مجلة جامعة دمشق للآداب والعلوم الإنسانية

اسم المقال: استعمال الصور الفضائية Landsat-7 في تحديد الجزر الحرارية السطحية لمدينة دمشق
اسم الكاتب: د. هالة قابيل
رابط ثابت: https://political-encyclopedia.org/index.php/library/2932
تاريخ الاسترداد: 2026/11/02 13:48 +03

الموسوعة السياسيّة هي مبادرة أكاديمية غير هادفة للربح، تساعد الباحثين والطلاب على الوصول واستخدام وبناء مجموعات أوسع من المحتوى العلمي العربي في مجال علم السياسة واستخدامها في الأرشيف الرقمي الموثوق به لإغناء المحتوى العربي على الإنترنت.
لمزيد من المعلومات حول الموسوعة السياسيّة - Encyclopedia Political، يرجى التواصل على info@political-encyclopedia.org

استخدامكم لأرشيف مكتبة الموسوعة السياسيّة - Encyclopedia Political يعني موافقتك على شروط وأحكام الاستخدام المتاحة على الموقع https://political-encyclopedia.org/terms-of-use

تم الحصول على هذا المقال من موقع مجلة جامعة دمشق للآداب والعلوم الإنسانية ورفده في مكتبة الموسوعة السياسيّة مستوفياً شروط حقوق الملكية الفكريّة ومتطلبات رخصة المشاع الإبداعي التي ينضوي المقال تحتها.

استعمال الصور الفضائية Landsat–7في تحديد الجزر الحرارية السطحية لمدينة دمشق

د. هالة قابيل*

الملخص

إنّ ظاهرة الجزر الحرارية ظهرت في معظم مدن العالم التي عرفت توسعاً عمرانياً كبيراً. وقد ميّز الباحثون عدة أنواع من هذه الظاهرة معتمدين نوعية درجة الحرارة المقاسة. في هذا البحث، نركز على دراسة نوع الجزر الحرارية السطحية (SHI) التي تعتمد قياس درجة حرارة السطح (LST) باستعمال معطيات الاستشعار عن بعد الفضائية لمدينة دمشق. استعملت الصور الفضائية للقمر Landsat-7 بدقة مكانية 60 متر في المجال الحراري في حساب درجة حرارة السطح، بعد تطبيق عمليات المعالجة اللازمة من معايرة وتصحيح لتأثير الغلاف الجوي وتأثير القدرة الانبعاثية للسطح. أكدت نتائج البحث أهمية استعمال صور Landsat-7 الحرارية ذات الدقة المكانية العالية في إظهار البصمة الحرارية لمدينة دمشق وأثرها العمراني على ريفها. كما أظهرت نتائج التوزع المكاني لدرجة حرارة السطح ارتباط تشكل الجزر الحرارية السطحية في منطقة الدراسة بالاستعمالات العمرانية ذات المساحات المبنية (غير النفوذة) بالدرجة الأولى تليها مساحات الأبنية داخل المدينة، وظهرت الأراضي والزراعية كجزر باردة على أطراف المدينة. إنّ الاهتمام بالنواحي التخطيطية كزيادة المساحات الخضراء والاختيار المدروس

* جامعة دمشق، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، قسم الجغرافية.

لمواد البناء المستخدمة سيكون له أثرٌ واضح في التخفيف من ارتفاع درجة حرارة السطح ومن ثمّمن تشكّل الجزر الحرارية السطحية.

الكلمـات المفتاحيـة: الجـزر الحراريـة السـطحية (SHI)، درجـة حـرارة السـطح (LST)، Landsat-7، استعمالات الأراضي، مدينة دمشق.

Using Landsat-7 satellite imagesin the determination of Surface Heat Islandin Damascus city

Dr. Hala kabil**

Abstract

The phenomenon of Heat Islands(HI) appeared in most cities of the world, which experienced a great urban expansion. Researchers have distinguished several types of this phenomenon depending on the type of temperature measured. In this paper, we focus on studingthe type of surface heat islands (SHI) that depends on measuring surface temperature (LST) using satellite remote sensing data for Damascus City. Therefore, the Landsat-7 satellite images with a spatial resolution of 60 meters in the thermal field were used in the calculation of the surface temperature, after applying the necessary treatment processes of calibration and correction of the effect of the atmosphere and the effect of the emissivity of the surface. The results of the research emphasized the importance of using Landsat-7 thermal images with high spatial resolution to show the thermal footprint of Damascus and its urban impact on its countryside.The results of the spatial distribution of the surface temperature also showed the correlation of the formation of surface heat islands in the study area to urban uses with built areas (impervious surfaces) in the first place, followed by the areas of buildings within the

**Damascus University, Faculty of Arts and Humanities, Department of Geography.

city, and agricultural lands appeared as cold islands on the outskirts of the city. Paying attention to the planning aspects such as increasing green areas and the thoughtful selection of building materials used will have a clear impact in reducing the rise in surface temperature and thus the formation of surface heat islands.

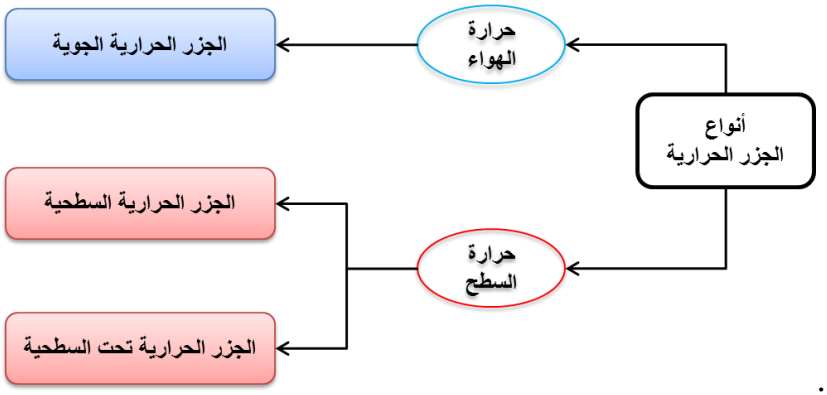
Keywords: Surface Heat Island (SHI), Land Surface Temperature (LST), Landsat-7, Land use, Damascus.

المقدمة:

تُعد الجزر الحرارية (Heat Islands) من الظواهر المناخية التي تتشكل بصورة رئيسية في المدن، حيث تتمثّل بوجود زيادة في سخونة الغلاف الجوي فوق المدينة التي تتميز بكثافة عمرانية مقارنة مع المناطق الريفية المحيطة التي يغلب عليها المساحات الخضراء أو المائية. وقد رصدت هذه الظاهرة في عدة مدن في العالم متباينة في حجمها ووظيفتها وموقعها الجغرافي وأيضاً في خصائصها المناخية والمورفولوجية، الأمر الذي أثّر على اختلاف شدة الجزر الحرارية[1] بين هذه المدن. وإن ارتفاع درجة حرارة المدن يتعلق عموماً بتحويل السطح الطبيعي (الغطاء النباتي) إلى سطح اصطناعي غير نفوذ (مناطق عمرانية) خلال نمو المدينة وتوسعها، حيث يؤدي هذا التغيير باستعمال الأرض إلى امتصاص عالٍ واختزان كبير للحرارة في المناطق المدنيّة (Masson, 2010).

وفقاً لنوعية القياسات الحرارية المستخدمة سواءً لدرجة حرارة الهواء أو لدرجة حرارة السطح،تُقسَّم الجزر الحرارية إلى عدة أنواع(Oke & Voogt ,2003):الجزر الحرارية الجوية(Atmospheric Heat Island)، والجزر الحرارية السطحية (Surface Heat Island)، والجزر الحرارية تحت السطحية(Under-ground Heat Island) كما يوضحها الشكل (1)

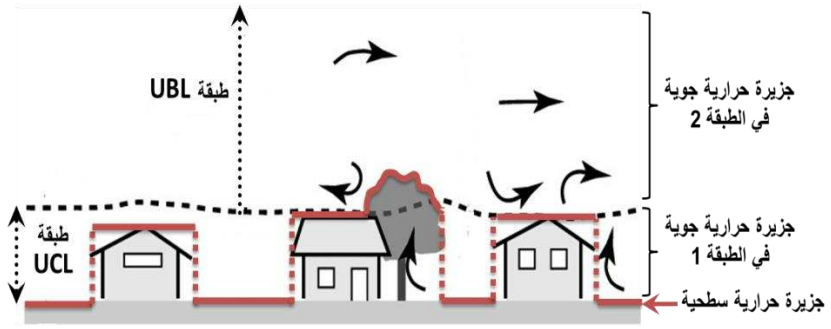
[1] تتعلق شدة الجزر الحرارية بالفارق بين درجات الحرارة العظمى بين الريف والمدينة



.

الشكل (1): أنواع الجزر الحرارية وفقاً للقياسات الحرارية (المصدر: KABIL, 2010بتصرف)

يشير الباحثVoogt(2009)إلى ضرورة التمييز بين أنواع الجرز الحرارية لاختلاف آلية عمل كل منها.حيث تُقسم الجزر الحرارية الجوية إلى نوعين منها وفقاً للطبقات الجوية العمودية. النوع الأول يرتبط بدرجة حرارة الهواء في الطبقة الجوية التي تمتد من سطح الأرض إلى متوسط ارتفاع المباني والتي تدعى UCL (Urban Canopy Layer). ويمتد النوع الثاني في الطبقة التي تعلو النوع الأول والتي تسمى UBL (Urban Boundary Layer)، أما الجزر الحرارية السطحية فتتعلق بدرجة حرارة السطح (الشكل 2).



الشكل (2): أنواع الجزر الحرارية ضمن الطبقات الشاقولية للغلاف الجوي

(المصدر: Voogt, 2009بتصرف)

الاختلافات الرئيسية بين أنواع الجزر الحرارية الجوية والسطحية

يتمثّل الاختلاف الرئيسي بين الجزر الحرارية السطحية والجوية في طبيعة العنصر المُقاس (درجة حرارة السطح أو درجة حرارة الهواء)، وتوضيح صفات العلاقة بين هذين العنصرين يُعدّ أمراً ضرورياً لفهم خصائص أنواع الجزر الحرارية. حيث تؤثر درجات حرارة السطح بصورة غير مباشرة على درجات حرارة الهواء، ولكن هذا التأثير له أهمية واضحة خصوصاً في الطبقة القريبة من السطح. فمثلاً تسود درجات منخفضة عموماً من حرارة السطح في الحدائق والمناطق المزروعة بحيث تؤدي إلى انخفاض في حرارة الهواء فوقها، بينما في المناطق المبنية ذات الكثافة العالية تكون درجات حرارة الهواء غالباً أكثر ارتفاعاً.

لكن العلاقة بين درجتي حرارة الهواء وحرارة السطح غير ثابتة لأنّ الهواء في اختلاط مستمر ضمن الغلاف الجوي ويتأثر أيضاً بخصائص السطح. وكلما ازداد الارتفاع عن السطح، ضعفت علاقة الارتباط بين هاتين الدرجتين. لذلك تعتمد قدرة حرارة الهواء في

الدلالة عن الخصائص الحرارية لمختلف أنواع الأسطح، بعدَ مكان جهاز القياس عن السطح. ونتيجة لذلك، تبقى هذه العلاقة تجريبية وتكون ذات ارتباط قوي تحت ظروف محددة.

تبلغ شدة الجزر الحرارية الجوية بين المدن وما يحيطها من1-3° درجات مئوية، بينما تصل شدة الجزر الحرارية السطحية من 10-15°وفقاً لوكالة حماية البيئة الأمريكية (USEPA)[2]. وإنّ التباينات الحرارية المسجلة في الجزر الحرارية الجوية تكون أكثر انتظاماً مقارنة مع الجزر السطحية التي تظهر اختلافاً واضحاً، لتأثرها بأي تغير في ظروف سطح الأرض كرطوبة التربة والخصائص الحرارية لأنماط غطاء الأراضي.ومن ثمّ يزداد الاختلاف بين هذين النوعين من الجزر خلال ساعات النهار بينما أثناء الليل تصبح التباينات الحرارية متشابهة لحد كبير.

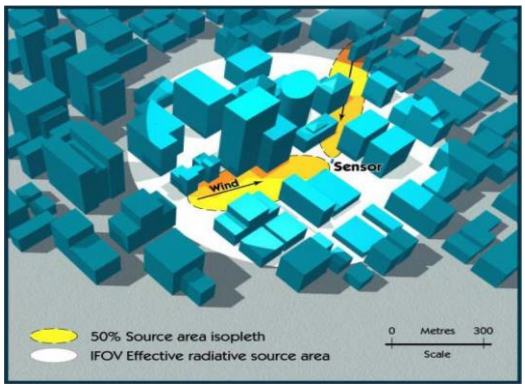
تُحدد الجزر الحرارية الجوية باستعمال قياسات مباشرة لدرجة حرارة الهواء في مكان محدد وضمن شروط دقيقة تتعلق بالظلال والتهوية وارتفاع جهاز القياس (Voogt، 2009)، بينما تُحدد الجزر الحرارية السطحية عن طريق قياسات غير مباشرة باستعمال المعطيات الاستشعارية الحرارية، حيث تستعمل مشعرات محملة على أقمار صناعية أو آلات تصوير جوية تعمل في المجال الحراري من أجل رصد درجة حرارة السطح.

كما أنّ خصائص قياسات الحرارة تختلف تبعاً لشروط الطريقة المطبقة (المباشرة أو غير المباشرة). فالمساحة التي يغطيها جهاز قياس درجة حرارة الهواء يمكن أن تأخذ مواقع وأحجام مختلفة وفقاً لارتفاع الجهاز، اتجاه الريح وكذلك استقرار الظروف الجوية. أما

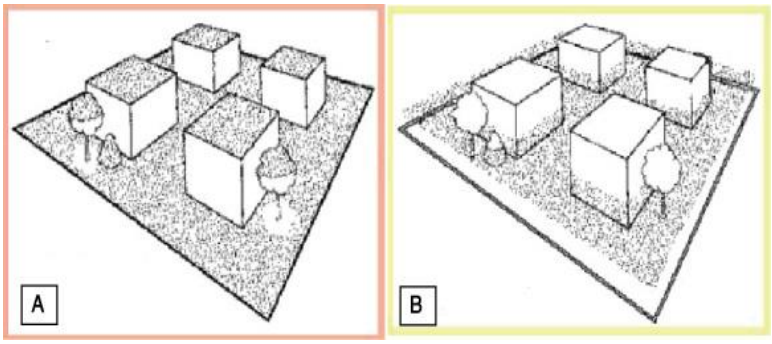
[2] USEPA, United States Environmental Protection Agency, 2008

المعلومة التي تقدمها أجهزة الرصد الاستشعارية فهي ترتبط بمنطقة الرؤية الخاصة بالمستشعر، فتكون تقديرات درجة حرارة السطح متجانسة على كامل السطح مع تغطية مكانية واسعة ترتبط بالدقة المكانية للصور الحرارية (Voogt et Oke، 2003)كما في الشكل (3).

بالإضافة إلى أن المستوى الذي يراه جهاز القياس الأرضي (Screen level) عند تسجيل درجة حرارة الهواء يختلف تحديده عن المستوى الذي يراه المستشعر لتسجيل درجة حرارته (Brid's eye view)، حيث لا تلتقط الانبعاثات من الأسطح العمودية كجدران المباني وإنّما من السطح المقابل لزاوية رؤية المستشعر (Voogt et Oke, 1997) كما في الشكل (4). ويلخص الجدول (1) أهم نقاط الاختلاف بين الجزر الحرارية الجوية والسطحية التي برزت في الأبحاث المذكورة سابقاً.



الشكل (3): اختلاف نطاق رصد درجة الحرارة بين المشعرات الفضائية التي تظهر باللون الأبيض وبين أجهزة القياس الأرضية التي تظهر باللون الأصفر(المصدر: Voogt et Oke,2003,بتصرف)



الشكل (4): اختلاف تحديد المستوى (السطح الرمادي) الذي تتم عليه عملية قياس درجة الحرارة بين أجهزة الاستشعار عن بعد

التي تصور السطح شاقولياً عن بعد (A) وبين أجهزة قياس حرارة الجو التي تقيس درجة حرارة الهواء المحيط على مستوى ارتفاعها من الأرض (B)(المصدر: Voogt et Oke, 1997بتصرف)

الجدول (1): أوجه الاختلاف بين أنواع الجزر الحرارية الجوية والسطحية

الفرق من حيث	الجزر الحرارية الجوية	الجزر الحرارية السطحية
الحرارة المقاسة	حرارة الهواء	حرارة السطح
طرق القياس	مباشرة (القياسات الثابتة)	غير مباشرة (الاستشعار الحراري)
خصائص درجة الحرارة	تباينات قليلة مكانياً وزمانياً	أكثر تبايناً مكانياً وزمانياً
الشدة وسطياً (درجة مئوية)	1 – 3 سنوياً	10 – 15 نهاراً و 5 – 10 ليلاً
مقياس الرصد	مقياس محلي مرتبط بنطاق رصد جهاز القياس	متعدد المقاييس وفق دقة تمييز الصور
نوعية المعلومة	تتعلق بالمساحة التي يغطيها جهاز القياس	متجانسة ضمن عنصر الصورة

المصدر: إعداد الباحث

تَشكّل الجزر الحرارية السطحية في المدن

يرتبط مفهوم الجزر الحرارية السطحية في المدنبشكل بارز بعملية التمدّن، حيث تضم المدينة تجمعاً كبيراً لأنواع مختلفة من الأسطح (المعدنية، النباتية، المائية...) والتي تختلف فيما بينها بالارتفاع والاتجاه وبخصائص المواد المكونة منها وخصوصاً الخصائص الحرارية. وينجم عن ذلك اختلافٌ مكاني وزماني لدرجة حرارة السطح في المدينة، مما يسبب نشوء ما يُعرف بالجزر الحرارية السطحية المدنيّة.ويتميز السطح في المدينة بخاصية ألبيدو (معامل الانعكاس) منخفضة نسبياً وبنسبة مرتفعة من عدم نفاذية السطح، كما يختزن الحرارة بدرجة كبيرة تبعاً لخصائص المواد المصنوع منها. بالإضافة إلى أن معظم المدن بأبنيتها المنتشرة بكثافة عالية تتشكل فيها ممرات ضيقة وهي ذات قيمة منخفضة من معامل رؤية السماء (Sky View Factor)[3]، مما يساهم في امتصاص أكثر للطاقة المنبعثة من أسطحتها بسبب إعادة انعكاسها من أبنيتها بعد اصطدامها بها.

كل هذه العوامل تزيد من درجة حرارة المناطق المبنية بالمقارنة مع المناطق الريفية المجاورة. وتشكل البقع الحارة في السطح المدني جزراً حرارية صغيرة (ميكروسكوبية)، وهي تشير إلى البقع التي تكون فقيرة بالغطاء النباتي كمواقف السيارات والطرق الإسفلتية وأسقف المباني غير العاكسة للحرارة. هذه الجزر الحرارية الصغيرة تؤثر تأثيراً كبيراً على عناصر المناخ المحلي (Hu & Jia, 2010). وإنّ استعمال البيانات الفضائية الحرارية في هذا المجال يُعدّ أكثر ملاءمة من البيانات المناخية الأرضية في تحديد هذه البقع

[3] يحدد هذا المعامل مقدار المجال المرئي من السماء في منطقة ما حيث تعبر القيمة العظمى (1) عن حقل رؤية منفتح بشكل كامل على السماء، بينما القيمة الدنيا (0) تعبر عن حجب كامل لمجال رؤية السماء.

الحارة المتفرقة في المدن في آنٍ واحدٍ. بالإضافة إلى إمكانية تحديد الاختلافات الحرارية في مستويات مكانية متنوعة وبطريقة متجانسة ومستمرة على كامل المنطقة، على خلاف القياسات الحرارية الأرضية المباشرة التي لاتتوفر إلّا في نقاط محددة للرصد الأرضي التي يتعذر الحصول عليها في معظم الأحيان.

الدراسات السابقة

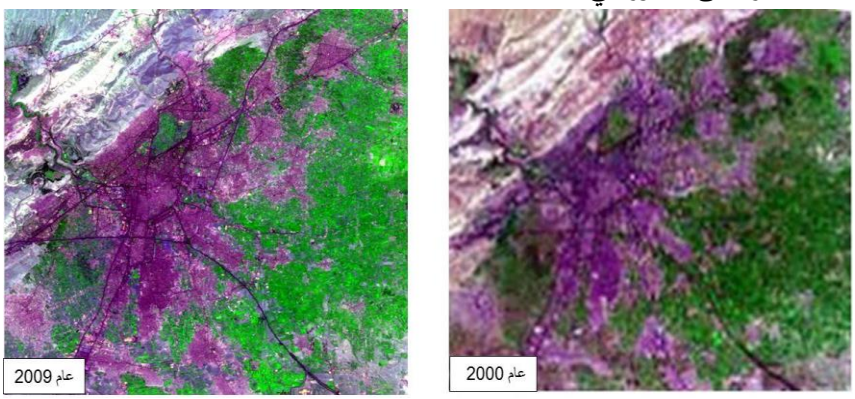
تعدّدت الدراسات العالمية التي اهتمت باستعمال تقانة الاستشعار عن بعد في تحديد الجزر الحرارية السطحية لمدن مختلفة بواسطة صور حرارية من مشعرات متنوعة (MODIS, ASTER &Landsat TM/ETM+)نذكر منها، Liet al. 2013Boulfroy; et al. 2013 ؛Rinner & Hussain, 2011 ، et al. 2011PengHamdi, 2010;.واستندت هذه الدراسات إلى منهجية تصحيح القيم الحرارية للحصول على نتائج أكثر دقة وواقعية. كذلك ظهرت دراسات عربية اعتمدت أيضاً الصور الفضائية في دراسة الجزر الحرارية (منها حبيب، 2007؛ عبد الفتاح، 2013 ؛ حسان، 2013). ومن الدراسات المحلية التي بحثت في الجزيرة الحرارية لمدينة دمشق نذكر دراسة البخيت (2017) التي هدفت إلى تحديد هذه الظاهرة وتوضيح خصائصها والآثار الاقتصادية المترتبة عليها وآليات الحد منها. وقد استعملت صور فضائية من المستشعر MODIS بدقة مكانية منخفضة (1كم) لحساب درجة الحرارة السطحية (قيم غير مصحّحة). وقد بينت النتائج اختلاف شدة الجزيرة الحرارية بين الصور الفضائية والدراسة الميدانية خلال فصول السنة.

انطلاقاً من هذا الإطار، يُعتمد في هذا البحث استعمال الصور الفضائية في دراسة الجزر الحرارية السطحية لمدينة دمشق باستعمال صور القمر الصناعي Landsat-7

ذات الدقة المكانية (30) متر في المجالات الطيفية الانعكاسية و(60) متر في المجالات الحرارية، مع تطبيق منهجية محددة لتصحيح درجة الحرارة السطحية.

منطقة البحث:

تقع مدينة دمشق في الجزء الجنوبي الغربي من الجهورية العربية السورية على السفوح الجنوبية لجبل قاسيون، بين درجتي عرض´28°33 و´34°33 شمالاً وخطي طول´12°36 و´21°36 ، ومتوسط ارتفاعها707مترأتقريباً عن مستوى سطح البحر. وهي منطقة حوضية يعبرها نهر بردى وروافده وتحيط بها الغوطة من الشرق، وتتصف بمناخ قاري جاف (صيف حار وشتاء بارد). وقد عرفت مدينة دمشق تطوراً عمرانياً ملحوظاً في العقود الأخيرة. يُظهر الشكل (5) صور Landsat-7 لمدينة دمشق في عامي 2000 و2009 باستعمال التركيب اللوني للمجالات الطيفية 7,4,2 (أخضر، تحت الأحمر القريب، تحت الأحمر المتوسط على الترتيب) لأنه يزيد التباين بين المناطق العمرانية في المدينة ومساحات الغطاء النباتي بشكل يسهل تمييزه على الصور في العامين.



الشكل (5): صور Landsat-7 لمدينة دمشق لعامي 2000 و2009 بتركيب لوني للمجالات الطيفية 7,4,2

أهمية البحث:

تأتي أهمية البحث من استعمال تقانات الاستشعار عن بعد في دراسة الجزر الحرارية. فقد أصبح بالإمكان تقديم معلومات مكانية عن نوع محدد من هذه الظاهرة وهي الجزر الحرارية السطحية، بشكل يُساعد على فهم تشكلها في المدينة ومراقبتها على مقاييس مكانية متعددة. وإنّ تحديد الأسطح ذات درجات الحرارة العالية يمكن أن يشكل دليلاً هاماً على انتشار الجزر الحرارية الجوية ومن ثمّ الاستفادة منها في الدراسات المناخية والبيئية حول المدن، وأيضاً في توجيه عملية التخطيط المدني. كما أنّ استعمال الصور الفضائية من القمر Landsat-7 يسمح بالحصول على بيانات حرارية ذات دقة مكانية عالية(60 متر) بالمقارنة مع البيانات الفضائية الأخرى، بالإضافة إلى توفرها مجاناًعلى الموقع الرسمي للقمر.

مشكلة البحث:

تُعد ظاهرة الجزر الحرارية من أهم المشكلات البيئية التي تعانيها معظم مدن العالم ومنها مدينة دمشق. وعلى الرغم من الاهتمام الذي حظيت به دراسة هذه الظاهرة باستعمال بيانات الاستشعار عن بعد على الصعيد العالمي وأيضاً العربي، إلّا أنّها لم تنل الاهتمام الكافي على الصعيد المحلي. ومازالت هذه الدراسات المحلية تفتقر إلى توضيح المنهجية العلمية في معالجة الصور الفضائية الحرارية التي تتطلب إجراء عمليات تصحيح لحساب درجة حرارة السطح من أجل تحديد الجزر الحرارية السطحية، وإبراز خصائصها التي تختلف عن الجزر الحرارية الجوية المتعارف عليها وكذلك في طرق قياسها.

أهداف البحث:

1. التركيز على مفهوم الجزر الحرارية السطحية في المدن وإجراء دراسة تطبيقية على مدينة دمشق؛
2. تطبيق عمليات التصحيح الراديومتري والإشعاعي على صور Landsat-7لحساب درجة حرارة السطح المصححة؛
3. تحديد التوزع المكاني للجزر الحرارية السطحية وفق استعمالات الأراضي في منطقة الدراسة.

مناهج البحث وأدواته:

اعتمد البحث المنهج الوصفي التحليلي في شرح المفاهيم النظرية للجزر الحرارية المَدَنية وأنواعها والتركيز على النوع السطحي منها. كما استعملت الطرق الاستشعارية في حساب درجة حرارة السطح باستعمال صور القمر الصناعي Landsat-7وتوضيح مراحل معالجتها. بالإضافة إلى استعمال المنهج المنظومي[4] في تحليل توزع درجات الحرارة السطحية لمدينة دمشق وربطها باستعمالات الأراضي. اعتمدت برامج متخصصة في معالجة الصور الفضائية (إصدار ENVI, 4) وبرامج ملحقة أخرى لإنجاز البحث (إصدار Adobe 3 Illustrator, وMicrosoft office2010).

منهجية تحديد الجزر الحرارية السطحية لمدينة دمشق باستعمال الصور الفضائيةLandsat-7:

1. اختيار المعطيات الحرارية:

[4] يعتمد هذا المنهج على دراسة الظاهرة المكانية في بيئتها الحقيقية أي من خلال موقعها وعلاقتها مع الظواهر المشتركة معها في المكان (محمد وإدريس، 2006)

تُحدَّد الجزر الحرارية السطحية باستعمال الصور الفضائية بمستويات مكانية مختلفة وفقاً لقدرة التمييز المكانية الخاصة بالصور. فقد استعملت صور NOAA AVHRR (قدرة تمييز مكانية 1 كم) بشكل رئيسي على المستوى الإقليمي. كما استعملت صور Landsat-TM (قدرة تمييز مكانية 120 متر) لرصد اختلاف درجات حرارة السطح بشكل خاص بين المدن والريف. والصور الحرارية ذات الدقة المكانية العالية مثل Landsat-ETM+(60) متر استعملت في دراسة المناخ المدني المحلي وفي تحديد الجزر الحرارية السطحية. والجدول (2) يوضح أهم الخصائص الطيفية والمكانية للصور الحرارية الأكثر استعمالاً.

إنّ الصور التي يقدمها القمر الصناعيLandsat-7تمتلك خصائص مكانية وطيفية مميزة تجعله من الخيارات المناسبة لهدف البحث، حيث يمتلك مجاله الحراري أعلى دقة مكانية بين الصور الحرارية التي حُصل عليها من التصوير الفضائي وهي (60) متر. يبين الجدول (3) أهم خصائص القمر Landsat-7.

جدول (2): خصائص بعض الصور الفضائية الحرارية المستخدمة

القمر الصناعي	المشعر	عدد المجالات الحرارية	الدقة المكانية (متر)
METEOSAT	MSR	1	5000
NOAA	AVHRR	2	1100
ENVISAT	AATSR	2	1000
ERS	ATSR	2	1000
TERRA	MODIS	10	1000
	ASTER	5	90
LANDSAT	TM	1	120
	ETM+	1	60
	TIRS	2	100

المصدر: KABIL,2010 بتصرف

جدول (3): خصائص المجالات الطيفية للقمر Landsat-7 ETM+

رقم المجال الطيفي	مدى المجال الطيفى (µm)	الدقة المكانية (متر)	متوسط قيمة الإشعاع الشمسي
TM1 الأزرق	0.45-0.5	30	1970
TM2الأخضر	0.52-0.6	30	1842
TM3الأحمر	0.63-0.69	30	1547
TM4تحت الأحمر القريب	0.75-0.9	30	1044
TM5تحت الأحمر المتوسط	1.5-1.7	30	225.7
TM6الحراري	10.4-12.5	60	–
TM7تحت الأحمر المتوسط	2.08-2.35	30	82.06
TM8البنكروماتي	0.52-0.9	15	1369

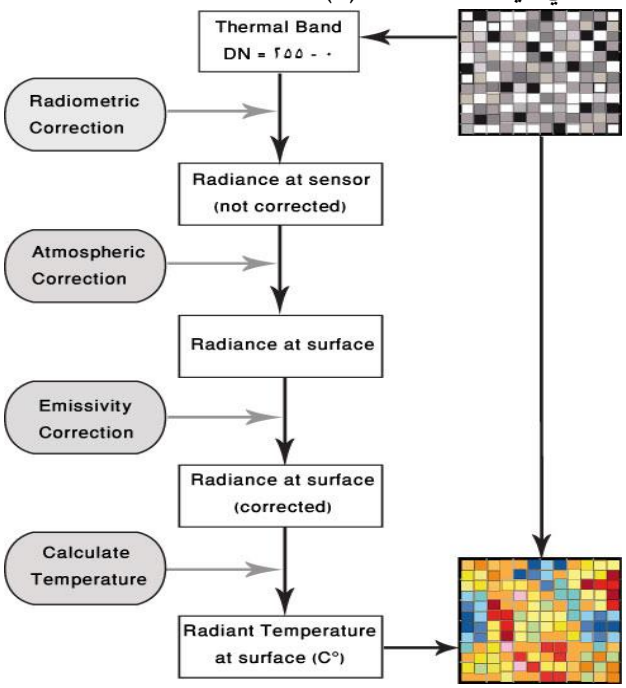
المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على البيانات المتوفرة على الموقع
www.landsathandbook.gsfc.nasa.gov

من الهام ذكره، أنّه عُمل على صورة فضائية بتاريخ2009/5/14لأنّ الحصول على صور حديثة لن يحقق الغاية التطبيقية من البحث الذي يركز على توضيح البصمة الحرارية التي تتركها المدينة على الصور الفضائية والمتمثلة بالجزر الحرارية السطحية، والتي ترتبط بخصائص السطح المَدَني واختلاف تنوعه. الأمر الذي قد لا نراه متوافقاً مع ما تُقدمه الفترات الحديثة التي قد تُظهر شذوذات مكانية كبيرة نتيجة تغير المعالم السطحية للمدينة بسبب آثار الحرب والدمار. لذلك تم تفضيل تطبيق المنهجية على صور ما قبل الحرب.

2. مراحل حساب درجة حرارة السطح (Land Surface Temperature) لصور Landsat-7:

تُحسب درجة حرارة السطح المصحّحة(LST) باستعمال المجال الحراري لصور Landsat-7وفق ثلاثة مراحل أساسية يتخللها خطوات فرعية تُحددها المعادلات الرياضية

التي تناولتها الدراسات المرجعية(كما قدمتها بشكل مفصّل قابيل، 2019)، لذلك لُخّصت هذه المراحل كما يلي ويوضحها الشكل (6):



شكل (6): مخطط حساب درجة حرارة السطح من الصور الفضائية وفق المراحل المشروحة سابقاً[5]

1) <u>Calibration المعايرة الراديومترية للصور الحرارية (Radiometric)</u>

تُعد هذه المرحلة من الخطوات الهامة في المعالجة الأولية للصور الحرارية، وهي عبارة عن تحويل الأعداد الرقمية DN(Digital Numbres) إلى قيم للإشعاع الطيفي

[5] من تصميم الباحث بواسطة برنامج Illustrator

(Spectral Radiance L_λ) المقاس عند المشعر عبر استعمال معاملات المعايرة الخاصة بالمجال الحراريβ و α(انظر الجدول 4) بتطبيق المعادلة (1)[6]:

معادلة 1 $L_\lambda = \alpha\,(DN) + \beta 1$

جدول(4) : معامِلات المعايرة والثوابت الحرارية الخاصة بالمجال الحراري في القمر Landsat-7 ETM+

معامِلات معايرة المشعر	a = 0.0370588 (H), 0.0668235 (L)
	b = 3.20 (H), 0.0 (L)
ثوابت المعايرة الحرارية	K1 = 666.09بدرجة كلفن
	K2 = 1282.71 W/(m².sr.µm) بالواحدة الإشعاعية

المصدر: إعداد الباحث باعتماد البيانات المتوفرة على الموقع www.landsathandbook.gsfc.nasa.gov

2) <u>تصحيح القيم الإشعاعية (Radiance Correction)</u>

هي عملية تحويل القيم الإشعاعية من المرحلة الأولى إلى قيم إشعاعية مصحّحة من تأثيري الغلاف الجوي والقدرة الإنبعاثية[7] للسطح وفق خطوتين:

1.2) الخطوة الأولى: التصحيح الجوي: (Atmospheric Correction)

إنّ إزالة تأثير الغلاف الجوي في المجال الحراري يُعد خطوة ضرورية لاستعمال الصور الفضائية في الدراسات الحرارية. حيث يوجد العديد من التداخلات التي يتعرض لها الإشعاع خلال مساره من الأرض وصولاً إلى المشعر عبر الغلاف الجوي الذي يمتص

[6] www.landsathandbook.gsfc.nasa.gov

[7] يتعلق مفهوم القدرة الإنبعاثية أو الإصدارية بنسبة تدفق الأشعة المنبعثة في واحدة المساحة من سطح ما (جسم رمادي) إلى تدفق الأشعة المنبعثة في واحدة المساحة من الجسم الأسود (Black Body) بنفس درجة الحرارة وتتفاوت قيمها من 0 إلى 1 للجسم الأسود(1992) .Bonn F. & Rochon G.

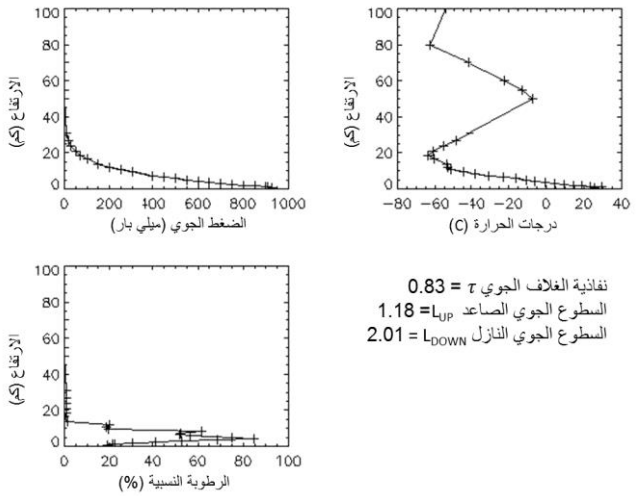
بدوره جزءاً من الإشعاع المنبعث من الأرض حسب درجة نفاذيته[8].ويُجرى التصحيح الجوي للصور الفضائية التي تحوي مجالاً حرارياً واحداً بإدخال معاملات جوية خاصة تتعلق بنفاذية الغلاف الجوي (τ) والسطوع الجوي الصاعد (L_{UP}) والسطوع الجوي النازل (L_{DOWN}) في معادلة (2) تصحيح الإشعاع الطيفي المسجل في المشعر باستعمال قيم الإشعاع التي حُصل عليها في المرحلة الأولى (Coll et al.2010؛Barsiet al., 2003).

$$L_{SURFACE} = \frac{L_{\lambda} - L_{UP}}{\tau} \qquad \textbf{معادلة 2}$$

يمكن تقدير قيم هذه المعاملات بطريقة آلية عبر نماذج التحويل الإشعاعي مثل (MODTRAN)باعتماد ظروف أخذ المعطيات الفضائية. من أجل تسهيل حساب المعاملات الجوية لصور Landsat التي تحوي مجالاً حرارياً واحداً، فقد طوّر مركز الأبحاث الفضائية الأمريكية (NASA) أداة آلية للتصحيح الجوي تدعى: حاسب معامل التصحيح الجوي«Atmospheric Correction Parameter Calculator».تُولِّد بيانات عن هذه المعاملات بالإضافة إلى بيانات درجات الحرارة والضغط الجوي والرطوبة النسبية في العروض الجغرافية المتوسطة[9]. يبين الشكل (7) قيم هذه المعاملات والمخططات الجوية التي تم الحصول عليها لمنطقة الدراسة.

[8]تُعبّر درجة نفاذية الغلاف الجوي عن العلاقة بين الأشعة النافذة منه إلى الأشعة الساقطة عليه.

[9]www.atmcorr.gsfc.nasa.gov



شكل (7): قيم المعاملات الجوية التي تم الحصول عليها من صورة Landsat-7لمدينة دمشق بتوقيت العاشرة صباحاً في 2009/5/14المصدر (www.atmcorr.gsfc.nasa.gov)

2.2) الخطوة الثانية: تصحيح القدرة الانبعاثية للسطح (Correction of Land surface Emissivity)

إنّ أغلب الطرق المستخدمة في حساب القدرة الانبعاثية تطبَّق على صور فضائية تحوي عدة مجالات حرارية(Srivastava et al., 2009 ; Stathopoulou et al., 2006; Li et al., 2012)، وباعتبار صور Landsat-7 تحتوي على مجالٍ حراري واحد فيمكن تطبيق طريقة غير مباشرة لحسابها باعتماد القرينة النباتية NDVISobrino et al., 2004; Srivastava et al., 2009)Liu & Zhang, 2011; Hu & Jia, 2010;Sobrino, J. A., &Jimenez-Munoz, J. C.2005;).

لحساب القرينة النباتيةNDVI، اعتُمِد على قيم الانعكاس ρ_{SAT} (Reflectance) للمجالين الأحمر R وتحت الأحمر القريبNIRوفق المعادلة (3) وليس على قيمة

الإشعاع (Radiance) لأن ذلك سيعطي تمثيلاً أكثر واقعية للغطاء النباتي كما أشار إليه الباحثون(2009) .Chander et al :

$$\rho_{SAT} = \frac{\pi * L_{\lambda} * d^2}{E_{SUN} * \sin EL} \qquad \text{معادلة 3}$$

حيث:

d: المسافة الفلكية بين الأرض والشمس في يوم أخذ الصورة الفضائية

E_{SUN}[10]: متوسط قيمة الإشعاع الشمسي في المجال الطيفي المحدد (كما في الجدول 3)

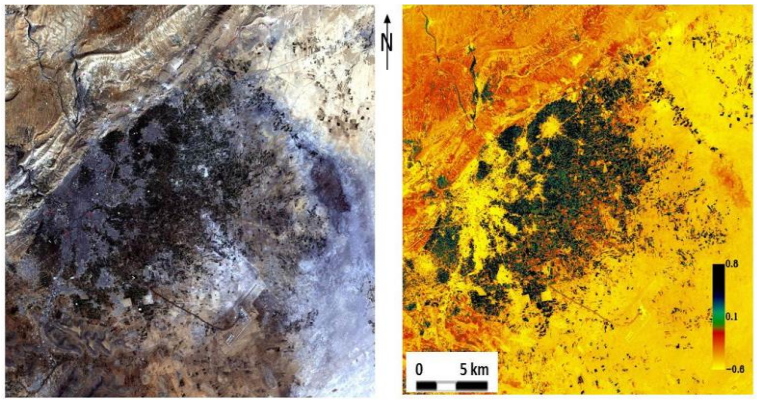
sinEL:جيب زاوية ارتفاع الشمس في يوم أخذ الصورة الفضائية (أو ما يعادل تجب الزاوية الشمسية الأفقية)

بعد ذلك، طُبقت قرينةNDVIفي منطقة الدراسة(الشكل 8)على قيم الانعكاس للمجالين الثالث والرابع من صورةLandsat-7 وفق المعادلة (4):

$$NDVI = \frac{\rho NIR - \rho R}{\rho NIR + \rho R} \qquad \text{معادلة 4}$$

باعتماد قيم NDVI وضعت عتبات حدية بشكل يتناسب مع وجود الغطاء النباتي في الصورة ثم ربطها مع ما يقابلها من قيم للقدرة الإنبعاثية(الجدول 5). وإنّ اختيار حدود هذه العتبات يتعلق بقيم NDVI الصغرى والكبرى الخاصة بالصورة، لذلك يجب أخذ هذه القيم بالحسبان حتى توضع قيم حدية مناسبة لكل صورة. ومن ثمنحصل على صور نهائية لقيم القدرة الانبعاثية.

[10] Esun: Mean solar exo-atmospheric irradiance



صورة Landsat-7 لمدينة دمشق بتركيب لوني للمجالات المرئية — قرينة NDVI المحسوبة لمدينة دمشق

شكل (8): حساب قرينة NDVI النباتية من صورة Landsat-7لمدينة دمشق بتاريخ 2009/5/14

جدول (5) : تقدير قيم القدرة الإنبعاثية باستعمال قرينة NDVI

تصنيف الغطاء النباتي وفق قيمNDVI	العتبات الحديةلقيمNDVI	قيم القدرة الاصدارية (ε)
عدم وجود غطاء نباتي	NDVI < 0.2	0.92 -0.97
غطاء نباتي جزئي	0.5 ≤NDVI≤0.2	$\varepsilon = 1.0094 + 0.0047 * \log(NDVI)$
غطاء نباتي كلي	NDVI > 0.5	0.96 -0.99

المصدر : (قابيل، 2019)

3. **حساب درجة حرارة السطح (Clculation of Land SurfaceTemperature)**

بعد الحصول على قيم الإشعاع المصحّح من العوامل الجوية وتأثير القدرة الإصدارية نطبق قانون حساب درجة حرارة السطح بالدرجة المئوية باعتماد الإشعاع المنبعث من سطح الأرض (Chander et al. 2009) وفق المعادلة (5):

$$\mathbf{T_{SURFACE}} = \frac{\mathbf{K2}}{\ln\left(\frac{\mathbf{K1}}{\mathbf{L_{SURFACE}}}+\mathbf{1}\right)} - \mathbf{273.15} \quad \textbf{معادلة 5}$$

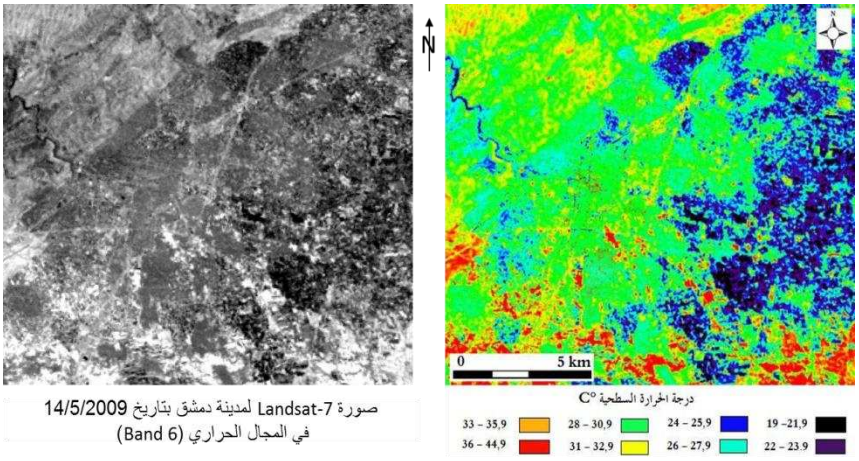
كما يمكن القيام بتصحيح قيم الإشعاع L_λمن العوامل الجوية وتأثير القدرة الإصدارية بشكل مباشر بعد توفر بياناتهما وفق المعادلة (6) (Zhang et al., 2009):

$$\mathbf{L_{GROUND}} = \frac{\mathbf{L_{DOWN}}(\mathbf{L_{SAT}} - \mathbf{L_{UP}} - \boldsymbol{\tau})(\mathbf{1}-\boldsymbol{\epsilon})}{\boldsymbol{\tau\epsilon}} \quad \textbf{معادلة 6}$$

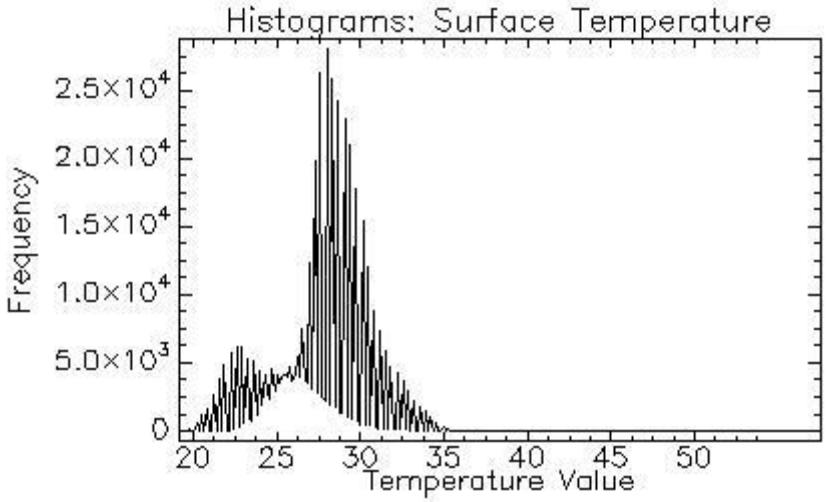
ثم نطبق معادلة (5) لحساب درجة حرارة السطح بالدرجة المئوية على الإشعاع المصحّح.

يبين الشكل (9) توزع درجات الحرارة السطحية المصحّحة التي حُسبت في مدينة دمشق، حيث تتباين درجات الحرارة المحسوبة بين (19,13°م) كدرجة دنيا وبين (52,9°م) كدرجة عظمى وبمتوسط حسابي (27,76°م). ويظهر الشكل البياني(1) التوزع التكراري لهذه القيم في المدينة حيث أنّ درجات الحرارة من 28-30 درجة مئوية كانت أكثر تكراراً من بقية القيم الأخرى.

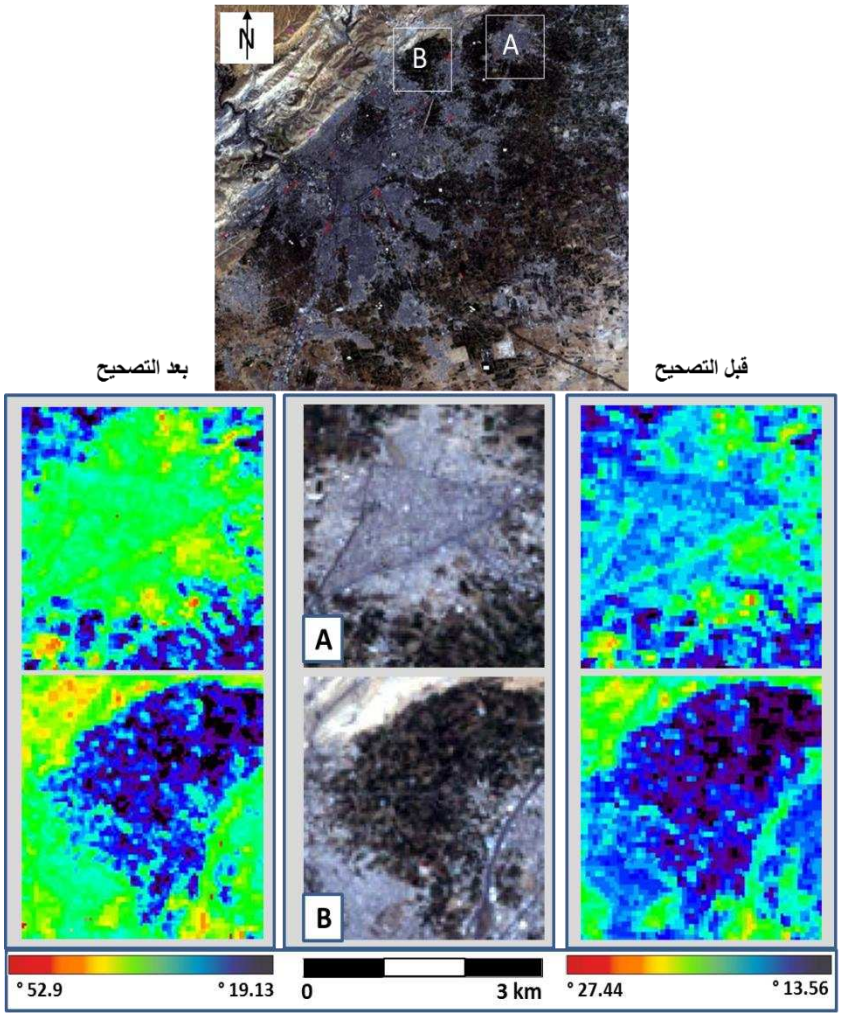
بينما بالمقارنة مع درجات حرارة السطح التي حُسبت دون إجراء عمليات التصحيح، فتختلف القيم الناتجة بين (13,56°م) كدرجة دنيا وبين (27,44°م) كدرجة عظمى وبمتوسط حسابي (21,46°م). ويُوضح الشكل (10) أمثلة مكانية عن اختلاف درجات الحرارة السطحية قبل عملية التصحيح المطبقة وبعدها في مناطق عمرانية (A) ومناطق غطاء نباتي (B).



شكل (9): التوزع المكاني لدرجات الحرارة السطحية في مدينة دمشق



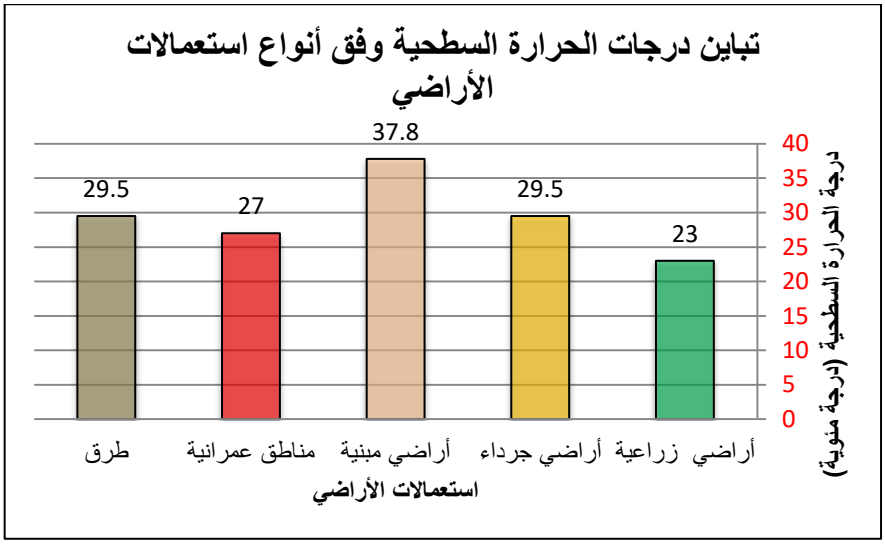
شكل بياني (1): مخطط التوزع التكراري لدرجات الحرارة السطحية في منطقة الدراسة (بواسطة برنامج ENVI)



شكل (10): أمثلة عن اختلاف درجات الحرارة السطحية في مدينة دمشق قبل عملية التصحيح المطبقة وبعدها

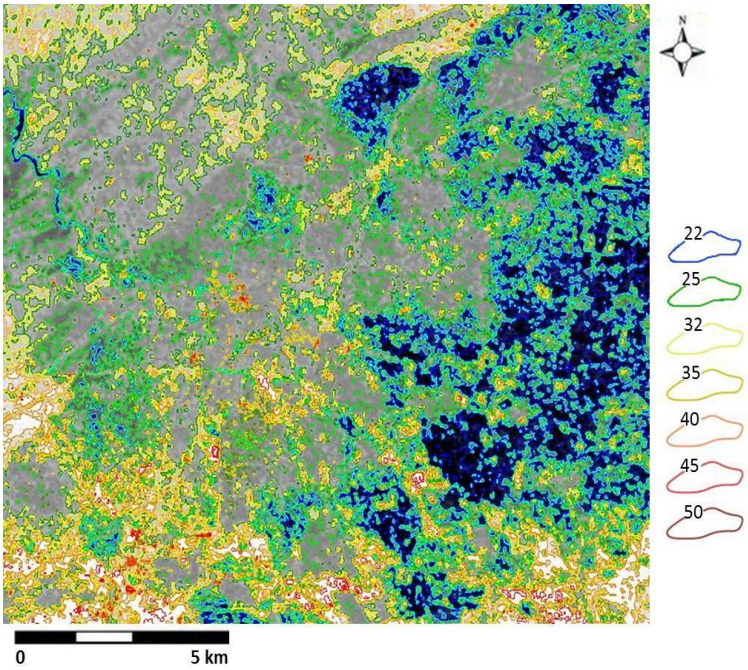
3. التوزع المكاني للجزر الحرارية السطحية مع استعمالات الأراضي في منطقة الدراسة:

إنّ تحليل صورة درجات الحرارة لتحديد الجزر السطحية يظهر من خلال الترابط الواضح مع نوع استعمالات الأراضي. فقد صُنفت استعمالات الأراضي في مدينة دمشق ومحيطها إلى عدة فئات أساسية: فئة الأراضي الزراعية التي تضم المساحات الزراعية والمساحات الخضراء الأخرى، وفئة الأراضي الجرداء التي تضم التكشّفات الصخرية والترب العارية، وفئة الأراضي المبنية التي تضم مساحات الترب المبنية غير النفوذة، وفئة المناطق العمرانية التي تضم مساحات الأبنية العمرانية (السكنية والخدمية)، وأخيراً فئة الطرق. توزعت درجات الحرارة المرتفعة في الاستعمالات المدنيّة (من الأراضي المبنية والجرداء والعمرانية)، بينما ارتبطت درجات الحرارة المنخفضة مع استعمالات الأراضي الزراعية والمساحات الخضراء الأخرى. والشكل البياني (2) يُظهر تباين درجات الحرارة السطحية (المتوسطة في كل فئة)مع اختلاف استعمالات الأراضي الرئيسية.



شكل بياني (2): اختلاف درجات الحرارة السطحية مع تنوع استعمالات الأراضي في منطقة الدراسة

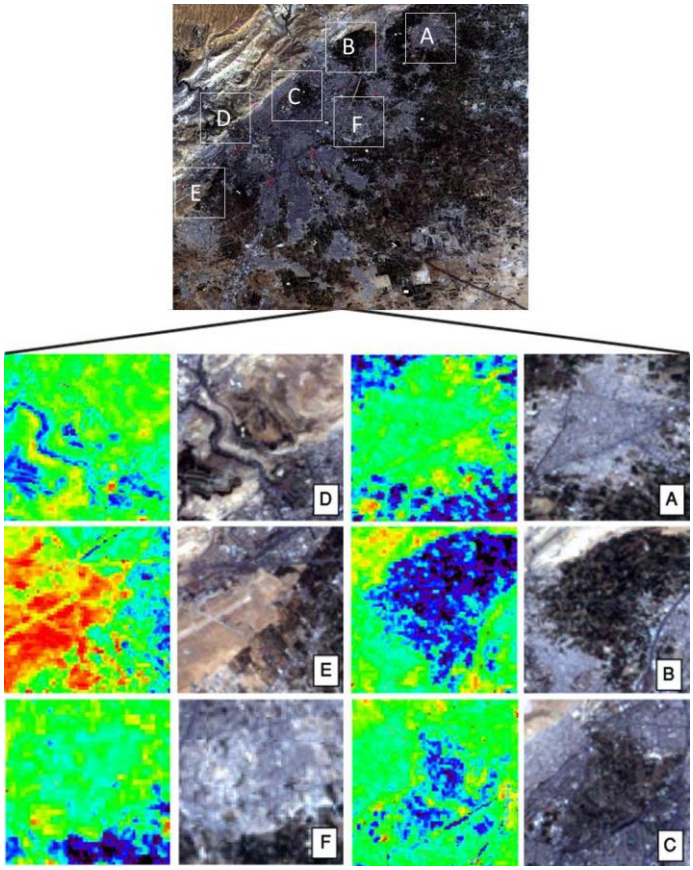
كما يُمكن من خلال توزع خطوط الكونتور لدرجة الحرارة السطحية (الشكل 11) إظهار بشكل عام الجزر الحرارية السطحية الباردة والحارة على اختلاف استعمالات الأراضي فوق منطقة البحث.



شكل (11): توزع خطوط الكونتور لدرجة الحرارة السطحية في مدينة دمشق
(بواسطة برنامج Illustrator)

وقد أُجريت مقارنات مكانية للقيم الحرارية السطحية في مناطق متنوعة من استعمالات الأراضي لتوضيح الترابط مع استعمالات الأراضي (الشكل 12). حيث تتوافق الدرجات المرتفعة مع الأراضي المبنية غير النفوذة والتي تمتد على مساحات أفقية واسعة (منطقة E مطار المزة بمتوسط حرارة) والتي تُشكّل جزيرة حرارية سطحية. بينما تُظهر المناطق العمرانية في مركز المدينة وريفها درجات حرارة سطحية أقل، يُعزى ذلك إلى الشكل الثلاثي الأبعاد المختلف الارتفاعات والاتجاهات الذي يخلق عدم تجانس حراري في

مساحة معينة (منطقة A & F مناطق ريفية بكثافة عمرانية متباينة). أمّا الاستعمالات الزراعية والمساحات الخضراء والمجاري المائية فتظهر كجزر باردة بدرجات حرارة منخفضة (منطقة B, C & D مناطق زراعية ومحمية أبو جرش ووادي نهر بردى).



شكل (12): مقارنات مكانية للقيم الحرارية السطحية في مدينة دمشق (بواسطة برنامج Illustrator)

النتائج والمقترحات:

حقق البحث الهدف المرجو وهو توضيح مفهوم الجزر الحرارية السطحية وإبراز أهم خصائصها مقارنة مع الجزر الحرارية الجوية، حيث استعمِلَت صور Landsat-7 في حساب درجات حرارة السطح لمدينة دمشق وفق خطوات منهجية لتحديد الجزر الحرارية السطحية وبيان اختلافها المكاني وفق استعمالات الأراضي في منطقة الدراسة.

ومن <u>أهم نتائج البحث:</u>

- إنّ استعمال البيانات الفضائية الحرارية يساعد في تقديم معلومات مكانية عن توزع الجزر الحرارية في المدن، والتي تعطي رؤية واضحة عن البصمة الحرارية للمدينة ضمن محيطها والتي تتأثر بالدقة المكانية لهذه البيانات، حيث ساعدت الدقة المكانية العالية (60 متر) لصور Landsat-7 على إظهار الأثر العمراني للمدينة على ريفها.
- تتعلق صحة نتائج البحث بعامل حساب درجة حرارة السطح بالدرجة الأولى من حيث أهمية إجراء عمليات التصحيح اللازمة من التأثير الجوي ومن تأثير القدرة الانبعاثية للسطح في دقة تفسير هذه النتائج.
- إنّ تشكّل الجزر الحرارية السطحية يرتبط بالتوزع المكاني لدرجة حرارة السطح التي تتعلق بشكل ملحوظ بعملية التمدّن أو التحضّر.
- ينعكس تأثير غطاء أو استعمالات الأراضي من خلال الاختلاف المكاني لتوزع درجات حرارة السطح والتي تُحدّد تشكّل الجزر الحرارية السطحية في منطقة الدراسة من حيث أثرها كجزر حرارية (الأراضي المبنية) أو جزيرة باردة (المساحات الخضراء والأراضي الزراعية التي تمتد على مساحات واسعة حول المدينة).

- إنّ الشكل الثلاثي الأبعاد للمدينة يؤدي إلى اختلافات حرارية في المناطق العمرانية التي أظهرت درجات حرارة سطحية أقل ارتفاعاً (وسطياً 27°م) مقارنة مع الأراضي المبنية كالمطارات والمساحات الواسعة والخالية من الأبنية (وسطياً 37,5°م).

مقترحات البحث:

- بما يخص النواحي التخطيطية العمرانية في المدينة: التوجه نحو العمارة الخضراء لما لها من دور واضح في التقليل من تأثير الجزر الحرارية السطحية، والتقليل من كثافة المناطق السكنية وفصلها بشوارع عريضة، لتوفير ممرات تسمح بتصريف الهواء الساخن وتعديل درجات الحرارة. والأخذ بالحسبان نوعية مواد البناء المستعملة لاختلاف خصائصها الحرارية (الانعكاسية والإنبعاثية) ومدى تأثيرها في زيادة درجة حرارة السطح. واستغلال الطاقة المتجددة للحد من الانبعاثات الحرارية في المدن.
- بما يتعلق بمنهجية البحث: تطبيق مؤشرات طيفية من أجل دراسة علاقة النسيج العمراني مع حرارة السطح المصحّحة لإبراز دور مورفولوجية المدينة (الشكل المدني) في تشكل الجزر الحرارية السطحية على مقاييس مكانية أخرى، وأثرها على العامل السكاني.
- على الرغم من أهمية استعمال البيانات الفضائية في دراسة توزع الجزر الحرارية في الوسط المدني إلا أنّ تكامل هذه الطريقة مع القياسات الميدانية سيعطي نتائج أكثر دقة وفعالية في دراسة هذه الظاهرة وخصوصاً فيما يتعلق بتوزع الجزر الحرارية الجوية في الطبقة القريبة من الأرض التي تحدث فيها معظم تبادلات الطاقة بين السطح والغلاف الجوي.

المراجع العربية

1. البخيت، عبد العزيز، الجزيرة الحرارية لمدينة دمشق، أطروحة دكتوراه غير منشورة، كلية الآداب، جامعة دمشق، دمشق، 2017.
2. حبيب، بدرية عمر، الجزيرة الحرارية لمدينة الدمام دراسة باستعمال تقنية الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، كلية الآداب للبنات الدمام، السعودية، 2007.
3. حسان، وليد عباس عبد الراض، الحرارة في مجمع القاهرة الحضري، كلية الآداب، جامعة عين شمس، أطروحة دكتوراه غير منشورة، القاهرة، 2013.
4. عبدالفتاح، أمير، تأثير التشكيل العمراني على ظاهرة الجزيرة الحرارية (تطبيق على مدينة القاهرة)، كلية التخطيط الإقليمي والعمراني، جامعة القاهرة، رسالة ماجستير، 2013.
5. قابيل، هالة، أسس تحديد درجة حرارة السطح باستعمال الصور الحرارية من Landsat-7، بحث منشور، مجلة جامعة دمشق للآداب والعلوم الإنسانية، المجلد 35، العدد الأول، دمشق، 2019.
6. محمد، بهجت، وإدريس، يونس، نظم المعلومات الجغرافية (GIS) المفاهيم ودليل استعمال برنامج (Arc view 3.2)، المجلد الأول، الطبعة الأولى، 2009.

REFERENCES

1. Barsi J. A., Schott J. R., Palluconi F. D., Helder D. L., Hook S. J., Markham B., Chander G. & O'Donnell E. M., (2003), Landsat TM and ETM+ thermal band calibration, Canadian Journal of Remote Sensing, vol. 29, n° 2, pp. 141-153.
2. Bonn F. & Rochon G., (1992). Précis de Télédétection: Principes et Méthodes, Québec, Presses de l'université de Québec AUPELF, vol. 1, 485 pages.
3. Boulfroy, E., J. Khaldoune, F. Grenon, R. Fournier et B. Talbot. (2013). Conservation des îlots de fraîcheur urbains - Description de la méthode suivie pour identifier et localiser les îlots de fraîcheur et de chaleur (méthode en 9 niveaux). CERFO et Université de Sherbrooke. Rapport 2012-11c. 40 pages.
4. Chander G., Markham B. L. & Helder D. L., (2009), Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+ and EO-1 ALI sensors, Remote Sensing of Environment, vol. 113, n° 5, pp. 893-903.
5. Coll, C.; Galve, J.M.; Sanchez, J.M.& Caselles, V. (2010).Validation of Landsat-7/ETM+ thermal-band calibration and atmospheric correction with ground-based measurements. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 48, 547–555.
6. Hamdi, R., (2010), Estimating Urban Heat Island Effects on the Temperature Series of Uccle (Brussels, Belgium) Using Remote Sensing Data and a Land Surface Scheme, Remote Sensing, 2, 2072-4292.
7. Hu, Yonghong & Jia, Gensuo, (2010), Inflence of land use change on urban heat island derived from multi-sensor data, International Journal of Climatology, 30, 1382-1395.
8. KABIL, H., (2010), Images Satellitaires et Indicateurs Environnementaux :Application urbaine à l'agglomération de Strasbourg entre 1984 et 2001, Thèse de doctorat, Université de Strasbourg, France.

9. Li, Z.-L.; Tang, B.-H.; Wu, H.; Ren, H.; Yan, G.; Wan, Z.; Trigo, I.F.& Sobrino, J.A. (2013). Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. Remote Sensing of Environment., 131, 14–37.
10. Li, Z.-L.; Wu, H.; Wang, N.; Qiu, S.; Sobrino, J.A.; Wan, Z.; Tang, B.-H.& Yan, G. (2012). Land surface emissivity retrieval from satellite data. International Journal of Remote Sensing, 34, 3084–3127.
11. Liu, Lin ; Zhang & Yuanzhi, (2011), Urban heat island analysis using the Landsat TM data and Aster data: a case study in Hong Kong, International Journal of Remote Sensing, 3, 1535-1552.
12. Masson V., (2010), Le climat urbain. In Coutard and Lévy, editors, Ecologies Urbaines, Paris, Econominca, 142-153 pages.
13. Peng S., Piao S, Ciais P, Friedlingstein P, Ottle C, Bréon F-M, Nan H, Zhou L. & Myneni R-B, (2011), Surface Urban Heat Island Across 419 Global Big Cities, Environmental Science & Technology, 46, 696−703.
14. Rinner C., Hussain M., (2011), Toronto's Urban Heat Island - Exploring the Relationship between Land Use and Surface Temperature, Remote sensing, 3, 1251-1265.
15. Sobrino, J. A., &Jimenez-Munoz, J. C. (2005). Land surface temperature retrieval from thermal infrared data: An assessment in the context of the Surface Processes and Ecosystem Changes Through Response Analysis (SPECTRA) mission. Journal of Geophysical Research, 110, D16103.
16. Sobrino J. A., Jimenez-Munoz J. C. & Paolini L., (2004), Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5, Remote Sensing of Environment, vol. 90, n° 4, pp. 434-440.
17. Srivastava P. K., Majumdar T. J. & Bhattacharya A. K., (2009), Surface temperature estimation in Singhbhum Shear Zone of India using Landsat-7 ETM+ thermal infrared data, Advances in Space Research, vol. 43, n° 10, pp. 1563-1574.

18. Stathopoulou M., Cartalis C. & Petrakis M., (2006), Integrating Corine Land Cover data and Landsat TM for surface emissivity definition: application to the urban area of Athens, Greece, International Journal of Remote Sensing, vol. 28, n° 15, pp. 3291-3304.
19. Voogt J. A., (2009), How researchers measure urban heat islands, London, University of Western Ontario, 34 pages.
20. Voogt J. A. & Oke T. R., (2003), Thermal remote sensing of urban climates, Remote Sensing of Environment, vol. 86, n° 3, pp. 370-384.
21. Zhang Y. S., Odeh I. O. A. &Han C. F., (2009), Bi-temporal characterization of land surface temperature in relation to impervious surface area, NDVI and NDBI, using a sub-pixel image analysis, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol. 11, n° 4, pp. 256-264.
22.

WEB SITS:

- http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov دليل مستخدمي بيانات لاندسات على موقع وكالة الفضاء الأمريكية المتوفر
- www.atmcorr.gsfc.nasa.gov
موقع أداة التصحيح الجوي لصور لاندسات لحساب المعاملات الجوية
- http://www.epa.gov موقع وكالة حماية البيئة الأمريكية (بيانات 2008)