

Utility of Single Channel Algorithm in Urban Heat Island Analysis

karim solaimani.^{1*} , Fatemeh Ruhani.², Morteza Shabai.³, Mohsen Rohani.⁴

1. Prof. of RS & GIS Centre, Sari University of Agric. & Natural Res., Sari, Iran

2. M.Sc. of Remote Sensing & GIS, Haraz Higher Education Institute, Amol, Iran

3. Assistant Prof., RS & GIS Centre, Sari University of Agric. & Natural Res., Sari, Iran

4. M.Sc. of Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Abstract

The increase in population and the development of urbanization and, consequently, deforested areas have caused an increase in the surface temperature in urban areas, which results in an urban heat island. The heat islands of the city is one of the factors that has become important at the same time with the development of the city and today it can be calculated and evaluated using satellite images. The objectives of this study are to evaluate the points of temperature changes, land use, vegetation, traffic and soil types relationship with surface temperature in Sari and the trend of its spatial changes during the two time periods of 1988 and 2018. For this purpose, TIRS and Landsat 5 and 8 TM images in a period of 30 years (1988-2018) were used to study the heat island changes and calculate the surface temperature with a single-channel algorithm. The results showed that during a period of 30 years with a decrease of 235.3 hectares of green space and a 34% increase in land occupation in Sari, the area of heat islands increased by 21.83%. Also, considering the value of P-value less than 0.05, it showed that there is a significant relationship between vegetation index and city occupation level with land surface temperature and it can be argued that land use change, vegetation and traffic due to population growth and land use change is one of the main factors in increasing spatial changes in the heat islands of Sari.

Keywords: Heat island, Remote sensing, Land use, Sari city.



نسخه از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال دوازدهم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۹
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.12, No. 3, Autumn 2020

۸۷-۱۰۲

مقاله پژوهشی

به کارگیری الگوریتم تک کاناله در تحلیل جزیره حرارتی منطقه شهری

کریم سلیمانی^{۱*}، فاطمه روحانی قادیکلایی^۲، مرتضی شعبانی^۳، محسن روحانی قادیکلایی^۴

۱. استاد مرکز سنجش از دور و GIS، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۲. کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، آموزش عالی آیان هراز-آمل، آمل، ایران

۳. استادیار مرکز سنجش از دور و GIS، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۴. کارشناس ارشد برنامه ریزی شهری و منطقه‌ای، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۴/۳۰

چکیده

افزایش جمعیت و توسعه شهرنشینی و به تبع آن، کاهش مناطق جنگلی سبب افزایش میزان دمای سطح زمین در مناطق شهری شده است که، در نتیجه آن، جزیره حرارتی شهری پدید می‌آید. جزایر گرمایی شهر یکی از عواملی است که هم‌زمان با توسعه شهرها اهمیت پیدا کرده است و امروزه می‌توان، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، آن را محاسبه و ارزیابی کرد. اهداف این پژوهش شامل ارزیابی نقطه‌ای تغییرات دما، ارتباط کاربری اراضی، پوشش گیاهی، ترافیک و تپ‌های خاک با دمای سطح زمین در شهر ساری و روند تغییرات مکانی آن طی دو بازه ۱۹۸۸ و ۲۰۱۸ است. بدین منظور، از تصاویر سنجنده TIRS و TM لندست ۵ و ۸، در بازه زمانی سی ساله (۲۰۱۸-۱۹۸۸)، برای بررسی تغییرات جزیره حرارتی و محاسبه دمای سطح زمین، با الگوریتم تک کاناله استفاده شد. نتایج نشان داد که طی دوره سی ساله، با کاهش ۲۳۵.۳ هکتاری از فضای سبز و افزایش ۳۴ درصدی سطح اشغال اراضی شهر ساری، وسعت جزایر حرارتی به میزان ۲۱.۸۳٪ افزایش یافت. همچنین، مقدار P-value کمتر از ۰.۰۵ نشان داد که رابطه معنی داری بین شاخص پوشش گیاهی و سطح اشغال شهر با دمای سطح زمین وجود دارد و می‌توان استدلال کرد تغییرات کاربری اراضی، پوشش گیاهی و ترافیک، که ناشی از افزایش جمعیت و تغییر کاربری اراضی است، از عوامل اصلی افزایش تغییرات مکانی در جزایر حرارتی شهر ساری محسوب می‌شوند.

کلیدواژه‌ها: جزیره حرارتی شهر، سنجش از دور، الگوریتم تک کاناله.

* نویسنده مکاتبه کننده: مرکز سنجش از دور و GIS، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، تلفن: ۰۹۱۱۱۵۲۱۸۵۸.

۱- مقدمه

همچنین، جزایر حرارتی را فراهم می‌کند. از بین داده‌های حرارتی سنجش از دور، تصاویر ماهواره‌ای جایگاه خاصی دارند و تصاویری همچون تصاویر لندست و استر و مودیس، به دلیل داشتن باندهای حرارتی، می‌توانند در برآورد دمای سطح زمین مفید واقع شوند (حجازی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲). در ایران نیز، کاربرد تصاویر گرمایی در زمینه‌های متنوع مطالعه جزیره گرمایی مورد توجه بوده است و این مطالعات، با استفاده از داده‌های سری زمانی سنجنده‌های چندگانه، تغییرات سالیانه جزیره گرمایی سطحی شهر (SUHI) را بررسی کرده‌اند. نتایج کلی حاکی از آن است که مهم‌ترین عامل تغییرات مکانی روزانه LST و SUHI تعامل پوشش سطح زمین با نور خورشید رسیده به سطح زمین است. تغییرات زیادی که در پوشش گیاهی و کاربری اراضی در بسیاری از شهرهای شمالی ایران، به ویژه شهر ساری رخ داده، از چالش‌های مهمی است که در روند توسعه شهر، محیط زیست و اقلیم منطقه نقش دارند. با توجه به اهمیت این مقوله، ارتباط کاربری اراضی با دمای سطح زمین در شهر ساری و روند تغییرات مکانی جزایر حرارتی، طی دو بازه زمانی ۱۹۸۸ و ۲۰۱۸، و عامل تأثیرگذار بر آن بررسی می‌شود. این پژوهش با هدف مطالعه ارتباط کاربری اراضی با دمای سطح زمین در شهر ساری و تجزیه و تحلیل نقطه‌ای تغییرات دمای این شهر، با استفاده از داده‌های سنجش از دور، و بررسی تأثیر ترافیک شهر در دمای سی سال و عامل تأثیرگذار در آن انجام شده است.

۲- پیشینه تحقیق

دار^۱ و همکاران (۲۰۱۹)، در پژوهش «تأثیر تغییر کاربری اراضی/ تغییر پوشش بر دمای سطح زمین با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای»، در مورد تأثیر تغییر کاربری و پوشش زمین (LULC) در LST منطقه، در داخل و اطراف بلوک راجره، بحث کردند. نتایج نشان داد که الگوی کاربری اراضی، در نوامبر ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶،

جهان امروزه جریان بی‌سابقه‌ای از شهری‌شدن را از سر می‌گذراند. رشد جمعیت و توسعه شهرنشینی یکی از عوامل مؤثر در افزایش دمای هوا در نواحی شهری است که موجب ایجاد جزیره حرارتی روی این مناطق، در مقایسه با محیط اطراف، می‌شود و آثار ناشی از آن ممکن است نقشی اساسی و مهم در کیفیت هوا و سلامت عمومی ایفا کند (علی‌طالشی و همکاران، ۱۳۹۳). جزایر حرارتی شهری به پدیده‌ای اطلاق می‌شود که در آن دمای مناطق شهری، در مقایسه با مناطق اطراف (روستایی)، نمودی آشکار داشته باشد. شهرنشینی موجب ایجاد تغییرات چشمگیری در پارامترهای هواشناسی و ویژگی‌های سطح زمین شده و در نتیجه، تغییرات زیادی در وضع هوا و اقلیم محلی به وجود آورده است (موسوی بایگی و همکاران، ۱۳۹۱). افزایش دمای سطح زمین و شکل‌گیری جزایر حرارتی، در مناطقی که بدون برنامه‌ریزی قبلی به شهر یا کلان‌شهر تبدیل شده‌اند، یکی از مشکلات اساسی زیست‌محیطی است (Alavipanah et al., 2015). دمای سطح زمین یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در مطالعات جهانی به حساب می‌آید و فاکتوری مهم در کنترل فرایندهای بیولوژیکی، شیمی و فیزیکی زمین است (Alavipanah et al., 2007). به‌طور کلی، اندازه‌گیری دما در سطح زمین در ایستگاه‌های هواشناسی، اعم از سینوپتیک و کلیماتولوژی، انجام می‌شود. این نکته را نیز باید مدنظر قرار داد که ایستگاه‌های هواشناسی فقط قادرند دما را در نقاط خاصی، که قبلاً در آنجا نصب شده‌اند، اندازه‌گیری کنند. آنچه نقص اساسی در پایش دمای سطح زمین به‌شمار می‌آید نبود ایستگاه‌های هواشناسی کافی برای آگاهی از مقادیر دمایی در نقاط فاقد ایستگاه است. امروزه این کمبودها، با استفاده از تکنولوژی سنجش از دور، تا حدی برطرف شده است (خسروی و قبادی، ۱۳۹۲). مطالعات نشان می‌دهد که نقش سنجش از دور حرارتی در مطالعه و برآورد دمای سطح زمین بسیار حائز اهمیت است. داده‌های سنجش از دور حرارتی امکان بررسی و تخمین دمای سطح زمین و

1. Dhar

محیط اطراف خود ایفا کند. مجرد و همکاران (۱۳۹۷) تغییرات دوره‌ای و فصلی جزیره گرمایی شهر کرمانشاه را، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، بررسی کردند. نتایج نشان داد مناطق شهری در طول روز، به‌خصوص در دوره گرم سال، به‌نسبت مناطق غیرشهری، دمای سطح کمتری دارند و در آن‌ها جزیره سرمایی سطحی شهری (SUCI)^۵ تشکیل می‌شود.

با توجه به نتایج این مطالعات، طی سال‌های اخیر، بسیاری از کاربری‌های زراعی و فضای سبز به منطقه مسکونی تبدیل شده است. هرچند در بررسی پیشینه تحقیق، تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی در افزایش دمای سطح زمین نقش مهمی داشته؛ در این پژوهش، علاوه بر آنها، تأثیر ترافیک ناشی از افزایش جمعیت در دمای شهری نیز بررسی شده است.

۳- مواد و روش تحقیق

۳-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر ساری، مرکز استان مازندران، از نظر موقعیت جغرافیایی بین محدوده طول شرقی ۵۳ درجه و ۳ دقیقه و عرض شمالی ۳۶ درجه و ۳۴ دقیقه واقع شده و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا حدود چهار متر است. پوشش گیاهی آن گونه‌های جنگلی و جلگه‌ای و آب‌وهوای این شهر، در تابستان‌ها، معتدل و مرطوب و در زمستان‌ها، نسبتاً سرد و خشک است. این شهر دارای کوه، جنگل و دریا و معمولاً آب‌وهوای معتدل و مرطوب است. براساس نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، جمعیت این شهر حدود ۵۰۴۲۹۸ نفر است (سازمان مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). شهر ساری، به‌دلیل نزدیکی به تهران و قرارگرفتن در مسیر ارتباطی استان خراسان رضوی، موقعیت ویژه‌ای دارد. از نزدیک‌ترین شهرهای اطراف ساری می‌توان به قائم‌شهر در غرب، نکا در شرق، جویبار در شمال و کیاسر در جنوب اشاره کرد (شکل ۱).

در راجحه تغییر یافته بود و تخریب پوشش گیاهی (بوته‌های درختی و درخت) منجر به افزایش حداقل ۱.۵ درجه سانتی‌گراد LST شد. همبستگی مثبت بین LST و NDBI مناطق شهری نشان از نقش شهرنشینی در افزایش LST دارد.

محمود و بات^۱ (۲۰۱۹) در ارزیابی شناسایی جزایر حرارتی شهری پیشاور با استفاده از دمای سطح زمین و تأثیرات آن در محیط‌زیست، داده سنجنش از دور فرسوخ حرارتی مورد استفاده برای تهیه نقشه و پایش تغییرات آب‌وهوایی در کاربری‌های گوناگون را بررسی کردند. این مطالعه روند صعودی چشمگیر دما را، در حدود ۱ تا ۳ درجه، نشان داده است.

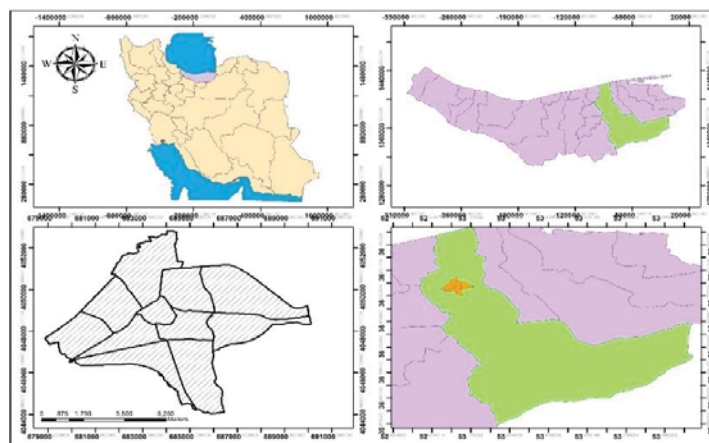
لاکرا و شارما^۲ (۲۰۱۹)، در مقاله‌ای با عنوان «ارزیابی زمین‌شناسی پویایی رشد شهری و دمای سطح زمین در منطقه آژمر، هند»، با هدف سرمایه‌گذاری برای ایجاد ارتباطی فضایی-زمانی بین LULC، ارتفاع و دمای سطح زمین (LST) پرداختند که توصیف‌کننده منطقه آژمر و مجاور آن است. با در نظر گرفتن LST، بیشینه میانگین دما برای تخریبی/ خاک ماسه‌ای، تپه‌ها/ بایر و زمین غیرمزروع پیدا و کمترین دما برای پوشش گیاهی و مکان‌های آبی مشاهده شد.

فاریا پرسا^۳ و همکاران (۲۰۱۸)، در مقاله‌ای با نام «جزیره حرارتی شهری در ریودوژانیرو^۴، برزیل، در سی سال گذشته با استفاده از داده‌های سنجنش از دور»، جزیره حرارتی شهری در منطقه شهری ریودوژانیرو را بررسی کردند. نتایج نشان داد تغییرات در طول زمان، در دو طبقه پوشش گیاهی (تراکم کم شهری و شهری)، به‌ترتیب، تا ۱.۹ درجه سانتی‌گراد و ۰.۹ درجه سانتی‌گراد، به‌جز در کلاس پوشش گیاهی، افزایشی معنی‌دار یافت.

پیرنظر و همکاران (۱۳۹۷)، با بررسی درجه حرارت سطح زمین و ارتباط آن با کلاس‌های پوشش کاربری زمین شهری تهران، برای برآورد دمای سطح زمین از تصویر لندست ۸ سنجنده TIRS و OLI و روش SEBAL استفاده کردند. نتایج نشان داد که فضای سبز، پس از کلاس آب، خنک‌ترین کلاس است و می‌تواند نقش مهمی در تعدیل دمای سطح زمین و

1. Mehmood and Butt
3. Faria Peresa
5. Surface Urban Cool Island

2. Lakra and Sharma
4. Rio de Janeiro



شکل ۱. موقعیت شهر ساری در کشور و استان مازندران

۲-۳- داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش، از داده‌های سنجنده TIRS لندست ۸، در گذر ۱۶۳ و ردیف ۳۵، برای ۲۵ اکتبر ۲۰۱۸ (سوم آبان ۱۳۹۸) و سنجنده TM لندست ۵، در گذر ۱۶۴ و ردیف ۳۵، برای ۲۹ اکتبر ۱۹۸۸ (هفتم آبان ۱۳۶۷) استفاده شد (جدول ۱). پس از انتخاب تصویر، بخشی از آن که مربوط به منطقه مورد مطالعه بود جدا گردید. سپس مراحل پیش‌پردازش، شامل تصحیحات رادیومتری و هندسی و اتمسفری، روی تصاویر اعمال و برای کاهش آثار اتمسفری در تصاویر، لندست از FLAASH استفاده شد. نرم‌افزارهای GIS، QGIS و نرم‌افزارهای پردازش سنجش از دور (ENVI) برای پردازش و تهیه نقشه‌ها به کار رفت. تصحیحات روی تصاویر تهیه‌شده از سایت USGS انجام و از تصاویر با پوشش ابر کمتر از ۱۰٪ استفاده شد. به‌منظور برآورد دمای سطح زمین، الگوریتم تک‌کاناله برای لندست ۵ و ۸ به کار رفت. داده‌های ساعتی هواشناسی ایستگاه سینوپتیک قراخیل قائمشهر

و ایستگاه سینوپتیک ساری از اداره کل هواشناسی استان مازندران تهیه و میانگین دما در نزدیکی سطح زمین، در ساعات تصویربرداری، در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. نقشه کاربری اراضی شهر برای بررسی رابطه کاربری اراضی و دمای سطح زمین نیز تهیه شد (سلیمانی، ۱۳۹۹).

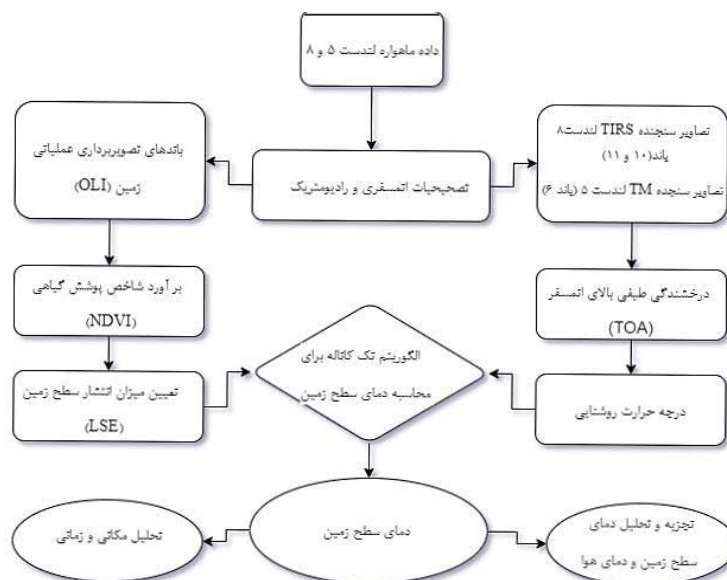
۳-۳- محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم تک‌کاناله در افزونه LST

در این پژوهش، از افزونه دمای سطح زمین^۱ برای محاسبه دمای سطح زمین در نرم‌افزار QGIS استفاده شد. این افزونه با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون ساخته و از طریق رابط برنامه‌نویسی برنامه QGIS (API)^۲ پشتیبانی می‌شود که مستقل از پلت‌فرم است و انواع کتابخانه‌های جغرافیایی منبع‌باز آن را پشتیبانی می‌کنند (Ndossi & Avdan, 2016).

جدول ۱. تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

ردیف	سنجنده	Path/Row	تاریخ برداشت (میلادی)	تاریخ برداشت (هجری شمسی)
۱	لندست ۸ (TIRS)	۱۶۳/۳۵	۲۰۱۸ اکتبر ۲۵ ۰۷:۰۱:۴۸	سوم آبان ۹۸
۲	لندست ۵ (TM)	۱۶۴/۳۵	۱۹۸۸ اکتبر ۲۹ ۰۶:۳۸:۴۰	هفتم آبان ۶۷
۳	لندست ۵ (TM)	۱۶۴/۳۵	۱۹۸۹ اکتبر ۲۵ ۰۶:۳۸:۴۰	سوم آبان ۶۸

1. Plugin Land Surface Temperature
2. Application Programming Interface



شکل ۲. فرایند محاسبه دمای سطح زمین، با استفاده از الگوریتم تک‌کاناله

$$NDVI = \frac{Band(4)5 - Band(3)4}{Band(4)5 + Band(3)4} \quad \text{رابطه (۱)}$$

اعداد داخل پرانتز باندهای معادل در لندست ۵ است.

تبدیل اعداد دیجیتال به رادینس در سنسور

$$L_{\lambda} = MLQ_{cal} + AL - O_i \quad \text{رابطه (۲)}$$

برای لندست ۵ TM، به‌قصد تبدیل DN به تابش، دو معادله وجود دارد که، به‌ترتیب، در رابطه‌های (۳) و (۴) نشان داده شده است (USGS, 2016).

$$L_{\lambda} = gain \cdot Q_{cal} + bias \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$L_{\lambda} = ((LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}) / (QCALMAX - QCALMIN)) \cdot (QCAL - QCALMIN) + LMIN_{\lambda} \quad \text{رابطه (۴)}$$

محاسبه درجه حرارت روشنایی (Wang et al., 2012)

$$T_{sen} = \frac{k_2}{\ln\left(\frac{k_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad \text{رابطه (۵)}$$

1. Single Channel Algorithm
2. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

۳-۴ الگوریتم تک‌کاناله (SCA)^۱

الگوریتم تک‌کاناله تعمیم‌یافته به‌منظور استخراج LST از یک باند فرسرخ حرارتی ساخته شده است (Jiménez-Muñoz et al., 2003). این الگوریتم از جمله روش‌های دقیق و مؤثر در برآورد دمای سطح زمین محسوب می‌شود و از ویژگی‌های مهم این روش، حذف تأثیرات جوئی است. این الگوریتم، با توجه به اینکه به اطلاعات دقیق درمورد نمایه جوئی کسب ماهواره‌ای نیاز ندارد، برای بازیابی LST از دو سنسور چندطیفی و حرارتی استفاده می‌کند (Wan et al., 1996).

۳-۵ برآورد شاخص پوشش گیاهی (NDVI)^۲

برای برآورد شاخص پوشش گیاهی، از رابطه زیر و باندهای قرمز و فرسرخ تصاویر لندست ۸ و ۵ استفاده می‌شود (Birtwistle, 2016; Kong, 2015). حد بالایی و پایینی ارزش عددی شاخص NDVI بین ۱- تا ۱+ است. معمولاً در شاخص NDVI، مقادیر کمتر از صفر مربوط به آب و ابر است، مقادیر بین صفر تا ۰.۲ خاک بایر را شامل می‌شود و مقادیر بالاتر از ۰.۲ شدت پوشش گیاهی را مشخص می‌کند (ولیزاده و همکاران، ۱۳۹۶).

در این روابط، Ts مخفف LST، Tsensor دمای روشنایی سنسور در کلوین و λ طول موج مؤثر باند فرسرخ حرارتی است.

$$C_1 = 1.19104 \cdot 10^8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^4$$

$$C_2 = 14387.7 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

پارامترهای جوی ψ_1 ، ψ_2 و ψ_3 را می‌توان،

به ترتیب، از معادلات (۲۴) تا (۲۶) تخمین زد.

$$\psi_1 = 0.14714w^2 - 0.15583w + 1.1234$$

رابطه (۱۱)

$$\psi_2 = -1.1836w^2 - 0.3760w - 0.52894$$

رابطه (۱۲)

$$\psi_3 = -0.04554w^2 + 1.8719w - 0.39071$$

رابطه (۱۳)

۳-۸- مقایسه داده‌های ایستگاه هواشناسی منطقه و

دمای سطح زمین

در این پژوهش، برای مقایسه دمای به‌دست‌آمده از تصاویر لندست و دمای هوا در ساعات تصویربرداری، از داده‌های هواشناسی ساعتی (داده‌های سه‌ساعته) ایستگاه قراخیل و ساری استفاده شد. شکل ۳ موقعیت شهر ساری و نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی را روی تصویر لندست، با ترکیب رنگی کاذب ۳، ۵ و ۷ نشان می‌دهد. برای ارزیابی دقت الگوریتم تک‌کاناله نتایج، دمای سطح منطقه مورد مطالعه برای ایستگاه مورد نظر استفاده شد. با توجه به رابطه (۱۴) که گارسیا کارثو^۱ و همکارانش در مقاله‌ای در سال ۲۰۰۶ مطرح کردند و رابطه بین دمای سطح زمین و دمای هوا، می‌توان دقت کار را برآورد کرد (صادقی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۱). طبق رابطه (۱۴)، دمای سطح زمین به دمای هوا تبدیل شد و دمای هوای منطقه به‌دست آمد.

$$T_a = 14.6 + 0.44 \cdot T_s \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

در رابطه بالا، T_a بیانگر دمای هوا و T_s دمای تشعشعی سطح است. در جدول ۲، نتایج محاسبه نمایش داده شد. نتایج مقایسه دمای هوای به‌دست‌آمده از ایستگاه هواشناسی و دمای حاصل از تصویر لندست

1. Garcia Cao

تعیین میزان انتشار سطح زمین (LSE)

برای محاسبه NDVI سطح، از رابطه (۶) در مطالعه استفاده شده است (Vandegriend et al., 1992).

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \quad \text{رابطه (۶)}$$

۳-۶- الگوریتم تخمین LSE آستانه NDVI

رابطه (۷)

(Yu et al., 2014; Carlson & Ripley, 1997)

$$P_V = \left[\frac{\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\min}}{\text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min}} \right]^2$$

۳-۷- تعیین دمای هوای نزدیک سطح و بخار آب

اتمسفر

دمای هوای نزدیک سطح، که در مطالعه به‌کار رفته، با اندازه‌گیری دما در ایستگاه‌های هواشناسی به‌دست آمده است. برای تعیین میانگین دمای جوی مؤثر، از میانگین دمای نزدیک سطح استفاده شد که از ایستگاه‌های هواشناسی ساری و قراخیل به‌دست آمد. رطوبت نسبی از داده‌های هواشناسی حاصل شده است که در این مطالعه، به‌دلیل نبودن آرشیو سی‌ساله برای ایستگاه‌های ساری و قراخیل، از داده‌های ایستگاه هواشناسی بابل‌سر استفاده شد. با تخمین از روی این داده‌ها، رطوبت نسبی سال‌های ۱۹۸۸ و ۱۹۸۹ و ۲۰۱۸، به ترتیب، ۸۵، ۸۶ و ۶۹.۴٪ برای ایستگاه قراخیل برآورد شد.

$$W_i = 0.0981 \cdot \left(10 \cdot 0.6108 \cdot \text{EXP} \left(17.27 \cdot \frac{T_0 - 273.15}{273.3} + (T_0 - 273.15) \right) \cdot \text{RH} \right) + 0.1679$$

در رابطه (۸)، W_i مخفف بخار آب جوی، T_0 مخفف دمای هوای نزدیک سطح در کلوین و RH مخفف رطوبت نسبی است.

در نهایت، با استفاده از داده‌های به‌دست‌آمده و قراردادن آنها در معادله الگوریتم تک‌کاناله، می‌توان دمای سطح زمین در منطقه مورد مطالعه را به‌دست آورد.

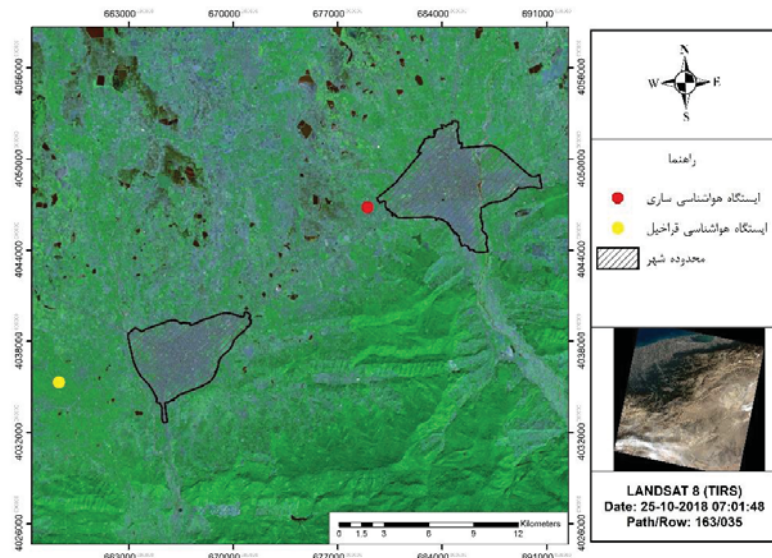
$$T_s = \gamma \left[\varepsilon^{-1} (\psi_1 L_{\text{sensor}} + \psi_2) + \psi_3 \right] + \delta \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$\gamma = \left\{ \frac{C_2 L_{\text{sensor}}}{T_{\text{sensor}}^2} \left[\frac{\lambda^4}{C_1} L_{\text{sensor}} + \lambda^{-1} \right] \right\}^{-1} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

به‌کارگیری الگوریتم تک‌کاناله در تحلیل جزیره حرارتی منطقه شهری ...

نقطه‌ای دما در ایستگاه هواشناسی و مشاهده دمای یک سطح (توان تفکیک مکانی ۱۲۰ متر) از طریق سنجنده TM رخ دهد. در سال ۲۰۱۸، با روش تک‌کاناله، این اختلاف برای ساری و قراخیل، به ترتیب، ۰.۲۲ و ۱.۲۱ درجه به‌دست آمد و که دمای به‌دست‌آمده تقریباً صحیح است.

نشان داد که در سال ۱۹۸۸، با روش تک‌کاناله، ۳.۸۸ درجه اختلاف مشاهده شد. به‌دلیل بالا بودن این اختلاف، دما برای سال ۱۹۸۹ نیز مورد بررسی قرار گرفت و اختلاف دمای داده زمینی با دمای به‌دست‌آمده از تصاویر، به‌روش تک‌کاناله، ۲.۰۹ درجه شد. این خطا ممکن است به‌علت اثر جوّی، کالیبراسیون، مشاهده



شکل ۳. موقعیت ایستگاه هواشناسی ساری و قراخیل (با ترکیب رنگی کاذب ۳، ۵، ۷)

جدول ۲. اختلاف دمای به‌دست‌آمده به‌روش تک‌کاناله برای ایستگاه با داده زمینی

تاریخ تصویربرداری	مقادیر دماهای به‌دست‌آمده	ساری	قراخیل
۱۹۸۸/۱۰/۲۹	Ta _ station	-	۱۸
	Ts _ single channel	۲۰.۱۹	۱۸.۸۴
	Ta _ single channel	۲۳.۴۸	۲۲.۸۸
	اختلاف Ta _ station با single channel	-	۳.۸۸
۱۹۸۹/۱۰/۲۵	Ta _ station	-	۲۰
	Ts _ single channel	۱۸.۳۹	۱۷.۰۳
	Ta _ single channel	۲۲.۶۹	۲۲.۰۹
	اختلاف Ta _ station با single channel	-	۲.۰۹
۲۰۱۸/۱۰/۲۵	Ta _ station	۲۹.۲	۲۷.۸
	Ts _ single channel	۳۰.۴۴	۲۹.۵۰
	Ta _ single channel	۲۷.۹۹	۲۷.۵۸
	اختلاف Ta _ station با single channel	۱.۲۱	۰.۲۲

Ts _ single channel: دمای سطح زمین که از روش تک‌کاناله به‌دست آمده است.

Ta _ single channel: بیانگر دمای هوایی است که از روش تک‌کاناله به‌دست آمده است.

Ta _ station: دمایی که از ایستگاه‌های هواشناسی به‌دست آمده است.

۴- یافته‌ها و نتایج

نتایج محاسبات انجام‌شده برای برآورد دمای سطح زمین، با استفاده از تصاویر لندست و الگوریتم تک‌کاناله، نشان داد که دما در سال‌های اخیر، به دلیل تغییر در کاربری اراضی، مصالح به‌کاررفته در ساختمان‌ها، گسترش فعالیت‌های صنعتی در شهر و کاهش پوشش گیاهی، افزایش یافته و این امر سبب افزایش و گسترش جزایر حرارتی در شهر شده است.

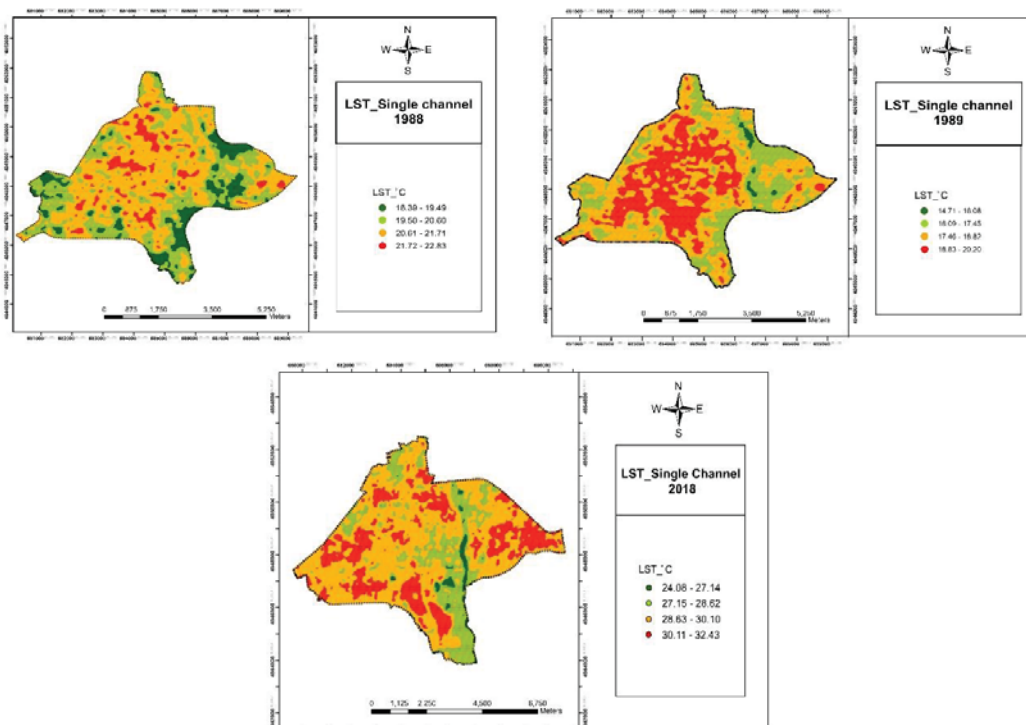
۴-۱- تغییر مکانی LST بین سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۱۸

با توجه به شکل ۴، محدوده دمای در ساعات اولیه روز و در آبان ۱۹۸۸، با روش تک‌کاناله، در محدوده ۱۸ تا ۲۳ درجه به‌دست آمد. در آبان ۱۹۸۹، این محدوده بین ۱۴ تا ۲۰ درجه و در آبان ۲۰۱۸، بین ۲۴ تا ۳۳ درجه تغییر یافت. با توجه به نقشه‌های به‌دست‌آمده، بیشترین دمای سطح زمین در مرکز و حواشی شهر و مراکز صنعتی مشاهده شد. طبق نتیجه مقایسه

سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۱۸، میزان گسترش دمایی در شهر ساری، در سال ۱۹۸۸، کمتر و اغلب در مرکز شهر بود و دمای گستره‌ای در حدود ۵۹۸ هکتار از شهر (۲۱.۸٪ کل شهر) بیشتر از میانگین دمای سطح زمین بود. اما در سال ۲۰۱۸، با گسترش شهر و افزایش فعالیت‌های صنعتی و تولیدی، وسعت این جزایر به حدود ۱۸۳۷ هکتار (۴۳.۶۳٪ از کل شهر) افزایش یافت (حدود ۱۲۳۹ هکتار یا ۲۱.۸۳٪ بیشتر از سال‌های گذشته). با این حال، تغییری در موقعیت مکانی جزایر حرارتی رخ نداد؛ فقط به صورت شعاعی گسترش یافته و مناطق بیشتری از سطح شهر را دربر گرفته‌اند.

۴-۲- تأثیر پوشش گیاهی در LST

با توجه به شاخص پوشش گیاهی تهیه‌شده از تصاویر لندست، طی سی سال گذشته، بسیاری از مناطق دارای پوشش گیاهی، مانند باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی، به دلیل ساخت‌وساز و تغییر در کاربری، به ساختمان‌های



شکل ۴. نقشه دمای سطح زمین (LST) در سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۸۹ و ۲۰۱۸ با روش تک‌کاناله

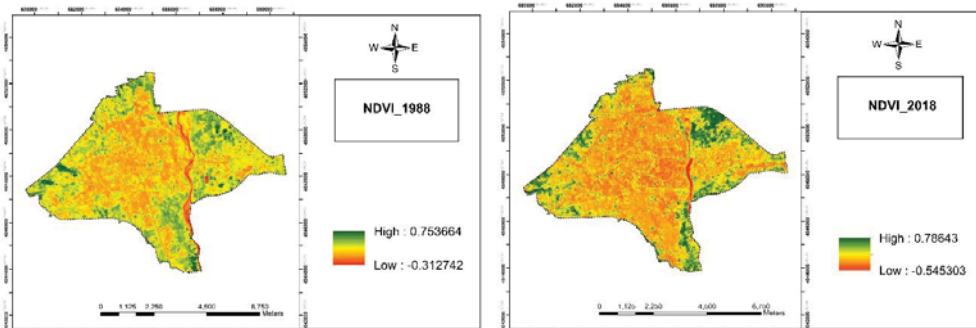
میزان دما کمتر است. شکل ۶ نمودار میزان دمای سطح زمین در دامنه‌های گوناگون NDVI را، طی این دو سال، نشان می‌دهد.

۴-۳- تأثیر تغییرات کاربری اراضی در LST

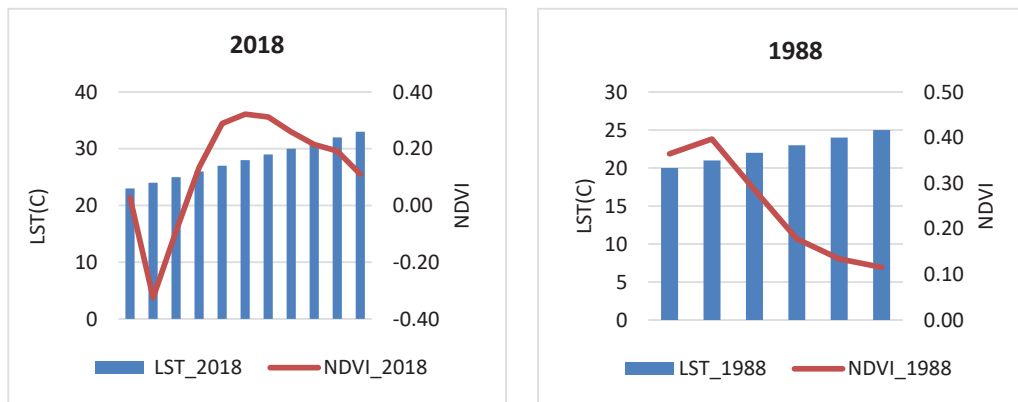
فضاهای عمومی شهر را می‌توان به‌صورت فضاهای سخت و نرم نشان داد. فضاهای سخت اصولاً با دیوارهای ساختمان‌های اطراف احاطه شده است و فضاهای نرم، مانند پارک‌ها و مسیرهای طبیعی و سبز، مرز مشخصی ندارند و در غلبه محیط طبیعی پیرامون‌اند (صالحی، ۱۳۸۷). نتایج بررسی کاربری‌های شهر (شکل ۷ و ۸) نشان داد، در شهر ساری، هرچه به مرکز نزدیک می‌شویم بر ارزش زمین در واحد سطح افزوده می‌شود زیرا به مرکز تجارت و فعالیت نزدیک می‌شویم. این، خود، باعث افزایش سطح اشغال زمین شده است؛ به‌طوری‌که میانگین سطح اشغال در سال ۱۹۸۸ حدود

مسکونی و اداره تبدیل شدند و از وسعت فضاهای سبز کاسته شد. همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده، بیشتر فضاهای سبز در حاشیه شهر و اطراف رودخانه تجن قرار گرفته است.

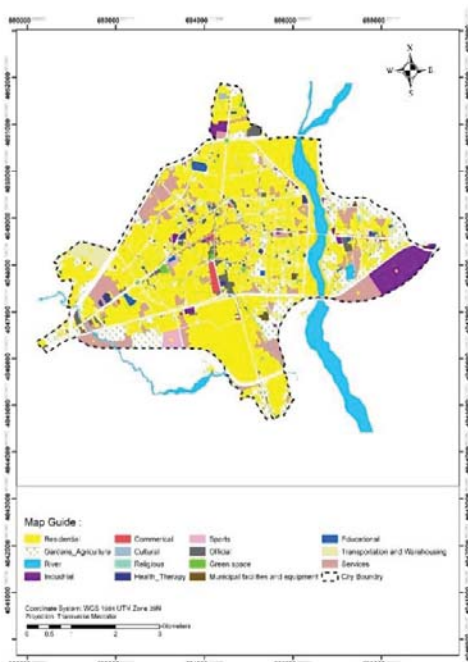
در سال ۱۹۸۸، حدود ۲۷۰۶.۲ هکتار از مساحت کل شهر زیر پوشش فضای سبز بود و این میزان، در سال ۲۰۱۸، به حدود ۲۴۷۰.۹ هکتار کاهش پیدا کرد؛ یعنی طی این سی سال نزدیک به ۲۳۵ هکتار از میزان وسعت فضاهای سبز، در محدوده شهر، کاسته شد. کمینه ارزش عددی شاخص پوشش گیاهی، طی این دو سال، از ۰.۳۱- (برای سال ۱۹۸۸) به ۰.۵۴- (برای سال ۲۰۱۸) کاهش یافت و بیشینه مقدار شاخص از ۰.۷۵۰ به ۰.۷۸ تغییر کرد. این نشان می‌دهد تغییر کاربری در شهر ساری به‌گونه‌ای بوده که میزان پوشش گیاهی این شهر کاهش معنایی داشته است. در مناطق دارای پوشش گیاهی انبوه‌تر،



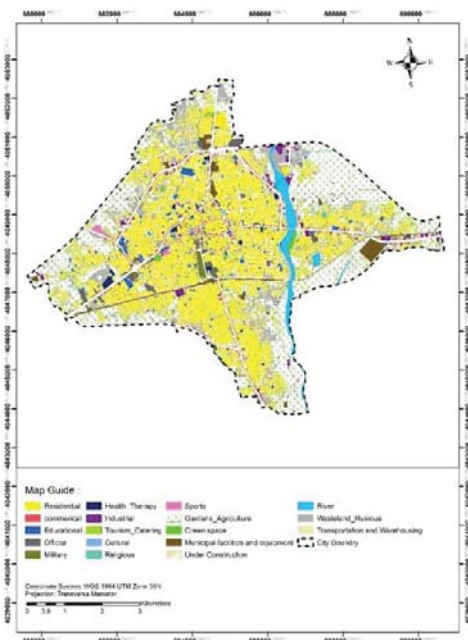
شکل ۵. نقشه شاخص پوشش گیاهی (NDVI) در سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۱۸



شکل ۶. نمودار مقایسه شاخص NDVI و LST برای سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۱۸



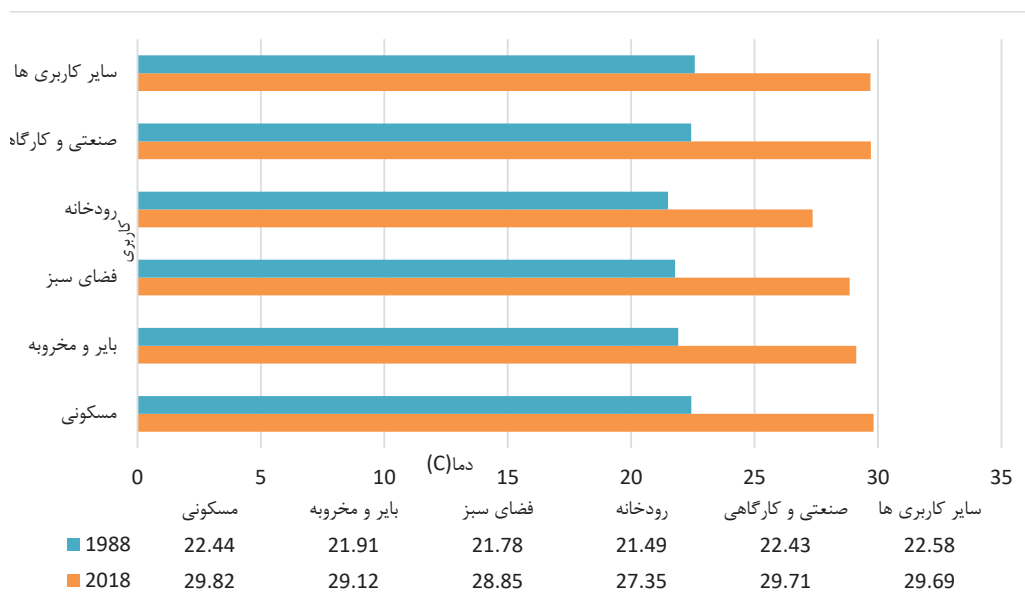
شکل ۷. نقشه کاربری اراضی شهر در سال ۱۹۸۸



شکل ۸. نقشه کاربری اراضی شهر در سال ۲۰۱۸

۴۳٪ بود و در سال ۲۰۱۸، به حدود ۷۷٪ افزایش یافت و در نتیجه، نزدیک به ۳۴٪ بر میزان میانگین سطح اشغال، طی این مدت، افزوده شد. میانگین تراکم ساختمانی، از ۱۱۶٪ در سال ۱۹۸۸، به حدود ۱۷۰٪ افزایش یافت و در نتیجه، نزدیک به ۵۴٪ بر میزان تراکم ساختمانی افزوده شد؛ در صورتی که، هرچه به اطراف شهر می‌رویم، ارزش زمین و سطح اشغال و تراکم کاهش می‌یابد. بیشترین دمای سطح زمین و تمرکز جزایر حرارتی شهر در مرکز آن دیده می‌شود زیرا بیشترین مراکز صنعتی، تولیدی، بار بالای ترافیکی و راه‌های آسفالت شهری را داراست. با توجه به نقشه‌های پوشش گیاهی و کاربری اراضی، در مناطق دارای فضای سبز و نیز اطراف رودخانه شهر (تجن)، دما کمتر است. برعکس، با دورتر شدن از فضای سبز و مناطق آبی و نیز در مرکز شهر، مناطق صنعتی، مراکز تولیدی و دیگر کاربری‌های خدماتی، دما افزایش می‌یابد. طی این سی سال بسیاری از مراکز، همچون مزارع و دشت‌ها، تغییر کاربری داده و کاربری مسکونی و باغات یافته‌اند. این تغییر کاربری‌ها، در کنار افزایش فعالیت‌های انسانی و دستکاری‌های انسان و نیز توسعه شهر، تأثیر به‌سزایی در افزایش دما داشته است. در سال ۲۰۱۸، میانگین کمترین دما مربوط به رودخانه و بیشترین دما مربوط به پایانه، تجهیزات شهری، کاربری‌های تجاری، صنعتی و خدماتی بوده و در سال ۱۹۸۸، میانگین کمترین دما مربوط به رودخانه و بیشترین آن مربوط به کاربری‌های خدماتی شهر بوده است.

در شکل ۹، نمودار دمای سطح زمین در برخی کاربری‌های شهری بررسی شده است. برطبق آن، دمای این دو سال در مناطق دارای مراکز صنعتی، تجاری و خدماتی بیشتر از سایر مناطق بوده و در نواحی دارای کاربری آبی و فضای سبز، کمترین مقدار را داشته است. در سال ۲۰۱۸، میانگین کمترین دما به رودخانه و بیشترین دما به پایانه، تجهیزات شهری، کاربری خدماتی، تجاری و صنعتی تعلق داشته است. در سال ۱۹۸۸ نیز، میانگین کمترین دما به رودخانه و بیشترین آن به کاربری خدماتی شهر متعلق بوده است.



شکل ۹. نمودار مقایسه‌ای دمای سطح زمین در سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۱۸

امروزه، برای مشخص کردن کیفیت جریان ترافیک یا سطح سرویس‌دهی، دو پارامتر سرعت سفر و نسبت حجم ترافیک موجود به ظرفیت مسیر را در نظر می‌گیرند. برای سنجش کیفیت ترافیک، شش وضعیت در نظر گرفته می‌شود که در جدول ۴ بیان شده است (مرکز کنترل ترافیک سازمان مدیریت و مهندسی شبکه حمل‌ونقل شهرداری ساری، ۱۳۹۸).

جدول ۳. میزان ترافیک شهر در ساعت ماکزیمم (سال ۱۳۶۵)

شهر	میزان ترافیک (1mm=100pcu)
ساری- قائم‌شهر	۹۷۶
ساری- گرگان	۶۶۴
ساری- فرح‌آباد	۳۲۷
ساری- کیاسر	۱۳۲

جدول ۴. کیفیت جریان ترافیک (سال ۱۳۸۵)

کیفیت	توضیح
A	عالی
B	بسیار خوب
C	خوب
D	حداقل کیفیت پذیرفتنی
E	کیفیت در وضعیت استفاده از ظرفیت مطلق (نامناسب)
F	کیفیت در حالت بسیار ضعیف (ناپایدار و راه‌بندان)

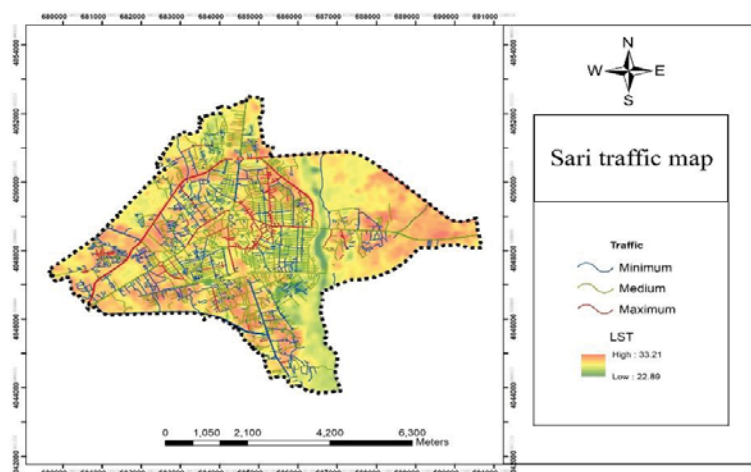
۴-۴- تأثیر میزان ترافیک حمل‌ونقل شهری در دمای

سطح زمین

امروزه، با افزایش جمعیت، لزوم استفاده از وسایل نقلیه نیز به‌مراتب افزایش یافته است. این نوع وسایل، با سوزاندن بنزین و گازوییل، باعث افزایش دمای محیط می‌شوند و بنابراین، در گسترش جزایر حرارتی نقش به‌سزایی دارند. طی این دوران، با افزایش وسایل نقلیه، میزان ترافیک شهر نیز افزایش یافت. در سال ۱۳۶۵، مطابق جدول ۳، میزان ترافیک در ساعت ماکزیمم در شهر بررسی شد و مسیر ساری به قائم‌شهر دارای بیشترین بار ترافیکی و مسیر ساری به کیاسر دارای کمترین مقدار بود. وضعیت خیابان‌های داخلی شهر بدین‌قرار بوده است: خیابان انقلاب، با حجم ترافیکی ۱۶۸۵ اتومبیل در ساعت، بیشترین مقدار را داشت؛ میدان شهدا، با ۱۴۹۰ اتومبیل در ساعت، در رتبه دوم قرار گرفت؛ خیابان جمهوری اسلامی و آزادی و امیر مازندرانی هم، با ترافیک ساعتی ۱۲۳۴ و ۹۶۶ و ۸۸۸ اتومبیل، در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. خیابان مهدی‌آباد کمترین میزان (۲۵۰ اتومبیل در ساعت) و خیابان‌های کوروش کبیر و سعدی مقادیری در همین حدود و کمی بیش از آن را داشته‌اند.

خروجی و مرکز شهر است که دارای بار ترافیکی بیشتر و کیفیت جریان نامناسب و ناپایدارند. در نهایت، با بررسی رگرسیون خطی چندمتغیره بین دمای سطح زمین دارای شاخص پوشش گیاهی، سطح اشغال منطقه و تراکم ساختمانی، نتایج جدول ۵ حاصل شد. طبق این نتایج، از آنجاکه مقدار ضریب تعیین و ضریب تعیین تعدیل شده به ۱ نزدیک تر است، به نظر می‌رسد مدل رگرسیونی مناسب است و بیانگر رابطه بیشتر بین متغیر مستقل و وابسته است. با توجه به جدول تحلیل واریانس، اگر مقدار F بزرگ‌تر و مقدار $F = 0.0 < 0.05$ معنی‌دار باشد، نتیجه می‌گیریم که مدل رگرسیونی مناسب خواهد بود زیرا بیشتر تغییرات متغیر وابسته در این مدل دیده شده است. مقدار P به دست آمده برای هر متغیر کمتر از ۰.۰۵ است و از آنجاکه کمتر از ۰.۰۵ فرض صفر رد می‌شود؛ بین شاخص پوشش گیاهی، سطح اشغال و تراکم ساختمانی با دمای سطح زمین رابطه معنی‌داری وجود دارد و مناسب بودن مدل رگرسیونی را نشان می‌دهد.

زمان تصویربرداری میزان ترافیک، در ساعات صبحگاهی، بخش ابتدایی کمربندی شمالی سطح سرویس A و کمربندی جنوبی، بخش‌هایی از بلوار کشاورز و جاده جویبار سطح سرویس B را دارند. کیفیت جریان ترافیک در این معابر عالی و بسیار خوب و جریان ترافیک روان است. بیشتر معابر، در ساعات اوج صبحگاهی، سطح سرویس C و D را دارند. برخی معابر مورد بررسی دارای سطح سرویس E و F است. در این حالت، کیفیت جریان نامناسب و جریان ترافیک ناپایدار است و گاهی راه‌بندان اتفاق می‌افتد. خیابان فرهنگ و بخشی از خیابان‌های معلم، بهشتی، ولی‌عصر، سلمان فارسی و برخی دیگر خیابان‌ها سطح سرویس E را دارند. از مهم‌ترین خیابان‌های دارای سطح سرویس F، می‌توان خیابان‌های مازیار و بخش‌هایی از فردوسی، ولی‌عصر، سی‌متری میان‌گذر شمالی، معلم و طالقانی را نام برد (مرکز کنترل ترافیک سازمان مدیریت و مهندسی شبکه حمل‌ونقل شهرداری ساری، ۱۳۹۸). با توجه به شکل ۱۰، بیشترین دما مربوط به معابر



شکل ۱۰. نقشه حداکثر ترافیک شهر ساری

جدول ۵. خروجی به‌دست‌آمده از رگرسیون خطی چندمتغیره

تحلیل رگرسیون	
رگرسیون چندگانه	۰.۹۶
ضریب تعیین	۰.۹۲
ضریب تعیین تعدیل‌شده	۰.۸۸
خطای استاندارد	۱.۱۴
مشاهدات	۱۱

P مقدار	t- آماری	خطای استاندارد	ضریب
۰.۰۰	۱۲.۶۵	۴.۴۶	۵۶.۴۳
۰.۲۵	۱.۲۶-	۰.۰۸	۰.۱۰-
۰.۳۶	۰.۹۸	۲.۴۲	۲.۳۸
۰.۰۱	۳.۵۷-	۰.۰۵	۰.۱۷-

تحلیل واریانس					
معنی‌داری F	F	MS	SS	df	رگرسیون
۰.۰۰	۲۵.۶۶	۳۳.۶۱	۱۰۰.۸۳	۳.۰۰	رگرسیون
		۱.۳۱	۹.۱۷	۷.۰۰	مانده
			۱۱۰.۰۰	۱۰.۰۰	مجموع

۵- بحث و نتیجه‌گیری

بیانگر بالابودن دما در کاربری‌های صنعتی و مسکونی و پایین‌بودن آن در مناطق آبی و فضای سبز است. از نظر ترافیکی، تغییرات در این بازه بالابودن دما را در مناطقی نشان می‌دهند که بار ترافیکی بیشتر و راه‌بندان داشته‌اند. دمای به‌دست‌آمده در خیابان‌های خروجی و مرکز شهر نشان داد، به‌دلیل حجم ترافیک بالا و راه‌بندان‌ها در خیابان‌های دارای جریان نامناسب و ناپایدار، دما نیز به‌نسبت افزایش داشته است و می‌توان گفت ترافیک ناشی از وسایل حمل‌ونقل، در افزایش دما طی این سال‌ها، نقش مؤثری دارد. اکنون، با توجه به نتایج، می‌توان استدلال کرد که تغییرات کاربری اراضی، تغییرات پوشش گیاهی و افزایش ترافیک، که ناشی از افزایش جمعیت و دخل‌وتصرف‌های انسانی است، همگام با هم، سبب افزایش تغییرات مکانی در جزایر حرارتی شهر ساری شده‌اند. براساس یافته‌های این پژوهش، نقاط گرمایی بر نقاط ترافیکی و پهنه‌های آلوده شهری منطبق‌اند. استقرار صنایع در محیط شهری نیز به شکل‌گیری پهنه‌هایی، در مقایسه با نقاط پیرامونی، منجر شده است. این موضوع یافته‌های احمدی و همکاران (۱۳۹۱) را تأیید می‌کند.

با توجه به جدول ۵، نقشه‌ها و نمودارهای حاصل از مطالعه تغییرات مکانی جزایر حرارتی و عوامل تأثیرگذار در آن در شهر ساری، در بازه زمانی ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۸، گویای این است که، طی این سی سال، با کاهش ۲۳۵ هکتاری از فضای سبز و افزایش ۳۴ درصدی سطح اشغال در منطقه مورد آزمون، t- آماری مطالعه وسعت جزایر حرارتی به‌میزان ۲۱.۸۳٪ افزایش یافت. این مقدار با روش رگرسیون خطی چندمتغیره محاسبه شد و نتایج نشان داد مقدار P کمتر از ۰.۰۵ است و رابطه معنی‌داری بین شاخص پوشش گیاهی، سطح اشغال و تراکم ساختمانی شهر با دمای سطح زمین وجود دارد. در خصوص تغییرات مکانی جزایر حرارتی محدوده دمایی بازه سی‌ساله افزایشی بوده است. همچنین جزایر حرارتی، طی این چند سال، در مرکز شهر قرار داشته‌اند و فقط به‌صورت شعاعی افزایش یافته‌اند. درباره عامل تأثیرگذار در LST در بخش پوشش گیاهی، می‌توان گفت که تغییرات در این بازه زمانی گویای پایین‌بودن دما در مناطق دارای شاخص پوشش گیاهی بالاست. در بخش کاربری اراضی نیز، تغییرات در بازه زمانی مذکور

محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از روش سبال و درخت تصمیم‌گیری در محیط RS، GIS در بخش مرکزی منطقه مراغه، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۶، شماره ۳۸، صص. ۱۹-۴۲.

حجازی‌زاده، ز.، ضیائی‌ان، پ.، شیرخانی، ع.، ۱۳۹۲، مقایسه تخمین دمای سطح با استفاده از داده‌های باند حرارتی سنجنده‌های ماهواره‌ای در غرب استان تهران و قزوین، فصلنامه بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران، دوره ۱۱، شماره ۳۸، صص. ۳۳-۴۹.

خسروی، م.، قبادی، ا.، ۱۳۹۲، بررسی مقایسه تأثیر جمعیت بر سازمان‌یابی فضایی نقاط شهری با تأکید بر عملکرد جزیره گرمایی (نمونه موردی: استان تهران و البرز)، نخستین کنفرانس آب‌وهواشناسی، کرمان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی و صنعتی و فناوری پیشرفته. سازمان مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵.

سلیمانی، ک.، ۱۳۹۹، تحلیل روند تغییرات مکانی و زمانی کاربری اراضی شهر ساری با استفاده از سنجنش از دور، فصلنامه مطالعات ساختار و کارکرد شهری، سال ۷، شماره ۲۴، صص. ۷۲-۵۷. صادقی‌نیا، ع.، علیجانی، ب.، ضیائی‌ان، پ.، ۱۳۹۱، تحلیل فضایی - زمانی جزیره حرارتی کلان‌شهر تهران با استفاده از سنجنش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، جغرافیا و مخاطرات طبیعی، دوره ۱، شماره ۴، صص. ۱-۱۷. صالحی، ا.، ۱۳۸۷، ویژگی‌های محیطی فضاهای شهری امن، مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران، تهران. طرح تفصیلی شهر ساری، ۱۳۶۵. طرح تفصیلی شهر ساری، ۱۳۸۵.

درعین‌حال، به سبب نقش پوشش گیاهی در تعدیل دما و کاهش چشمگیر جزایر حرارتی شهری، قرارگرفتن نقاط سرد در شهر با الگوی پوشش گیاهی هماهنگی کامل دارد. این یافته با پژوهش شینپنگ^۱ و همکاران (۲۰۱۱) نیز مطابقت دارد. در سال‌های اخیر، این مسئله در مقالاتی بررسی شده است؛ مانند نتایج بررسی دمای سطح زمین در مقاله ولیزاده و همکاران (۱۳۹۶) که وجود تفاوت معنی‌داری را بین کاربری‌های گوناگون مطرح می‌کند و مطابق آن در مناطقی با سطوح نفوذناپذیر، مانند آسفالت، پوشش گیاهی کم، سوخت‌های فسیلی و افزایش آلودگی دمای سطح زمین بیشتر است و این موارد سبب ایجاد جزایر حرارتی در نواحی مورد نظر خواهد شد.

قدردانی: این مقاله حاصل پایان‌نامه دانشجوی کارشناسی ارشد سنجنش از دور در مؤسسه غیرانتفاعی آبان هراز آمل، با موضوع جزایر حرارتی مناطق شهری، است؛ بنابراین، لازم می‌دانیم از حمایت‌های همه کسانی که با نویسندگان همکاری داشتند سپاسگزاری کنیم.

۶- منابع

احمدی، م.، عاشورلو، د.، نارنگی‌فرد، م.، ۱۳۹۱، تغییرات مکانی الگوهای حرارتی شهر شیراز با استفاده از داده‌های سنجنده TM و ETM، سنجنش از دور و GIS ایران، سال ۴، شماره ۴ (پیاپی ۱۶)، صص. ۶۸-۵۵. اداره هواشناسی استان مازندران، ۲۰۱۸. پیرنظر، م.، روستایی، ش.، فیضی‌زاده، ب.، رئیسی نافچی، ف.، ۱۳۹۷، بررسی درجه حرارت سطح زمین و ارتباط آن با کلاس‌های پوشش کاربری زمین شهری با استفاده از داده‌های سنجنده لندست ۸ - مطالعه موردی شهر تهران، مجله آمایش جغرافیایی فضا، دوره ۸، شماره ۲۹، صص. ۲۲۷-۲۴۰. جهانبخش، س.، زاهدی، م.، ولیزاده کامران، خ.، ۱۳۹۰،

1. Xingping

- Birtwistle, A.N., Laituri, M., Bledsoe, B. & Friedman, J.M., 2016, **Using NDVI to Measure Precipitation in Semi-Arid Landscapes**, Journal of Arid Environments, 131, PP. 15-24.
- Carlson, T.N., Ripley, D.A., 1997, **On the Relation between NDVI, Fractional Vegetation cover, and Leaf Area Index**, Remote Sens. Environ., 62, PP. 241-252.
- Dhar, R. B., Chakraborty, S., Chattopadhyay, R., & Sikdar, P. K. (2019). **Impact of Land-Use/Land-Cover Change on Land Surface Temperature Using Satellite Data: A Case Study of Rajarhat Block, North 24-Parganas District, West Bengal**. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 47(2), 331-348.
- Faria Peresa, L., Lucenab, A., Rotunno Filho, O. & Almeida França, J., 2018, **The Urban Heat Island in Rio de Janeiro, Brazil, in the Last 30 Years Using Remote Sensing Data**, Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation, 64, PP. 104-116.
- Jiménez-Muñoz, J.C. & Sobrino, J.A., 2003, **A Generalized Single-Channel Method for Retrieving Land Surface Temperature from Remote Sensing Data**, J. Geophys. Res., 108.
- Kong, T.M., Marsh, S.E., van Rooyen, A.F., Kellner, K. & Orr, B.J., 2015, **Assessing Rangeland Condition in the Kalahari Duneveld through Local Ecological Knowledge of Livestock Farmers and Remotely Sensed Data**, Journal of Arid Environments, 113, PP. 77-86.
- Lakra, K. & Sharma, D., 2019, **Geospatial Assessment of Urban Growth Dynamics and Land Surface Temperature in Ajmer Region, India**, Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 47, PP. 1073-1089.
- علی‌طالشی، م.، ستوده، ا.، صبوچی، م.، نیازی، ی.، ۱۳۹۳، **ارزیابی اثرات پوشش زمین بر دمای سطح زمین با کاربرد سنجش از دور حرارتی: مطالعه موردی در تهران**، پژوهش‌های محیط‌زیست، پیاپی ۱۰، صص. ۶۹-۷۸.
- مجرد، ف.، ناصریه، م.، هاشمی، س.، ۱۳۹۷، **بررسی تغییرات دوره‌ای و فصلی جزیره گرمایی شهر کرمانشاه در شب و روز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای**، فیزیک و فضا، شماره ۲، صص. ۴۹۴-۴۷۹.
- مرکز کنترل ترافیک سازمان مدیریت و مهندسی شبکه حمل‌ونقل شهرداری ساری، ۱۳۹۸.
- موسوی بایگی، م.، اشرف، ب.، فرید حسینی، ع.، میان‌آبادی، آ.، ۱۳۹۱، **بررسی جزیره حرارتی شهر مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نظریه فرکتال**، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱، صص. ۳۵-۴۹.
- ولیزاده کامران، خ.، غلام‌نیا، خ.، عینالی، گ.، موسوی، م.، ۱۳۹۶، **برآورد دمای سطح زمین و استخراج جزایر حرارتی با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا و تحلیل رگرسیون چندمتغیره (مطالعه موردی: شهر زنجان)**، پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، شماره ۳۰، صص. ۳۵-۵۰.
- Alavipanah, S.K., Darrehbadami, S.H. & Kazemzadeh, A., 2015, **Spatial-Temporal Analysis of Urban Heat-Island of Mashhad City due to Land Use/Cover Change and Expansion**.
- Alavipanah, S.K., Saradjian, M., Savaghebi, Gh.R., Komaki, Ch.B., Moghimi, E., Karimpur Reyhan, M., 2007, **Land Surface Temperature in the Yardang Region of Lut Desert (Iran) Based on Field Measurements and Landsat Thermaldata**, Journal of Agriculturalscience and Technology (JAST), 9, PP. 287-303.

- Mehmood, R. & Butt, M.A., 2019, **Appraisal of Urban Heat Island Detection of Peshawar Using Land Surface Temperature and Its Impacts on Environment**, Journal of the Indian Society of Remote Sensing, PP. 1-6.
- Ndossi, M.I. & Avdan, U., 2016, **Application of Open Source Coding Technologies in the Production of Land Surface Temperature (LST) Maps from Landsat: A PyQGIS Plugin**, Journal Remote Sens, 8, P. 413.
- USGS. Frequently Asked Questions about the Landsat Missions**, Available online: http://landsat.usgs.gov/how_is_radiance_calculated.php (accessed on 24 March 2016).
- Vandegriend, A., Owe, M., Vugts, H. & Ramothwa, G., 1992, **Botswana Water and Surface Energy Balance Research Program**, Part 1: Integrated Approach and Field Campaign Results, NASA Goddard Space Flight Center: Greenbelt, MD, USA.
- Wan, Z. & Dozier, J., 1996, **A generalized Split-Window Algorithm for Retrieving Land-Surface Temperature from Space**, Geoscience and Remote Sensing, 34(4), PP. 892-905.
- Wang, S.L.L., 2012, **Land-Surface Temperature and Thermal Infrared Emissivity**, In Advanced Remote Sensing, Wang, S.L.L., (Ed.), Academic Press: Boston, FL, USA.
- Xingping, W., Xiaofeng, Y. & Guangdao, Hu., 2011, **Relationship between Land Cover Ratio and Urban Heat Island from Remote Sensing and Automatic Weather Stations Data**, J. Indian Soc. Remote Sens, 39(2), PP. 193-201.
- Yu, X., Guo, X. & Wu, Z., 2014, **Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 TIRS—Comparison between Radiative Transfer Equation-Based Method, Split Window Algorithm and Single Channel Method**, Remote Sens., 6, PP. 9829-9852.