	٤٠,١	٣٤,٠٦	٤٣,٧١	٤٠,٩٩	٣٤,٤٥	٤٤,٣٤	٣٤,٩٣
المسطحات المائية	٣٤,٥٤	٣١,٦٥	٣٦,٤٤	٣٦,٤٤	٣١,٨٣	٣٦,١	٣٥,٨٣	٣٨,٠	٣٨,٧٥	٣٧,٢٥	٣٨,٨٤	٣٨,٨٤

المصدر: من إحصاء اليانحة اعتماداً على: عملية التحليل النطاقي Zonal Statistics باستخدام برنامج Arc GIS, 10.5
 حرارة سطح الأرض المحسوبة من مؤشرات لاندسات 8 OLI/TIRS and Landsat 7 ETM+ and Landsat 5 TM, Landsat

ديناميات الجزيرة الحرارية لمدينة سوهاج استجابة لتغير الغطاءات الأرضية خلال الفترة (١٩٩٠ - ٢٠٢١ م) باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية

٤.٢.٣ الخصائص الحرارية للأرض الفضاء والبور:

على الجانب الآخر تأتي الأراضي الفضاء والبور داخل مدينة سوهاج كأكثر الغطاءات الأرضية حرارة، حيث تحتل الترتيب الأول حراريًا، فقد بلغ متوسط درجة حرارتها (٣٨,٢٧ °س)، (٤٠,١ °س)، (٤٠,٩٩ °س)، (٣٤,٩٣ °س) خلال فترات الدراسة الأربعة ١٩٩٠، ٢٠٠٠، ٢٠١٠، ٢٠٢١ م على الترتيب. وعلى سبيل المثال بلغ متوسط درجة الحرارة في المناطق الفضاء البور نحو ٤٠,١ °س عام ٢٠١٠م، وهو أعلى من المتوسط الحراري للمناطق الحضرية بمقدار ٠,٢٩ °س، وهذه الحقيقة أكدتها العديد من الدراسات، على الرغم من وجود بعض النقاط الساخنة (بؤر ساخنة) في المناطق الحضرية قد تفوق درجة الحرارة في الأرض الفضاء البور في بعض الأحيان. وقد أبرز تمثيل النمط الزمني (١٩٩٠ - ٢٠٢١م)، لمتوسط درجة الحرارة لكل الغطاءات الأرضية كما في جدول (٧)، شكل (٥) أن الأراضي الفضاء والبور تستحوذ على أعلى متوسط لدرجة حرارة سطح الأرض خلال فترات الدراسة. ومن ناحية أخرى وجد أن متوسط درجة حرارة عمران المدينة منخفض نسبيًا مقارنة بالأرض الفضاء والبور. على العكس من ذلك أبرزت نتائج الدراسة أن أدنى متوسط لدرجة حرارة سطح الأرض سجل على المسطحات المائية^(٣) -نهر النيل- يليها المساحات الخضراء (المختللات الزراعية، الحدائق والمتزهات الحضرية، أشجار الشوارع). فقد ارتبطت أعلى درجات الحرارة بالمناطق العمرانية- باستثناء الأرض الفضاء والبور- وقد تراوحت قيم متوسطات درجة حرارة سطح الأرض للعمران نحو (٣٧,٥٣ °س)، (٣٩,٨١ °س)، (٣٩,٥٨ °س)، (٤٠,٦٥ °س) لأعوام ١٩٩٠، ٢٠٠٠، ٢٠١٠، ٢٠٢١ م على التوالي، بينما ارتبطت درجات الحرارة المنخفضة بالمسطحات المائية والمساحات الخضراء حيث سجل كلاهما قيم حرارية أقل من (٢٧ °س).

(٣) عادة ما تكون المسطحات المائية أقل الغطاءات الأرضية حرارة وأقلها عكسًا للإشعاع الشمسي، والسبب في ذلك يعود إلى استهلاك جزء كبير من الإشعاع الشمسي الممتص في تحويل المياه إلى بخار ماء، كذلك تتسم المياه بسطح مستو تمامًا؛ لذا فهي أكثر الغطاءات الأرضية تعرضًا لتشتيت الحرارة أفقيًا بفعل الرياح، ورأسياً نتيجة سرعة تسرب الإشعاع الأرضي (وليد عباس، ٢٠١٣).

ديناميات الجزيرة الحرارية لمدينة سوهاج استجابة لتغير الغطاءات الأرضية خلال الفترة (١٩٩٠ - ٢٠٢١ م) باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية

إجمالاً، تبين أنه في مرئية ١٩٩٠م وهي سنة الأساس في دراسة ديناميات التغير، أن متوسط درجة حرارة سطح الأرض سجلت نحو $34,54^{\circ}\text{C}$ ، بينما بلغت أكبر قيمة حرارية بمنطقة الدراسة خلال العام نفسه $43,71^{\circ}\text{C}$ ، وأدنى قيمة $23,68^{\circ}\text{C}$ ، وتعد هذه الفترة الأقل حراريًا من حيث أدنى وأعلى ومتوسط درجة حرارة سطح الأرض. وفي مرئية عام ٢٠٠٠م، ارتفع المؤشر الحراري في مدينة سوهاج ليسجل $36,51^{\circ}\text{C}$ ، بزيادة قدرها $1,97^{\circ}\text{C}$ عما كانت عليه في عام ١٩٩٠م، وبلغت أكبر قيمة لدرجة حرارة سطح الأرض $46,57^{\circ}\text{C}$ ، بفارق نحو $2,86^{\circ}\text{C}$ عن الفترة السابقة، وسجلت أقل قيمة $23,86^{\circ}\text{C}$.

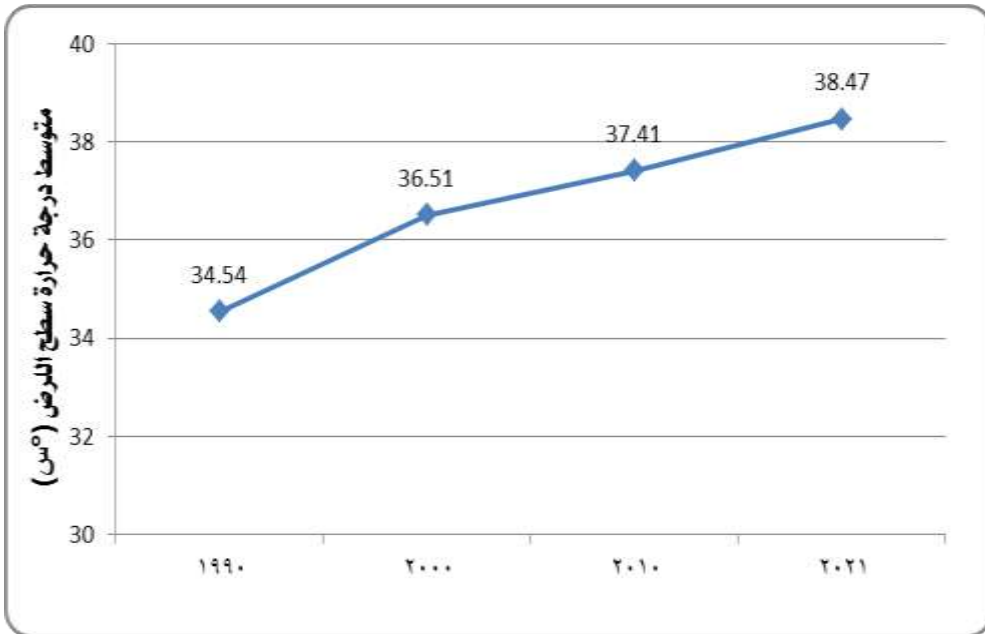
واستمر متوسط درجة حرارة سطح الأرض في الارتفاع خلال المرئية الفضائية المؤرخة في ٢٠١٠م، ليسجل $37,41^{\circ}\text{C}$ ، وبزيادة طفيفة قدرها $0,9^{\circ}\text{C}$ عن مرئية ٢٠٠٠م، وسجلت أكبر قيمة حرارية $45,2^{\circ}\text{C}$ ، وأدناها $25,83^{\circ}\text{C}$ ، وبانحراف معياري $4,67^{\circ}\text{C}$ س. ثم عاود المؤشر ليقفز مرة أخرى في مرئية عام ٢٠٢١م، فقد سجل متوسط درجة حرارة سطح الأرض في مدينة سوهاج $38,47^{\circ}\text{C}$ ، وبزيادة قدرها $1,06^{\circ}\text{C}$ عن مرئية عام ٢٠١٠م، بينما بلغت أكبر قيمة حرارية داخل مدينة سوهاج $44,95^{\circ}\text{C}$ ، وبلغت أقل قيمة $27,35^{\circ}\text{C}$ س. ونستنتج مما سبق أن درجة الحرارة استمرت في الزيادة خلال فترة الدراسة نتيجة الزيادة في مساحة المناطق العمرانية وتقلص المساحات الخضراء داخل المدينة كرد فعل للزحف العمراني عليها، فقد بلغت الزيادة في متوسط درجة حرارة سطح الأرض خلال الفترة من ١٩٩٠ وحتى ٢٠٢١م حوالي $3,89^{\circ}\text{C}$ س وبمعدل زيادة بلغ $0,13^{\circ}\text{C}/\text{س.عام}$.

ويتوافق الارتفاع المستمر في متوسط درجة حرارة سطح الأرض في مدينة سوهاج خلال فترة الدراسة مع ما توصلت إليه الدراسة من نتائج أعلاه تؤكد على أن منطقة الدراسة شهدت نموًا حضريًا هائلًا، وكذا حدث انخفاض كبير في الغطاء النباتي، كل ذلك كان من شأنه حدوث زيادة كبيرة في درجة حرارة سطح الأرض في منطقة الدراسة.

جدول (٧) درجة حرارة سطح الأرض °س في إجمالي مدينة سوهاج في الفترة من ١٩٩٠ - ٢٠٢١ م (نهاراً).

درجة حرارة سطح الأرض LST				
٢٠٢١ م	٢٠١٠ م	٢٠٠٠ م	١٩٩٠ م	تاريخ المرئية الفضائية
٢٧,٣٥	٢٥,٨٣	٢٣,٨٦	٢٣,٦٨	أقل قيمة
٤٤,٩٥	٤٥,٢	٤٦,٥٧	٤٣,٧١	أكبر قيمة
٣٨,٤٧	٣٧,٤١	٣٦,٥١	٣٤,٥٤	المتوسط
٤,٤٧	٤,٦٧	٥,٣٦	٤,٦١	الانحراف المعياري
١٩٩٠ - ٢٠٢١ م	٢٠١٠ - ٢٠٢١ م	٢٠٠٠ - ٢٠١٠ م	١٩٩٠ - ٢٠٠٠ م	الزيادة في متوسط درجة حرارة سطح الأرض
٣,٨٧ °س	١,٠٢ °س	٠,٩ °س	١,٩٧ °س	

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على عملية التحليل النطاقي Zonal Statistics as Table باستخدام برنامج Arc GIS, 10.5 لدرجة حرارة سطح الأرض المحسوبة من مرئيات 5, 7, 8 Landsat.



شكل (٥) ديناميات التغير في متوسط درجة حرارة سطح الأرض في مدينة سوهاج في الفترة (١٩٩٠ - ٢٠٢١ م)

٣.٣ ديناميات شدة الجزيرة الحرارية الحضرية السطحية (نهاراً).

في الأدبيات المناخية، تم تحديد درجة حرارة سطح الأرض كواحدة من أهم العوامل التي يمكن أن تؤثر على ظاهرة الجزيرة الحرارية الحضرية (Song, J., et al., 2014) (Zhou, W., et al., 2011) واستخدمت بيانات درجة حرارة سطح الأرض على نطاق واسع في أبحاث ودراسات الجزيرة الحرارية، وعادة ما يتم الحصول عليها من بيانات الاستشعار عن بعد، والتي تعد مصدراً فريداً للمعلومات لتحديد شدة الجزيرة الحرارية الحضرية السطحية (°C) Surface Urban Heat Islands Intensity.

وقد أعاد التوسع الحضري تشكيل تدفقات الحرارة المحلية في المناطق الحضرية، وبالتالي أدى إلى وجود تباينات كبيرة في درجة الحرارة بين المنطقة الحضرية والمنطقة الريفية المحيطة بها، والتي تعرف بظاهرة الجزيرة الحرارية الحضرية (Kim & Brown, 2021). تسببت هذه الظاهرة في حدوث بعض المشكلات للمناخ المحلي الحضري، والتي يمكن أن تكون ضارة بصحة الإنسان (Macintyre et al., 2021)، ونتاجية العمل (Matsumoto, 2019)، والتنوع البيولوجي (Peng et al., 2016). حيث يعاني في الوقت الحالي نحو ٦٥% من سكان الحضر في العالم من تأثير الجزيرة الحرارية، مما سيكون له تأثيرات كبيرة على التنمية الاقتصادية المحلية (Estrada et al., 2017). لذلك، سيواجه سكان الحضر مخاطر حرارية أكثر خطورة في المستقبل القريب، مع الأخذ في الاعتبار استمرار التوسع الحضري وزيادة النمو السكاني وتغير المناخ؛ ومن ثم، فمن الأهمية بمكان زيادة التركيز على تأثير الجزيرة الحرارية الحضرية والتوصل إلى طرق فعالة للتخفيف منها في المستقبل.

وقد ميز (Kim, Y. & Baik, J., 2005)، بين شدة الجزيرة الحرارية القصوي Maximum UHI Intensity، وشدة الجزيرة الحرارية الكلية Overall UHI Intensity. فالأولى تشير إلى الفارق بين أعلى محطات المدينة حرارة وبين متوسط درجة حرارة محطات الضواحي، أو كما عرفها (Atkinson, B.W., 2003). بأنها أكبر فارق بين درجة حرارة المدينة ودرجة حرارة الريف المتاحم. كما استُخدمت للإشارة إلى أعلى فارق

حراري بين المدينة والمناطق المحيطة علي مدار اليوم (Jongtanom, Y. et al., 2011). بينما يقصد بشدة الجزيرة الحرارية الكلية الفارق الحراري بين متوسط درجة الحرارة لكل من محطات المدينة ومحطات ضواحيها.

وهناك عدد من الدراسات المنشورة تناولت شدة الجزيرة الحرارية وتغيرها في عدد من مدن العالم ومنها على سبيل المثال لا الحصر، مدينة دلهي Delhi، كولمبو Colombo، دكا Dhaka، كابول Kabul، كراتشي Karachi، تيمفو Thimphu (جميعا بجنوب آسيا) (Hassan, T., et al., 2021)، وكذا مدينة القاهرة (Effat, H. A., & Hassan, O. A. K., 2014)، وكذا مدينة مومباي Mumbai بالهند (Rihan, M., et al., 2021). وتُعد دراسة (وليد عباس، ٢٠١٣م)، عن درجة الحرارة في مجمع القاهرة الحضري من الدراسات الرائدة، حيث تُعد من أولى الدراسات العربية التي تناولت شدة الجزيرة الحرارية الحضرية، وبمقارنة النتائج التي توصلت إليها الدراسة الأخيرة مع نتائج الدراسة الحالية اتسمت شدتها الكلية بالنسبة للظهير الزراعي خلال فصل الصيف بنحو $4,7^{\circ}\text{C}$ ، أي تزيد عن المتوسط العام لمدينة سوهاج بنحو $1,92^{\circ}\text{C}$ ، وربما يُعزي هذا الفارق الحراري بين المدينتين إلى عدد من المتغيرات السكانية، والاقتصادية، بالإضافة إلى الكثافة البنائية، وحجم المدينة. وتتشابه نسبياً مع دراسة (وائل زهران، ٢٠١٨م) لمدينة أسيوط، حيث بلغت شدة الجزيرة الحرارية الكلية بالنسبة للظهير الزراعي المتاخم للمدينة خلال فصل الصيف نحو $4,13^{\circ}\text{C}$.

ومن القراءة التحليلية لشكل (٦، ٧)، وجدول (٨)، الذي يوضح التوزيع الزمني والمكاني لشدة الجزيرة الحرارية الحضرية السطحية ($^{\circ}\text{C}$) في مدينة سوهاج والمناطق المتاخمة لها؛ وذلك اعتماداً على عملية المعايرة الراديومترية Radiometric Calibration للنطاقات الحرارية في مرئيات Landsat-5 TM, Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 الممثلة لفصل الصيف نهاراً، حيث يتبين الآتي:

سجلت شدة الجزيرة الحرارية الحضرية السطحية Intensity SUHI بالمدينة في مرئية ١٩٩٠م نحو $2,03^{\circ}\text{C}$ ، حيث بلغ متوسط درجة حرارة سطح الأرض في

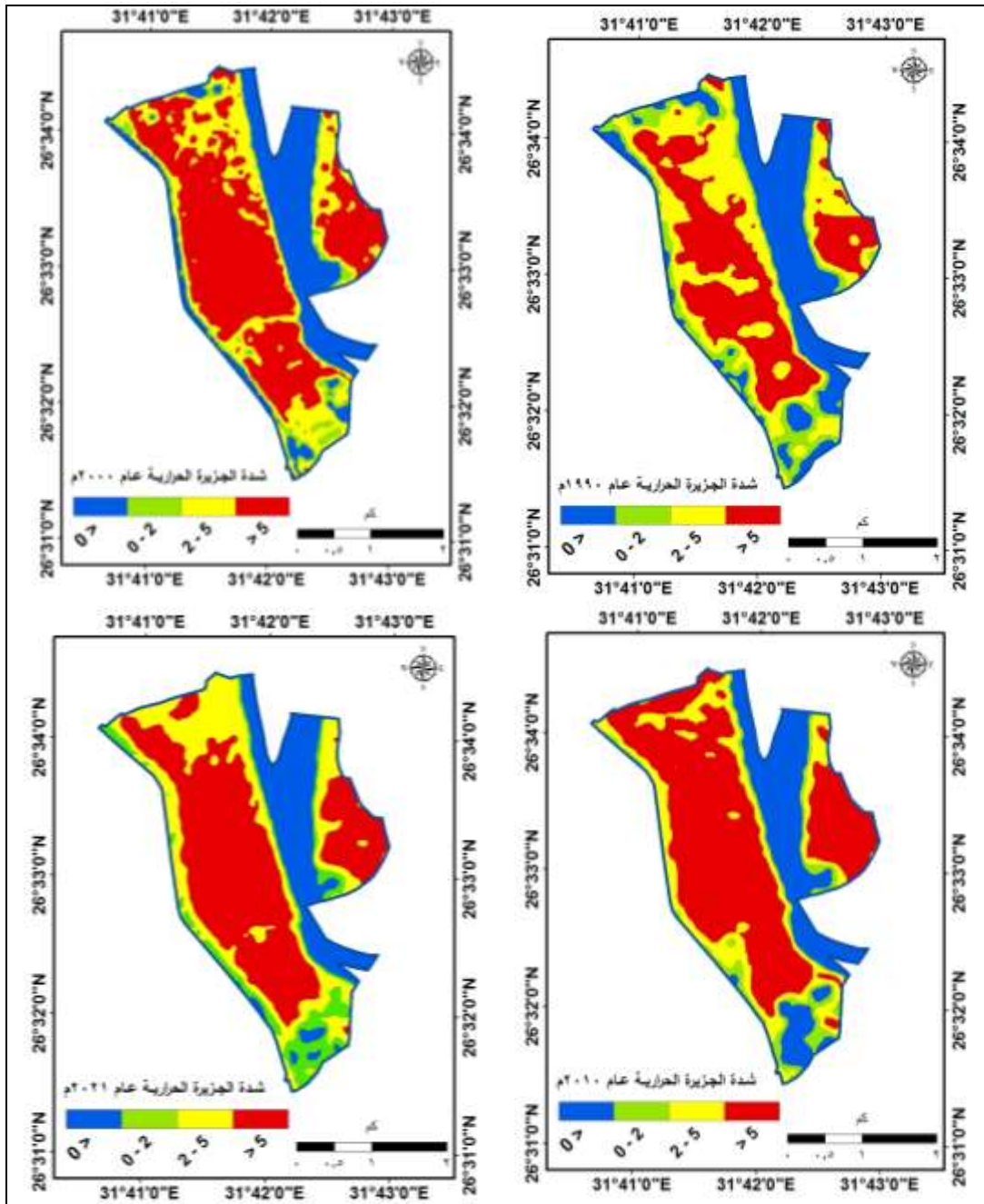
ديناميات الجزيرة الحرارية لمدينة سوهاج استجابة لتغير الغطاءات الأرضية خلال الفترة (١٩٩٠ - ٢٠٢١ م) باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية

عمران المدينة $34,54^{\circ}$ س، ويقل هذا المتوسط الحراري في المناطق الزراعية المتاخمة إلى $32,51^{\circ}$ س - بمعنى آخر - أن المناطق الحضرية أكثر دفئاً من المناطق الريفية بمقدار $2,03^{\circ}$ س تقريباً، حيث يصل الفارق الحراري بين المتوسطين إلى $2,03^{\circ}$ س.

في حين تبين من تحليل المرئية الفضائية لعام ٢٠٠٠م، أن شدة الجزيرة الحرارية الكلية بالنسبة للظهير الزراعي المتاخم سجلت $2,68^{\circ}$ س - بمعنى آخر - يمثل عمران مدينة سوهاج جزيرة حرارية بالنسبة للظهير الزراعي المتاخم بقوة كلية بلغت $2,68^{\circ}$ س، فقد سجل متوسط درجة حرارة سطح الأرض في عمران المدينة نحو $36,51^{\circ}$ س، ونحو $33,83^{\circ}$ س في النطاق المتاخم (الظهير الزراعي)، وبهذا يمكن القول أن شدة الجزيرة الحرارية الكلية بمنطقة الدراسة خلال مرئية عام ٢٠٠٠م أقوى من شدتها في مرئية ١٩٩٠م، بفارق حراري بلغ $0,65^{\circ}$ س.

واستمر مؤشر شدة الجزيرة الحرارية في الارتفاع خلال عام ٢٠١٠م، ليقفز المؤشر إلى $3,48^{\circ}$ س، حيث بلغ متوسط درجة الحرارة في عمران المدينة $37,41^{\circ}$ س، وسجل نحو $33,93^{\circ}$ س في الظهير الزراعي المتاخم، ثم حدث انخفاض نسبي في شدة الجزيرة الحرارية لتسجل $2,91^{\circ}$ س خلال عام ٢٠٢١م. حيث بلغت درجة حرارة سطح الأرض في النطاق العمراني للمدينة $38,47^{\circ}$ س، وانخفضت إلى $35,56^{\circ}$ س في الظهير الزراعي المحيط بالمدينة، ولوحظ من التحليل السابق للمرئيات الفضائية التي توضح توزيع درجة حرارة سطح الأرض أن الجزيرة الحرارية انتقلت (زحفت) تدريجياً من المناطق الحضرية إلى النطاق المتاخم كنتيجة للزحف العمراني.

إجمالاً، تبين أن أقل شدة سجلت للجزيرة الحرارية بلغت $2,03^{\circ}$ س خلال عام ١٩٩٠م، وأن أعلى شدة حرارية بلغت $3,48^{\circ}$ س عام ٢٠١٠م، وبذلك بلغ متوسط شدة الجزيرة الحرارية لعمران المدينة بالنسبة للظهير الزراعي خلال الفترة ١٩٩٠ - ٢٠٢١م، حوالي $2,78^{\circ}$ س.



المصدر: من إعداد الطالب اعتماداً على صور القمر الصناعي Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI/ TIRS، وكذا المعايرة الراديومترية للقناة الحرارية، باستخدام برنامجي Arc GIS, 10.5, ERDAS Imagine, 2014.

شكل (٦) التباينات المكانية والزمانية لشدة الجزيرة الحرارية السطحية في مدينة سوهاج في الفترة

من ١٩٩٠ - ٢٠٢١م

ديناميات الجزيرة الحرارية لمدينة سوهاج استجابة لتغير الغطاءات الأرضية خلال الفترة (١٩٩٠ - ٢٠٢١ م) باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية

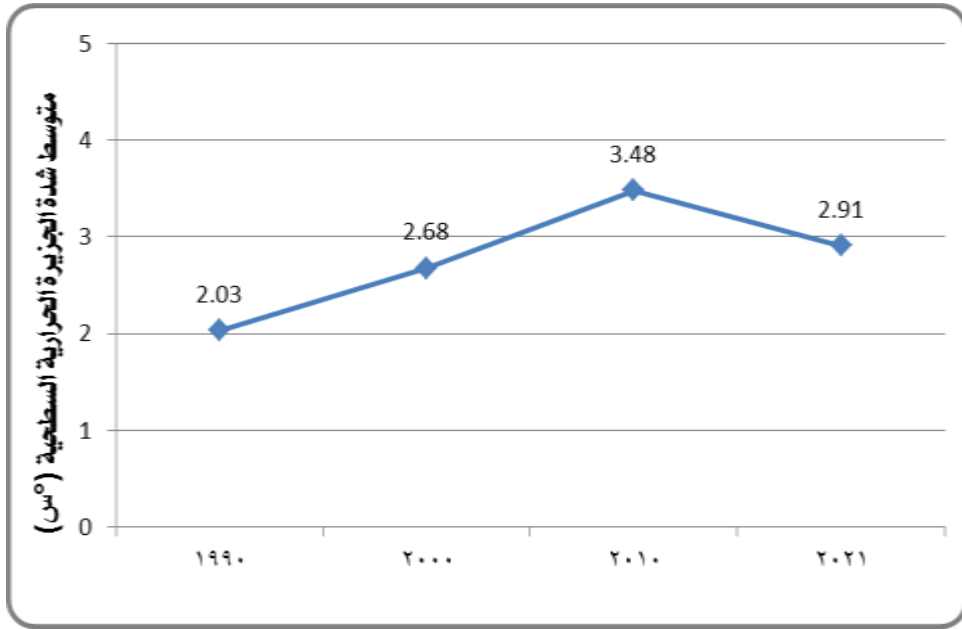
وتجدر الإشارة إلى أنه يُعزى نمو أو نشأة الجزر الحرارية بصفة عامة إلى عدد من العوامل منها، السعة الحرارية العالية Capacity High Heat لمواد البناء وانخفاض الإشعاع المنعكس من المواد الأسفلتية والخرسانية، وانخفاض الفقد الحراري الإشعاعي نتيجة هندسة تصميم الشوارع الضيقة، وكذا انخفاض فقدان الحرارة الكامنة عن طريق التبخر نتيجة لاستبدال الأسطح الخضراء الطبيعية Natural Green Surfaces ليحل محلها الأسطح غير المنفذة، وكذا زيادة الانبعاثات الحرارية من المصادر البشرية Anthropogenic Heat Emissions في الغلاف الجوي بالمناطق الحضرية (Stathopoulou, M., & Cartalis, C., 2007).

ويمكن تفسير الاتجاه المتزايد في شدة أو قوة الجزيرة الحرارية السطحية SUHI intensity إلى التحضر، حيث يُعد التحضر السبب الرئيسي لارتفاع درجة حرارة سطح الأرض، وبالتالي يؤدي إلى زيادة شدة الجزيرة الحرارية، في حين أن الزيادة في الغطاء النباتي Vegetation Cover عن طريق التخطيط وزيادة البنية التحتية الخضراء في البيئات الحضرية يؤدي إلى التخفيف من شدة الجزيرة الحرارية الحضرية.

جدول (٨) شدة الجزيرة الحرارية الحضرية السطحية (°س) في مدينة سوهاج في الفترة من ١٩٩٠-٢٠٢١م

UHI Intensity (°C)	متوسط درجة حرارة الظهير الزراعي للمدينة	متوسط درجة حرارة سطح الأرض في عمران المدينة	تاريخ المرئية الفضائية
٢,٠٣	٣٢,٥١	٣٤,٥٤	م١٩٩٠
٢,٦٨	٣٣,٨٣	٣٦,٥١	م٢٠٠٠
٣,٤٨	٣٣,٩٣	٣٧,٤١	م٢٠١٠
٢,٩١	٣٥,٥٦	٣٨,٤٧	م٢٠٢١
٢,٧٨	٣٣,٩٥	٣٦,٧٣	المتوسط

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على عملية التحليل النطاقي Zonal Statistics as Table باستخدام برنامج Arc GIS, 10.5 لدرجة حرارة سطح الأرض LST المحسوبة من صور القمر الصناعي Landsat- 5 TM, Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI/ TIRS



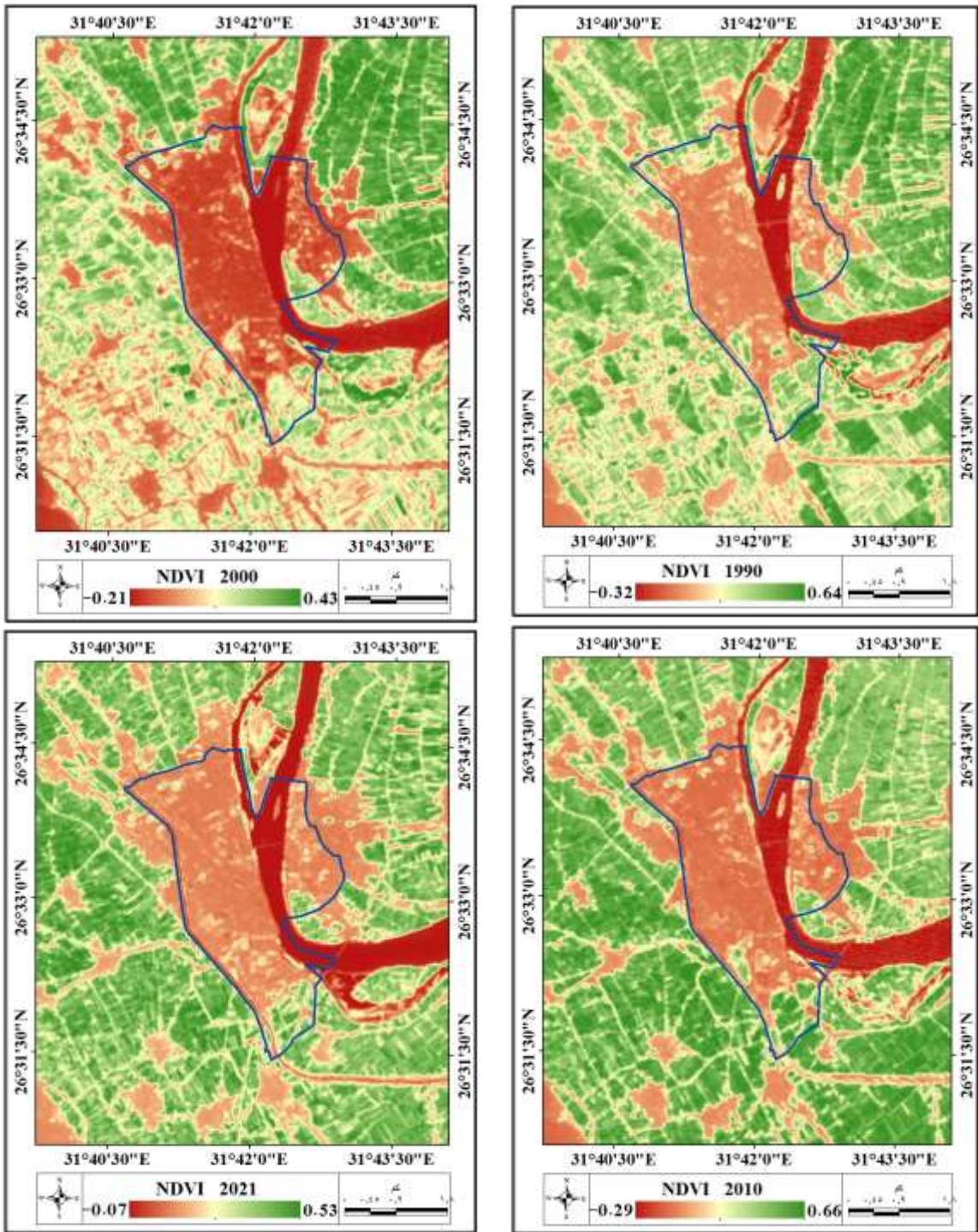
شكل (٧) اتجاه التغير في متوسط شدة الجزيرة الحرارية الحضرية في مدينة سوهاج في الفترة من ١٩٩٠ - ٢٠٢١ م.

وتعتبر الجزيرة الحرارية في مدينة سوهاج وتغيراتها مكانياً وزمانياً نتاج عدة متغيرات مكانية أهمها النهضة التنموية والصناعة والعمرانية التي شهدتها المدينة، وما رافقها من نمو حضري وتوسع حركة وسائل النقل مما عزز من تراكم الملوثات في الغلاف الجوي، وتغير أغطية الأرض الطبيعية التي كانت تشكل تبريداً طبيعياً للمدينة، وأدى التطور الحضري في مدينة سوهاج إلى اتساع مساحة الجزيرة الحرارية وتمدها وتغيرها بين فترة زمنية وأخرى. حيث يرافق استبدال الغطاءات الأرضية الطبيعية مثل الغطاء النباتي، والمياه، والتي كانت عبارة عن أسطح منفذة، وذات رطوبة، بالمنشآت السكنية والصناعية الخرسانية والطرق الأسفلتية والبنية التحتية، الأمر الذي ساهم في زيادة امتصاص أشعة الشمس في الأسطح الحضرية خلال النهار أكثر من الغطاءات الأرضية الطبيعية، ونتيجة لذلك ستكون درجات الحرارة في المناطق الحضرية أعلى مقارنة بالمناطق الريفية المحيطة.

ديناميات الجزيرة الحرارية لمدينة سوهاج استجابة لتغير الغطاءات الأرضية خلال الفترة (١٩٩٠ - ٢٠٢١ م) باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية

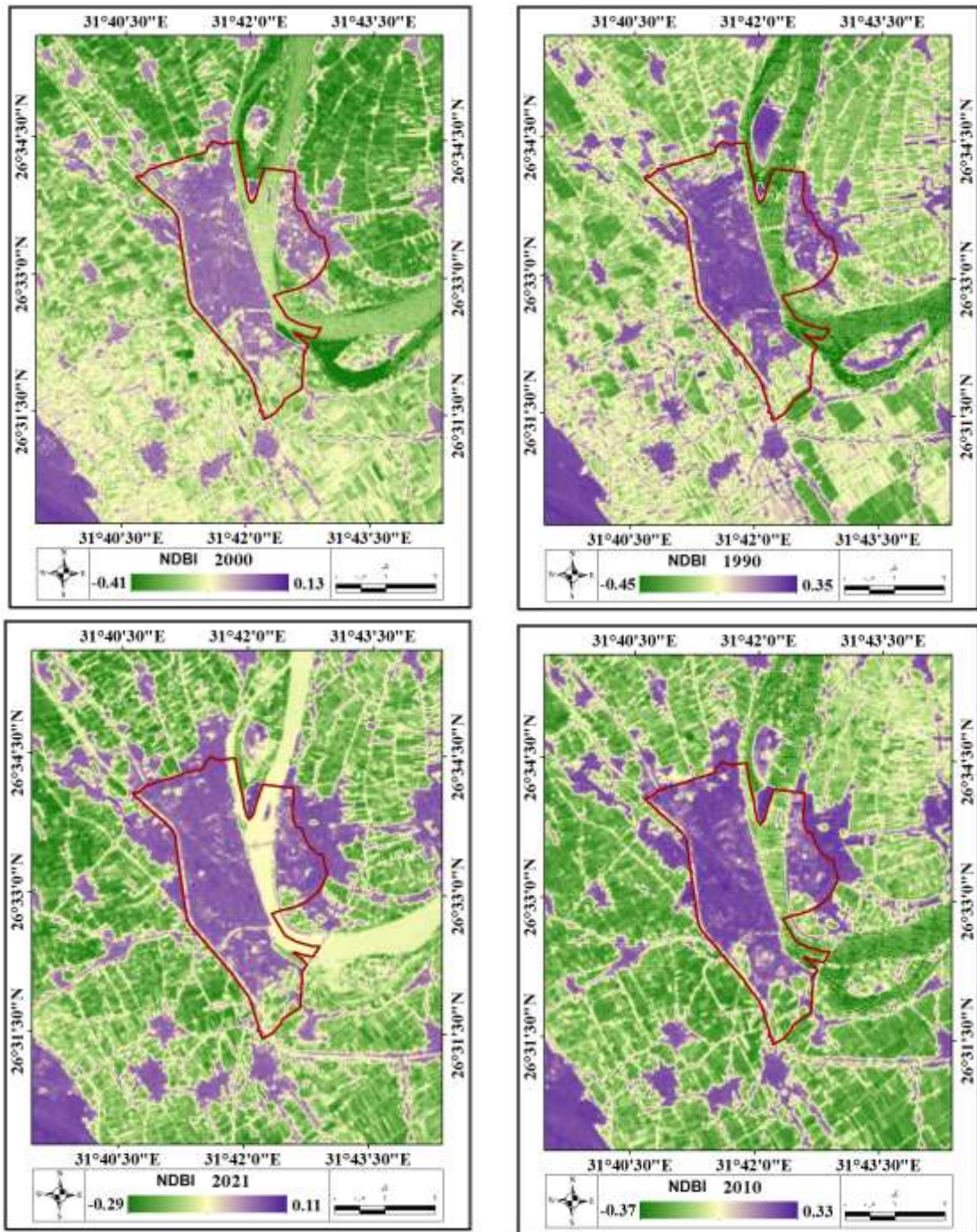
٤.٣ الارتباط بين درجة حرارة سطح الأرض وبعض مؤشرات الغطاءات الأرضية في مدينة سوهاج.

ومن أجل تقييم الارتباط بين تغير الغطاءات الأرضية الرئيسية LU/LC وديناميات درجة حرارة سطح الأرض، تم حساب ثلاثة مؤشرات للغطاءات الأرضية في مدينة سوهاج، وهما أبرز أنواع الغطاءات الأرضية الرئيسية، وهما المساحات الخضراء Vegetation Cover، والمنطقة المبنية Built-up area، والمسطحات المائية، ومن ثم تم حساب ثلاثة مؤشرات للغطاءات الأرضية، أي مؤشر NDVI للغطاء النباتي، NDBI للأسطح المبنية، NDWI للمسطحات المائية كما في شكل (٨، ٩، ١٠)، ثم تم اختيار ٥٠ موقعًا عشوائيًا من كل مؤشرات استخدام الأرض ليغطي كل فئات الغطاءات الأرضية الرئيسية. علاوة على ذلك تم اختيار ٥٠ نقطة من المواقع المماثلة من خرائط درجة حرارة سطح الأرض، ثم أعقب ذلك حساب الانحدار الخطي بين مؤشرات استخدام الأرض ودرجة حرارة سطح الأرض.

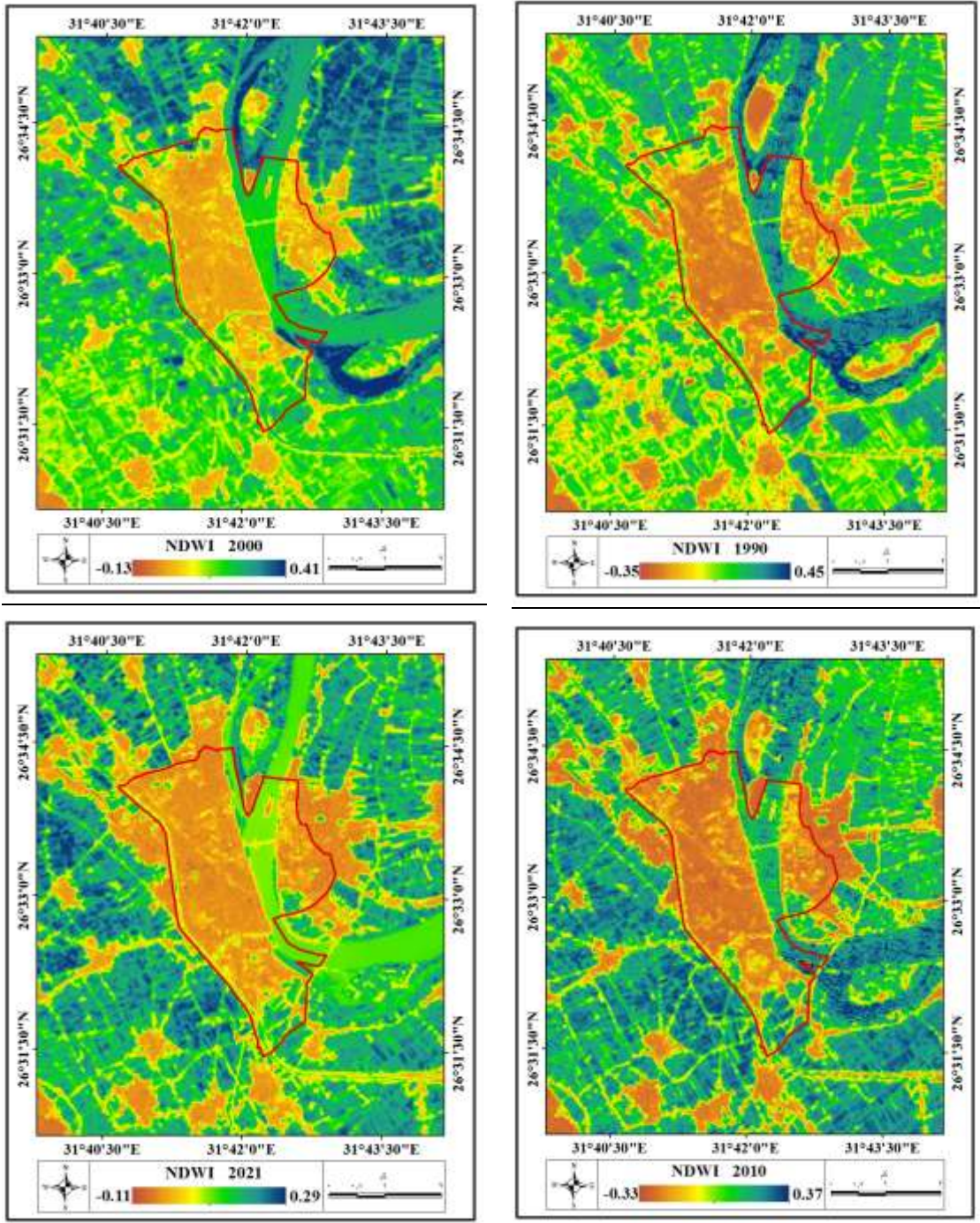


شكل (٨) التغير في مؤشر التباين النباتي النسبي NDVI في مدينة سوهاج والنطاق المتاخم لها في الفترة ١٩٩٠ - ٢٠٢١م.

ديناميات الجزيرة الحرارية لمدينة سوهاج استجابة لتغير الغطاءات الأرضية خلال الفترة (١٩٩٠ – ٢٠٢١ م) باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية



شكل (٩) التغير في مؤشر التباين النسبي للكتلة المبنية NDBI في مدينة سوهاج والنطاق المتاخم لها في الفترة ١٩٩٠ – ٢٠٢١ م.



شكل (١٠) التغير في مؤشر التباين النسبي للمياه NDWI في مدينة سوهاج والنطاق المتاخم لها في الفترة ١٩٩٠ - ٢٠٢١م.

وتجدر الإشارة إلى أن العلاقة بين درجة حرارة سطح الأرض، والغطاء النباتي قدر درست من قبل (Weng, Q., et al., 2004)، (Carlson, T. N., & Arthur, S. T., 2000)، (Owen, T. W., et al., 1998). وقد ركز (Weng, Q., et al., 2004)، علي دراسة نسبة الغطاء النباتي Vegetation Fraction كمؤشر علي وفرة الغطاء النباتي، وتبين من دراسته أن وفرة الغطاء النباتي هي واحدة من أهم العوامل الأكثر تأثيراً في التحكم في درجة حرارة سطح الأرض حيث ترتبط نسبة الغطاء النباتي بعلاقة قوية ولكنها سلبية مع درجة حرارة سطح الأرض.

وخلصت دراسة (Babalola, O. S., & Akinsanola, A. A., 2016)، إلى أن التغيرات التي حدثت في الغطاء الأرضي لمدينة لاجوس Lagos، في نيجيريا خلال الفترة من ١٩٨٤ - ٢٠١٣م، ساهمت في حدوث تغير في المناخ التفصيلي، وأثرت علي شدة الجزيرة الحرارية، كما كشفت الدراسة أيضاً عن أن مناطق العمران والأرض الفضاء والتربة الجافة الفضاء ترتبط ارتباطاً ايجابياً مع درجة حرارة سطح الأرض، بمعامل ارتباط (٠,٨)، بينما المسطحات المائية، والمساحات الخضراء ذات معامل ارتباط قوي، ولكنه سلبي حيث تتخفض درجات الحرارة بها، وكذا أظهرت دراسة (Umar, U. M., & Kumar, J. S., 2014) أن شدة الجزيرة الحرارية زادت بشكل ملحوظ في بلدة كانو Kano بنيجيريا، نتيجة الزيادة السريعة في الغطاءات الأرضية.

وللتحضر أثر مهم علي تغير المناخ، حيث تشهد مدينة سوهاج تحضراً سريعاً مما كان له أثر على نشأة الجزيرة الحرارية. وقد استخدم المنهج الكمي لاكتشاف العلاقة بين درجة حرارة سطح الأرض وبعض مؤشرات استخدام الأرض، وباستخدام أداة Band Collection Statistics في المحلل المكاني Spatial Analyst Tools لبرنامج Arc GIS 10.1، تم إجراء الارتباط بين مرتبات درجة حرارة سطح الأرض من جانب، ومؤشر التباين النباتي النسبي NDVI، ومؤشر التباين النسبي للمناطق المبنية NDBI، ومؤشر التباين النسبي للمياه NDWI.

وأبرزت نتائج التحليل الإحصائي كما يوضحها جدول (٩)، العلاقة بين درجة حرارة سطح الأرض من ناحية، ومؤشرات الغطاءات الأرضية من ناحية أخرى، في المرئيات الفضائية الخاصة بفترة الدراسة، وتبين أن هناك ارتباطاً قوياً ولكنه عكسي (سلبياً)، بين درجة حرارة سطح الأرض، ومؤشر NDVI بمعامل ارتباط بلغ (- ٠,٦٥)، بين درجة حرارة سطح الأرض، ومؤشر NDVI بمعامل ارتباط بلغ (- ٠,٦٥ / - ٠,٧١ / - ٠,٧٥ / - ٠,٦٠) لسنوات الدراسة (١٩٩٠، ٢٠٠٠، ٢٠١٠، ٢٠٢١م) على الترتيب، حيث إن المناطق ذات الغطاء النباتي الكثيف أقل حرارة، بينما تقع معظم البقع الساخنة Hot Spots على الطرق المعبدة وكتل المباني، فكلما زادت قيم مؤشر التباين النسبي رافق ذلك انخفاض في درجات الحرارة والعكس صحيح، وسبب ذلك الارتباط يرجع إلى وفرة الغطاء النباتي حيث تُعد النباتات من أهم العوامل المتحكمة في درجات الحرارة، وبمعنى آخر أن زيادة الغطاء النباتي يشير إلى انخفاض في درجة حرارة سطح الأرض، والعكس يشير انخفاض الغطاء النباتي إلى زيادة في درجة حرارة سطح الأرض (LST)، وتبين أن مؤشر التباين النباتي النسبي يتحكم في درجة حرارة سطح الأرض صعوداً وهبوطاً، بمعامل تحديد بلغ (٠,٩٨).

جدول (٩) الارتباط بين مؤشرات استخدام الأرض (المتغيرات المستقلة)، ودرجة حرارة سطح الأرض (المتغير التابع) في مدينة سوهاج والنطاق المتاخم خلال الفترة من ١٩٩٠ - ٢٠٢١م.

درجة حرارة سطح الأرض LST					--
المتوسط	٢٠٢١م	٢٠١٠م	٢٠٠٠م	١٩٩٠م	--
-٠,٦٨	-٠,٦٠	-٠,٧٥	-٠,٧١	-٠,٦٥	NDVI
٠,٨٨	٠,٨٣	٠,٩١	٠,٨٩	٠,٩٠	NDBI
-٠,٨٨	-٠,٨٣	-٠,٩١	-٠,٨٩	-٠,٩٠	NDWI

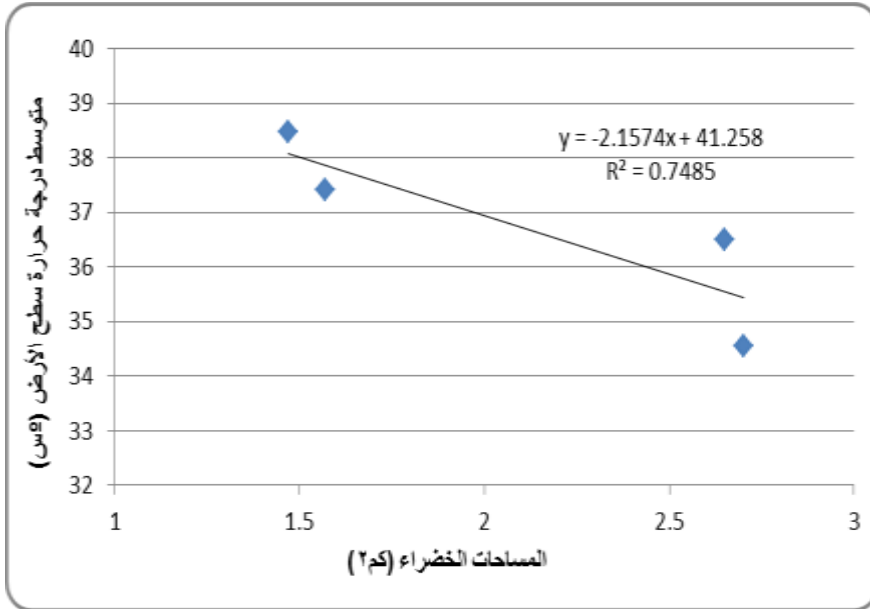
ديناميات الجزيرة الحرارية لمدينة سوهاج استجابة لتغير الغطاءات الأرضية خلال الفترة (١٩٩٠ - ٢٠٢١ م) باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية

يُظهر تحليل مؤشر التباين النسبي للنباتات NDVI أنه في عام ١٩٩٠م، كانت كثافة الغطاء النباتي مرتفعة (٠,٢٢) في الأجزاء الشمالية والجنوبية والغربية من المدينة وكذلك في بعض الأجزاء من شرق المدينة. بينما في عام ٢٠٢١م، انخفض كثافة الغطاء النباتي إلى نحو (٠,١٨) في نفس المناطق السابق ذكرها. ومما يؤكد ذلك لوحظ انخفاض الغطاء النباتي وأنواع أخرى من الغطاء الأرضي الطبيعي في العديد من مدن العالم النامي مثل مدينة إسلام آباد - باكستان (Sadiq Khan, M., et al., 2020)، والقاهرة الكبرى - مصر (Salem, M., et al., 2020).

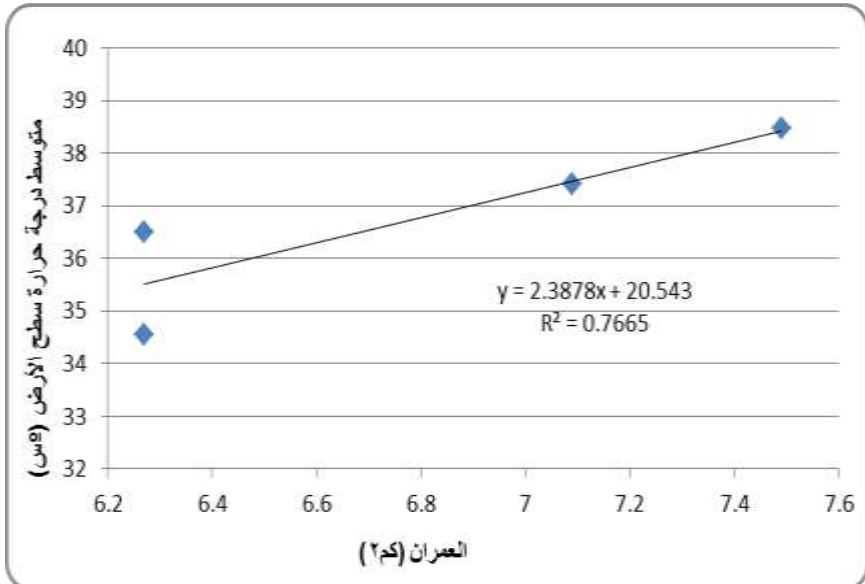
ومن ناحية أخرى تبين أن هناك ارتباطاً بين مؤشر التباين النسبي للكثلة المبنية NDBI ودرجة حرارة سطح الأرض، حيث تبدو العلاقة طردية شديدة الوضوح، بدرجة ارتباط بلغت (٠,٩٠)، (٠,٨٩)، (٠,٩١)، (٠,٨٣) خلال فترات الدراسة ١٩٩٠، ٢٠٠٠، ٢٠١٠، ٢٠٢١م على الترتيب، فكلما زادت قيمة المؤشر دل ذلك على ارتفاع درجة حرارة سطح الأرض، ويؤكد ذلك الارتباط على العلاقة بين المتغيرين وبيبرزها بشكل كمي دقيق.

يُظهر مؤشر التباين النسبي للكثلة المبنية NDBI أنه في عام ١٩٩٠م، كانت الكثافة العمرانية منخفضة (٠,٠٦) في الأجزاء الجنوبية والشمالية من المدينة، علاوة على ذلك، تركزت المناطق الكثيفة عالية البناء بوسط المدينة، بينما ارتفع مؤشر الكثلة المبنية NDBI إلى (٠,١٢) في عام ٢٠٢١م، حيث زادت الكثافة العمرانية وزحفت من قلب المدينة باتجاه أطرافها الشمالية والجنوبية والغربية.

كما أبرزت نتائج التحليل الإحصائي وفقاً لجدول (٩)، وجود علاقة عكسية قوية جداً بين مؤشر التباين النسبي للمياه NDWI ودرجة حرارة سطح الأرض، حيث بلغ (-٠,٩٠)، (-٠,٨٩)، (-٠,٩١)، (-٠,٨٣) لفترات الدراسة الأربعة على الترتيب، أي أن درجة حرارة سطح الأرض تزداد مع انخفاض قيم مؤشر التباين النسبي للمياه، وتقل بارتفاع قيم المؤشر.



شكل (١١) تحليل الانحدار الخطي بين التغير في المساحات الخضراء (كم²) ومتوسط درجة حرارة سطح الأرض (س°) خلال الفترة من ١٩٩٠ – ٢٠٢١م في مدينة سوهاج.



شكل (١٢) تحليل الانحدار الخطي بين التغير في مساحة العمران (كم²) ومتوسط درجة حرارة سطح الأرض (س°) خلال الفترة من ١٩٩٠ – ٢٠٢١م في مدينة سوهاج.

ديناميات الجزيرة الحرارية لمدينة سوهاج استجابة لتغير الغطاءات الأرضية خلال الفترة (١٩٩٠ - ٢٠٢١ م) باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية

وقد أبرزت نتائج التحليل الإحصائي كما في شكل (١١)، (١٢)، وجود ارتباطاً طردياً قوياً بين التغير في مساحة العمران، ومتوسط درجة حرارة سطح الأرض بمعامل ارتباط بلغ (٠,٨٨)، حيث تزداد درجة حرارة سطح الأرض كلما زادت مساحة الكتلة العمرانية، وهذه العلاقة ذات دلالة إحصائية عند مستوى معنوية أقل من ٠,٠٥، وهذا يعني أنه كلما زادت مساحة العمران، رافق ذلك زيادة في متوسط درجة حرارة سطح الأرض. وكذلك وجد ارتباطاً عكسياً قوياً بين المساحات الخضراء ومتوسط درجة حرارة سطح الأرض في منطقة الدراسة، بمعامل ارتباط بلغ (-٠,٨٧)، وهذا يعني أنه كلما انخفضت (تناقصت) المساحات الخضراء، ترتب على ذلك حدوث ارتفاع في متوسط درجة حرارة سطح الأرض.

٤. الاستنتاجات والتوصيات:

- ١- أدى التحضر السريع والتغيرات التي حدثت في الغطاءات الأرضية الرئيسية إلى النمو غير المخطط وغير المستدام في مدينة سوهاج. وقد أدى ذلك إلى ظهور عدد من القضايا البيئية مثل زيادة شدة الجزيرة الحرارية، لذلك، تم تصميم هذه الدراسة لنمذجة وقياس ديناميات الجزيرة الحرارية الحضرية لمدينة سوهاج كاستجابة لتغير الغطاءات الأرضية الرئيسية خلال الفترة ١٩٩٠ - ٢٠٢١م.
- ٢- نمو المناطق الحضرية له تأثير كبير على استخدام الأرض من خلال استبدال المساحات الخضراء بالمناطق السكنية والتجارية والبنية التحتية المرتبطة بها؛ ويؤدي هذا إلى زيادة درجة حرارة سطح الأرض (LST) وقد أثبتت الدراسة حدوث نمو عمراني كبير في مدينة سوهاج خلال فترة الدراسة.
- ٣- أظهرت الدراسة أن التغطية المكانية للكثلة العمرانية في مدينة سوهاج قد زادت بصورة كبيرة، حيث زادت الأسطح المبنية من ٥٩,٩٪ عام ١٩٩٠ إلى ٧١,٥٩٪ عام ٢٠٢١م من جملة مساحة منطقة الدراسة. نتيجة لذلك لوحظت زيادة كبيرة في شدة (قوة) الجزيرة الحرارية السطحية.
- ٤- كشفت نتائج الدراسة عن أن نسبة المساحات الخضراء كانت أكثر من ٢٥,٨٪ في عام ١٩٩٠م، ثم انخفضت إلى حوالي ١٤,٠٤٪ في عام ٢٠٢١م من إجمالي مساحة منطقة الدراسة. وقد أدى هذا إلى تغيير كبير في البيئة الحرارية لمدينة سوهاج، فقد ارتفع متوسط درجة حرارة سطح الأرض من ٣٤,٥٤°س عام ١٩٩٠م إلى ٣٨,٤٧°س عام ٢٠٢١م، بإجمالي زيادة مقدارها ٣,٨٩°س.
- ٥- أبرزت نتائج الدراسة أنه تم استبدال ما يقرب من نصف مساحة المساحات الخضراء بالأسطح المبنية غير المنفذة خلال الفترة ١٩٩٠ - ٢٠٢١م في منطقة الدراسة. ويعزى سبب هذا الاستبدال إلي التدفق الهائل للهجرة من الريف إلى المدينة، إلى جانب النمو الصناعي، والإنشاءات الجديدة للمشاريع التنموية وشبكة النقل.

ديناميات الجزيرة الحرارية لمدينة سوهاج استجابة لتغير الغطاءات الأرضية خلال الفترة (١٩٩٠ - ٢٠٢١ م) باستخدام تقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية

٦- بلغ متوسط شدة الجزيرة الحرارية الحضرية النهارية UHI Intensity بالنسبة للظهر الزراعي في مدينة سوهاج نحو (٢,٠٣[°]س)، (٢,٦٨[°]س)، (٣,٤٨[°]س)، (٢,٩١[°]س) خلال أعوام ١٩٩٠، ٢٠٠٠، ٢٠١٠، ٢٠٢١ م على الترتيب.

٧- لوحظ حدوث تغيير واضح في نمط الغطاءات الأرضية لمدينة سوهاج في الفترة من ١٩٩٠ - ٢٠٢١ م، مما أثر على الديناميات الزمانية والمكانية لظاهرة الجزيرة الحرارية في المدينة.

٨- أظهر تحليل الارتباط أن مؤشر التباين النسبي للكثافة المبنية NDBI يرتبط بعلاقة إيجابية مع درجة حرارة سطح الأرض، وبمعامل ارتباط بلغ (٠,٨٨)، بينما يرتبط مؤشري التباين النباتي النسبي NDVI، والتباين النسبي للمياه NDWI بعلاقة سلبية مع درجة حرارة سطح الأرض حيث بلغ متوسط العلاقة الارتباطية (-٠,٦٨)، (-٠,٨٨) على الترتيب.

٩- وتوصي الدراسة بضرورة إجراء مزيد من الأبحاث والدراسات حول كشف ورصد التغير في الغطاءات الأرضية وعلاقتها بدرجة حرارة سطح الأرض. وكذا توصي بإجراء المزيد من البحوث التفصيلية التي تتناول الغطاءات الأرضية الرئيسية كعامل رئيس يسهم في تغير المناخ التفصيلي للمدن المصرية، كما توصي الدراسة بأن تؤخذ المساحات الخضراء في الاعتبار عند وضع أي استراتيجيات أو إجراءات تنفيذية تستهدف تحسين البيئة الحضرية أو التغلب عن المشكلات الناجمة عن الجزيرة الحرارية بالمدينة، كزيادة البنية التحتية الحضرية الخضراء Urban Green (UGI) infrastructure، عن طريق التشجير على جانبي الطرق والشوارع والتوسع في إنشاء الحدائق والمنتزهات الحضرية التي تعمل على خفض درجة الحرارة وبالتالي التخفيف من شدة الجزيرة الحرارية.

٥- المصادر والمراجع:

١.٥ المصادر:

- ١- الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء: مركز نظم المعلومات الجغرافية خريطة مدينة سوهاج، مقياس ١: ٥٠٠٠ لعام ٢٠٢١م.
- ٢- الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء: التعداد العام للسكان والإسكان والمنشآت، ٢٠١٧م.
- ٣- هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية USGS، أربع مرئيات فضائية للقمر الصناعي Landsat-5 TM / landsat-7 ETM+ Landsat-8 OLI/TIRS خلال أعوام ١٩٩٠، ٢٠٠٠، ٢٠١٠، ٢٠٢١م، [/https://earthexplorer.usgs.gov](https://earthexplorer.usgs.gov)
- 4- Egyptian Meteorological Authority (EMA) (2011) Climatological Normals for the Arab Republic of Egypt: Surface Stations 1976-2005.
- 5- United Nations (2018) World Urbanization Prospects 2018. <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-KeyFacts.pdf>. Accessed October 2020.
- 6- USGS (2015) LANDSAT 8 (L8) Data Users Handbook. Department of the Interior US Geological Survey, LSDS-1574 Version 1.0, 105.

٢.٥ المراجع العربية:

- ١- أحمد علي إسماعيل (١٩٩٣م): دراسات في جغرافية المدن، دار الثقافة للنشر والتوزيع، الطبعة الرابعة، القاهرة.
- ٢- حسام محمد أحمد اسماعيل (٢٠١٧م): تطور الجزر الحرارية السطحية في مدينة حلوان خلال الفترة ٢٠٠٠-٢٠١٦م، دراسة في مناخ الحضر باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد: رسائل جغرافية: جامعة الكويت - كلية العلوم الاجتماعية - قسم الجغرافيا، الرسالة ٤٤٤.
- ٣- وائل هريدي زهران مهران ضيف (٢٠١٨م): الجزيرة الحرارية وبعض آثارها البيئية في مدينة أسيوط، دراسة في جغرافية المناخ الحضري، باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، دكتوراه غير منشورة، كلية الآداب، جامعة أسيوط.
- ٤- وليد عباس عبد الراضي (٢٠١٣م): الحرارة في مجمع القاهرة الحضري، دراسة باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، دكتوراه غير منشورة، كلية الآداب، جامعة عين شمس.

- 1- Abou El-Magd, I., Ismail, A., & Zanaty, N. (2016). Spatial variability of urban heat islands in Cairo City, Egypt using time series of Landsat Satellite images. *International Journal*, 5(3), 1618-1638.
- 2- Abutaleb, K., Ngie, A., Darwish, A., Ahmed, M., Arafat, S., & Ahmed, F. (2015). Assessment of urban heat island using remotely sensed imagery over Greater Cairo, Egypt. *Advances in Remote Sensing*, 4(01), 35.
- 3- Amiri, R., Weng, Q., Alimohammadi, A., & Alavipanah, S. K. (2009). Spatial-temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in the Tabriz urban area, Iran. *Remote sensing of environment*, 113(12), 2606-2617.
- 4- Arnfield, A. J. (2003). Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International journal of climatology*, 23(1), 1-26.
- 5- Athukorala, D., & Murayama, Y. (2021). Urban Heat Island Formation in Greater Cairo: Spatio-Temporal Analysis of Daytime and Nighttime Land Surface Temperatures along the Urban-Rural Gradient. *Remote Sensing*, 13(7), 1396.
- 6- Atkinson, B. W. (2003). Numerical modelling of urban heat-island intensity. *Boundary-Layer Meteorology*, 109(3), 285-310.
- 7- Babalola, O. S., & Akinsanola, A. A. (2016). Change Detection in Land Surface Temperature and Land Use Land Cover over Lagos Metropolis, Nigeria. *J Remote Sensing & GIS*, 5(171), 2.
- 8- Barsi, J. A., Schott, J. R., Hook, S. J., Raqueno, N. G., Markham, B. L., & Radocinski, R. G. (2014). Landsat-8 thermal infrared sensor (TIRS) vicarious radiometric calibration. *Remote Sensing*, 6(11), 11607-11626.
- 9- Bartholy, J., & Pongrácz, R. (2006). Urban heat island analysis using MODIS and ASTER measurements for Central European large cities. In *Preprints of the 6th Int Conference on Urban Climate. Göteborg University, Göteborg, Sweden* (pp. 806-809).
- 10- Bazrkar M.H., Zamani N., Eslamian S., Eslamian A., Dehghan Z. (2015) Urbanization and Climate Change. In: Leal Filho W. (eds) Handbook of Climate Change Adaptation. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-38670-1_90
- 11- Bharath, H. A., Chandan, M. C., Vinay, S., & Ramachandra, T. V. (2018). Modelling urban dynamics in rapidly urbanising Indian cities. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(3), 201-210.

- 12- Carlson, T. N., & Arthur, S. T. (2000). The impact of land use—land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: a satellite perspective. *Global and planetary change*, 25(1-2), 49-65.
- 13- Chapin, F. S., Randerson, J. T., McGuire, A. D., Foley, J. A., & Field, C. B. (2008). Changing feedbacks in the climate–biosphere system. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(6), 313-320.
- 14- Chapman, S., Watson, J. E., Salazar, A., Thatcher, M., & McAlpine, C. A. (2017). The impact of urbanization and climate change on urban temperatures: a systematic review. *Landscape Ecology*, 32(10), 1921-1935.
- 15- Daneshvar, M. R. M., Rabbani, G., & Shirvani, S. (2019). Assessment of urban sprawl effects on regional climate change using a hybrid model of factor analysis and analytical network process in the Mashhad city, Iran. *Environmental Systems Research*, 8(1), 1-12.
- 16- Dinku, T. (2019). Challenges with availability and quality of climate data in Africa. In *Extreme hydrology and climate variability* (pp. 71-80). Elsevier.
- 17- Doomi, M. B., Aldayaflah, O., & Hazaymeh, K. (2016). The effects of land cover changes on land surface temperature in Amman; an urban climate change study. *Dirasat, Human and Social Sciences*, 43(2).
- 18- Dutta, D., Rahman, A., Paul, S. K., & Kundu, A. (2019). Changing pattern of urban landscape and its effect on land surface temperature in and around Delhi. *Environmental monitoring and assessment*, 191(9), 1-15.
- 19- Dutta, D., Rahman, A., Paul, S. K., & Kundu, A. (2021). Impervious surface growth and its inter-relationship with vegetation cover and land surface temperature in peri-urban areas of Delhi. *Urban Climate*, 37, 100799.
- 20- Effat, H. A., & Hassan, O. A. K. (2014). Change detection of urban heat islands and some related parameters using multi-temporal Landsat images; a case study for Cairo city, Egypt. *Urban Climate*, 10, 171-188.
- 21- Estrada, A., Garber, P. A., Rylands, A. B., Roos, C., Fernandez-Duque, E., Di Fiore, A., ... & Li, B. (2017). Impending extinction crisis of the world's primates: Why primates matter. *Science advances*, 3(1), e1600946.
- 22- Guo, G., Wu, Z., Xiao, R., Chen, Y., Liu, X., & Zhang, X. (2015). Impacts of urban biophysical composition on land surface temperature in urban heat island clusters. *Landscape and Urban Planning*, 135, 1-10.
- 23- Hassan, T., Zhang, J., Prodhan, F. A., Pangali Sharma, T. P., & Bashir, B. (2021). Surface Urban Heat Islands Dynamics in Response to LULC and Vegetation across South Asia (2000–2019). *Remote Sensing*, 13(16), 3177.

- 24- Hathway, E. A., & Sharples, S. (2012). The interaction of rivers and urban form in mitigating the Urban Heat Island effect: A UK case study. *Building and Environment*, 58, 14-22.
- 25- He, C., Shi, P., Xie, D., & Zhao, Y. (2010). Improving the normalized difference built-up index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach. *Remote Sensing Letters*, 1(4), 213-221.
- 26- Ibrahim, F., & Rasul, G. (2017). Urban land use land cover changes and their effect on land surface temperature: Case study using Dohuk City in the Kurdistan Region of Iraq. *Climate*, 5(1), 13.
- 27- Imhoff, M. L., Zhang, P., Wolfe, R. E., & Bounoua, L. (2010). Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. *Remote sensing of environment*, 114(3), 504-513.
- 28- Jenerette, G. D., Harlan, S. L., Brazel, A., Jones, N., Larsen, L., & Stefanov, W. L. (2007). Regional relationships between surface temperature, vegetation, and human settlement in a rapidly urbanizing ecosystem. *Landscape Ecology*, 22(3), 353-365.
- 29- Jongtanom, Y., Kositanont, C., & Baulert, S. (2011). Temporal variations of urban heat island intensity in three major cities, Thailand. *Modern Applied Science*, 5(5), 105.
- 30- Kalnay, E., & Cai, M. (2003). Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, 423(6939), 528-531.
- 31- Kant, Y., Bharath, B. D., Mallick, J., Atzberger, C., & Kerle, N. (2009). Satellite-based analysis of the role of land use/land cover and vegetation density on surface temperature regime of Delhi, India. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 37(2), 201-214.
- 32- Kim, S. W., & Brown, R. D. (2021). Urban heat island (UHI) intensity and magnitude estimations: A systematic literature review. *Science of The Total Environment*, 779, 146389.
- 33- Kim, Y. H., & Baik, J. J. (2005). Spatial and temporal structure of the urban heat island in Seoul. *Journal of Applied Meteorology*, 44(5), 591-605.
- 34- Kim, Y. H., Ryoo, S. B., Baik, J. J., Park, I. S., Koo, H. J., & Nam, J. C. (2008). Does the restoration of an inner-city stream in Seoul affect local thermal environment?. *Theoretical and applied climatology*, 92(3), 239-248.

- 35- KOTTEK, M., GRIESER, J., BECK, C., RUDOLF, B., & RUBEL, F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259-263.
- 36- Kumari, M., Sarma, K., & Sharma, R. (2019). Using Moran's I and GIS to study the spatial pattern of land surface temperature in relation to land use/cover around a thermal power plant in Singrauli district, Madhya Pradesh, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 15, 100239.
- 37- Liu, C., & Li, Y. (2018). Spatio-temporal features of urban heat island and its relationship with land use/cover in mountainous city: A case study in Chongqing. *Sustainability*, 10(6), 1943.
- 38- Liu, J. G., & Mason, P. J. (2016). Image processing and GIS for remote sensing: techniques and applications. John Wiley & Sons.
- 39- Livesley, S. J., McPherson, E. G., & Calfapietra, C. (2016). The urban forest and ecosystem services: Impacts on urban water, heat, and pollution cycles at the tree, street, and city scale. *Journal of environmental quality*, 45(1), 119-124.
- 40- Mandal, J., Ghosh, N., & Mukhopadhyay, A. (2019). Urban growth dynamics and changing land-use land-cover of megacity Kolkata and its environs. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 47(10), 1707-1725.
- 41- Meredith, H. A. (2004). Designing with climate: Using parking lots to mitigate urban climate. *Master of Landscape Architecture Thesis. Department of Landscape and Urban Studies. Virginia Polytechnic Institute & State University. USA*
- 42- Miller, J. D., & Hutchins, M. (2017). The impacts of urbanisation and climate change on urban flooding and urban water quality: A review of the evidence concerning the United Kingdom. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 12, 345-362.
- 43- Montazeri, M., & Masoodian, S. A. (2020). Tempo-spatial behavior of surface urban heat island of Isfahan Metropolitan Area. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 48(2), 263-270.
- 44- Morabito, M., Crisci, A., Georgiadis, T., Orlandini, S., Munafò, M., Congedo, L., ... & Zazzi, M. (2018). Urban imperviousness effects on summer surface temperatures nearby residential buildings in different urban zones of Parma. *Remote Sensing*, 10(1), 26.
- 45- Murakawa, S., Sekine, T., Narita, K. I., & Nishina, D. (1991). Study of the effects of a river on the thermal environment in an urban area. *Energy and buildings*, 16(3-4), 993-1001.

- 46- Naikoo, M. W., Rihan, M., & Ishtiaque, M. (2020). Analyses of land use land cover (LULC) change and built-up expansion in the suburb of a metropolitan city: Spatio-temporal analysis of Delhi NCR using landsat datasets. *Journal of Urban Management*, 9(3), 347-359.
- 47- Owen, T. W., Carlson, T. N., & Gillies, R. R. (1998). An assessment of satellite remotely-sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization. *International journal of remote sensing*, 19(9), 1663-1681.
- 48- Pal, S., & Ziaul, S. K. (2017). Detection of land use and land cover change and land surface temperature in English Bazar urban centre. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20(1), 125-145.
- 49- Peng, P., Namkung, J., Barnes, M., & Sun, C. (2016). A meta-analysis of mathematics and working memory: Moderating effects of working memory domain, type of mathematics skill, and sample characteristics. *Journal of Educational Psychology*, 108(4), 455.
- 50- Phiri, D., & Morgenroth, J. (2017). Developments in Landsat land cover classification methods: A review. *Remote Sensing*, 9(9), 967.
- 51- Pramanik, S., & Punia, M. (2020). Land use/land cover change and surface urban heat island intensity: source-sink landscape-based study in Delhi, India. *Environment, Development and Sustainability*, 22(8), 7331-7356.
- 52- Pu, R., Gong, P., Michishita, R., & Sasagawa, T. (2006). Assessment of multi-resolution and multi-sensor data for urban surface temperature retrieval. *Remote Sensing of Environment*, 104(2), 211-225.
- 53- Rahaman, S., Jahangir, S., Haque, M. S., Chen, R., & Kumar, P. (2021). Spatio-temporal changes of green spaces and their impact on urban environment of Mumbai, India. *Environment, Development and Sustainability*, 23(4), 6481-6501.
- 54- Rahman, A., Kumar, S., Fazal, S., & Siddiqui, M. A. (2012). Assessment of land use/land cover change in the North-West District of Delhi using remote sensing and GIS techniques. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 40(4), 689-697.
- 55- Rahman, M., Rony, M., Hasan, R., Jannat, F. A., Chandra Pal, S., Islam, M., ... & Islam, A. R. M. (2022). Impact of Urbanization on Urban Heat Island Intensity in Major Districts of Bangladesh Using Remote Sensing and Geo-Spatial Tools. *Climate*, 10(1), 3.
- 56- Rajeshwari, A., & Mani, N. D. (2014). Estimation of land surface temperature of Dindigul district using Landsat 8 data. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(5), 122-126.

- 57-Rihan, M., Naikoo, M. W., Ali, M. A., Usmani, T. M., & Rahman, A. (2021). Urban Heat Island Dynamics in Response to Land-Use/Land-Cover Change in the Coastal City of Mumbai. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 49(9), 2227-2247.
- 58-Saaroni, H., & Ziv, B. (2003). The impact of a small lake on heat stress in a Mediterranean urban park: the case of Tel Aviv, Israel. *International journal of Biometeorology*, 47(3), 156-165.
- 59-Sadiq Khan, M., Ullah, S., Sun, T., Rehman, A. U., & Chen, L. (2020). Land-use/land-cover changes and its contribution to urban heat island: A case study of Islamabad, Pakistan. *Sustainability*, 12(9), 3861.
- 60-Salem, M., Tsurusaki, N., & Divigalpitiya, P. (2020). Land use/land cover change detection and urban sprawl in the peri-urban area of greater Cairo since the Egyptian revolution of 2011. *Journal of Land Use Science*, 15(5), 592-606.
- 61-Scott, K. I., Simpson, J. R., & McPherson, E. G. (1999). Effects of tree cover on parking lot microclimate and vehicle emissions. *Journal of Arboriculture*, 25(3), 129-142.
- 62-Sharifi, A., & Hosseingholizadeh, M. (2019). The effect of rapid population growth on urban expansion and destruction of green space in Tehran from 1972 to 2017. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 47(6), 1063-1071.
- 63-Sherafati, S., Saradjian, M. R., & Rabbani, A. (2018). Assessment of Surface Urban Heat Island in Three Cities Surrounded by Different Types of Land-Cover Using Satellite Images. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 46(7), 1013-1022.
- 64-Song, J., Du, S., Feng, X., & Guo, L. (2014). The relationships between landscape compositions and land surface temperature: Quantifying their resolution sensitivity with spatial regression models. *Landscape and Urban Planning*, 123, 145-157.
- 65-Spronken-Smith, R. A., & Oke, T. R. (1998). The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. *International journal of remote sensing*, 19(11), 2085-2104.
- 66-Stathopoulou, M., & Cartalis, C. (2007). Daytime urban heat islands from Landsat ETM+ and Corine land cover data: An application to major cities in Greece. *Solar Energy*, 81(3), 358-368.
- 67-Szabó, S., Gácsi, Z., & Balázs, B. (2016). Specific features of NDVI, NDWI and MNDWI as reflected in land cover categories. *Landscape & Environment*, 10(3-4), 194-202.

- 68- Tang, J., Di, L., Xiao, J., Lu, D., & Zhou, Y. (2017). Impacts of land use and socioeconomic patterns on urban heat Island. *International Journal of Remote Sensing*, 38(11), 3445-3465.
- 69- Tang, J., Wang, L., & Yao, Z. (2008). Analyses of urban landscape dynamics using multi-temporal satellite images: A comparison of two petroleum-oriented cities. *Landscape and urban planning*, 87(4), 269-278.
- 70- Tran, D. X., Pla, F., Latorre-Carmona, P., Myint, S. W., Caetano, M., & Kieu, H. V. (2017). Characterizing the relationship between land use land cover change and land surface temperature. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 124, 119-132.
- 71- Umar, U. M., & Kumar, J. S. (2014). Spatial and temporal changes of urban heat island in Kano Metropolis, Nigeria. *Int J Res Eng Sci Technol*, 1, 1-9.
- 72- Ustin, S. (2004). Manual of remote sensing: Remote sensing for natural resource management and environmental monitoring. Hoboken, NJ: Wiley.
- 73- Veena, K., Parammasivam, K. M., & Venkatesh, T. N. (2020). Urban Heat Island studies: Current status in India and a comparison with the International studies. *Journal of Earth System Science*, 129(1), 1-15.
- 74- Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote sensing of environment*, 86(3), 370-384.
- 75- Weng, Q. (2001). A remote sensing? GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. *International journal of remote sensing*, 22(10), 1999-2014.
- 76- Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote sensing of Environment*, 89(4), 467-483.
- 77- Weng, Q., Rajasekar, U., & Hu, X. (2011). Modeling urban heat islands and their relationship with impervious surface and vegetation abundance by using ASTER images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(10), 4080-4089.
- 78- Xian, G., & Crane, M. (2006). An analysis of urban thermal characteristics and associated land cover in Tampa Bay and Las Vegas using Landsat satellite data. *Remote Sensing of environment*, 104(2), 147-156.
- 79- Yusuf, Y. A., Pradhan, B., & Idrees, M. O. (2014). Spatio-temporal assessment of urban heat island effects in Kuala Lumpur metropolitan city using landsat images. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 42(4), 829-837.

- 80- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International journal of remote sensing*, 24(3), 583-594.
- 81- Zhang, X., Zhong, T., Wang, K., & Cheng, Z. (2009). Scaling of impervious surface area and vegetation as indicators to urban land surface temperature using satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 30(4), 841-859.
- 82- Zhao, J., Yu, L., Xu, Y., Li, X., Zhou, Y., Peng, D., ... & Gong, P. (2020). Exploring difference in land surface temperature between the city centres and urban expansion areas of China's major cities. *International Journal of Remote Sensing*, 41(23), 8965-8985.
- 83- Zhou, L., Dickinson, R. E., Tian, Y., Fang, J., Li, Q., Kaufmann, R. K., ... & Myneni, R. B. (2004). Evidence for a significant urbanization effect on climate in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(26), 9540-9544.
- 84- Zhou, W., Huang, G., & Cadenasso, M. L. (2011). Does spatial configuration matter? Understanding the effects of land cover pattern on land surface temperature in urban landscapes. *Landscape and urban planning*, 102 (1), 54-63.