



نسخه از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال پانزدهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۲
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.15, No. 3, Autumn 2023

۱-۲۶

مقاله پژوهشی

بررسی و مدل‌سازی تأثیر ترکیب و آرایش چشم‌انداز شهر یزد بر دمای سطح زمین

با استفاده از یادگیری ماشین و داده‌های لندست-۸ و سنتینل-۲

محمد منصورمقدم^۱، ایمان روستا^{۲*}، محمدصادق زمانی^۳، محمدحسین مختاری^۴، محمد کریمی فیروزجایی^۵، سید کاظم علوی‌پناه^۶

۱. دانشجوی دکتری سنجش از دور، مرکز مطالعات سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۲. استادیار اقلیم‌شناسی ماهواره‌ای، دانشگاه یزد، یزد

۳. استادیار علوم ریاضی، دانشگاه یزد، یزد

۴. دانشیار سنجش از دور، دانشگاه یزد، یزد

۵. گروه سنجش از دور، دانشگاه تهران، تهران

۶. استاد سنجش از دور، دانشگاه تهران، تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۱۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۰۶

چکیده

اثر جزیره گرمایی شهری، به دلیل تلاقی با چالش‌های محیط‌زیستی مهم قرن بیست‌ویکم، یکی از مهم‌ترین بررسی‌ها در زمینه پدیده‌های محیط‌زیستی است. در همین راستا، مطالعه دمای سطح زمین (LST) چشم‌انداز واضحی از بررسی جزایر گرمایی در شهرها به دست می‌دهد که با توجه به اقلیم گرم‌وخشک شهر یزد، بررسی وضعیت و عوامل اثرگذار بر LST، در این شهر را ضروری می‌نمایاند. این پژوهش با استفاده از تصویر فیوژن شده طیفی و مکانی لندست-۸، متعلق به ماه اوت سال ۲۰۲۰ م. و با بهره‌گیری از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، سعی دارد تغییرات LST را با محاسبه پارامترهای گوناگون مرتبط با چشم‌انداز سطح زمین شهری، مدل کند. براساس نتایج این پژوهش، فیوژن طیفی- مکانی تصویر لندست-۸ با سنتینل-۲ به روش بارزسازی پن، موجب افزایش ۱۰/۷ درصدی دقت کلی و ۱۶/۵ درصدی ضریب کاپا در طبقه‌بندی این تصویر شده است. این پژوهش همچنین نشان داد که بیشتر پارامترهای مرتبط با همسایگی با پوشش اراضی در رده ۱ تا ۱۱ تأثیرگذاری بر LST شهر یزد قرار دارند. در این بین، مجاورت با پوشش زمین‌های بایر در شعاع ۱۰۰ و ۵۰ و ۱۵۰ متر، به ترتیب، رتبه نخست تا سوم مهم‌ترین پارامترهای اثرگذار بر LST را از آن خود کردند. بر مبنای این پژوهش، تغییر آرایش پوشش اراضی می‌تواند بر LST مؤثر باشد و تغییر پوشش زمین‌های بایر به مناطق ساخته‌شده تا 1°C ، به پوشش گیاهی تا $2/1^{\circ}\text{C}$ و تغییر ۳۰٪ از زمین‌های بایر به پوشش گیاهی، تا $1/6^{\circ}\text{C}$ می‌تواند میانگین LST را در شهر یزد کاهش دهد. به علاوه پژوهش حاضر، با بررسی دو رویکرد متفاوت شبیه‌سازی ایجاد پوشش گیاهی در سطح شهر یزد، نشان داد رویکرد «صرفه‌جویی در زمین» می‌تواند میانگین LST را در شهر یزد، تا $1/3^{\circ}\text{C}$ درجه و رویکرد «تقسیم زمین» می‌تواند آن را تا $1/4^{\circ}\text{C}$ کاهش دهد.

کلید واژه‌ها: گرادیان بوستینگ، فیوژن تصویر، پارامترهای شهری، شبیه‌سازی پوشش اراضی، سنجش از دور.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: یزد، دانشگاه یزد، گروه جغرافیا. تلفن: ۸۹۱۵۸۱۸۴۱۱

Email: irousta@yazd.ac.ir
https://orcid.org/0000-0002-3694-6936
https://dx.doi.org/10.48308/gisj.2023.102195



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

۱- مقدمه

اکوسیستم است که از طریق تقسیم فضای سبز در مناطق شهری ارائه می‌شود. یکی از مؤلفه‌های اساسی بحث درباره زمین‌های شهری، دراین‌زمینه، رویکرد تقسیم زمین (بیانگر تراکم کمتر و پراکندگی بیشتر کاربری‌های زمین شهری) در برابر رویکرد صرفه‌جویی در زمین (بیانگر تراکم بیشتر و پراکندگی کمتر کاربری‌ها) است (Collas et al., 2017; Stott et al., 2015).

به‌منظور استفاده بهینه از منابع زمینی، کسب اطلاعات از پتانسیل زمین ضروری به‌نظر می‌رسد که با توجه به دگرگونی‌های عمده در شیوه استفاده از زمین، تصاویر چندطیفی فتاوری سنجنش از دور در نقش ابزاری مهم در بررسی این تغییرات ظاهر شده است (Amiri, et al., 2009; Mansourmoghaddam et al., 2022a). در سال‌های اخیر، کاربرد سنجنش از دور حرارتی در مناطق شهری اغلب مبتنی بر جنبه‌هایی مانند مطالعه LST و ساختار فضایی الگوهای گرمایی شهرها، در ارتباط با پارامترهای سطح زمین، توازن و شار انرژی سطح شهری (Grimmond, 2006; Piringer et al., 2002) و ارتباط بین دمای اتمسفری و LST (Jiang & Tian, 2010) بوده است. یادگیری ماشین^۱ شاخه‌ای از هوش مصنوعی^۲ و دانش رایانه‌ای است که بر استفاده از داده‌ها و الگوریتم‌ها به‌منظور یادگیری و بهبود تدریجی دقت عملکرد، همانند انسان، تأکید دارد و جزء مهمی از زمینه در حال رشد علوم داده است (IBM, 2020). ترکیب سنجنش از دور و یادگیری ماشین می‌تواند به استفاده هرچه بیشتر الگوریتم‌های پیشرفته و دقیق ریاضی، در شناخت و حل مسائل محیطی منجر شود.

پنگ^۳ و همکاران (۲۰۲۰)، در پژوهشی، ارتباط بین LST و عناصر توپوگرافیک در هانگژو^۴ چین را بررسی کردند. این پژوهش همبستگی منفی بین LST با ارتفاع

افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی گرمایی سطوح شهری باعث ایجاد جزایر گرمایی شهری می‌شود و این مسئله عامل گرم‌تر بودن مناطق ساخته‌شده شهری در قیاس با مناطق روستایی اطراف آنهاست (Oke, 1982; Rizwan et al., 2008; Taha, 1997). این تفاوت محلی در دما تأثیر منفی در مردم و محیط‌زیست می‌گذارد زیرا کیفیت هوا را کاهش و مصرف انرژی را افزایش می‌دهد؛ همچنین موجب از دست رفتن کنترل بیولوژیکی می‌شود و در سلامت افراد تأثیر می‌گذارد (Grimmond, 2007; Kikegawa, et al., 2003; Meineke et al., 2014; Plocoste et al., 2014). پیشرفت‌های وسیع در سنجنش از دور حرارتی، سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های آماری، امکان توصیف و تشریح ارتباطات بین چشم‌اندازها و جزایر گرمایی شهری را به جامعه علمی داده است (Tran et al., 2017). برای توصیف چشم‌اندازهای شهری، دو اصطلاح استفاده می‌شود: ترکیب چشم‌انداز که به تعداد (یا نسبت) دسته‌های کاربری اراضی در یک واحد تعریف شده اشاره دارد (برای نمونه، یک مسیر، پیکسل یا منطقه) و آرایش چشم‌اندازها که آرایش فضایی آن واحدها را در نظر می‌گیرد (Osborne & Alvares-Sanches, 2019). از سویی، دمای سطح زمین (LST)^۱ رابطه‌ای مستقیم با پوشش/ کاربری اراضی دارد (Quattrochi & Luvall, 1999)؛ بنابراین بررسی رابطه پوشش/ کاربری اراضی و LST، به‌منظور کشف اثر پوشش/ کاربری زمین بر دمای سطح، مسئله‌ای حیاتی است. بررسی الگوی مکانی جزایر گرمایی شهری در کشف پراکندگی و تغییرات پوشش/ کاربری اراضی بر LST اهمیت بسیار دارد. همچنین شبیه‌سازی دمای سطحی آینده، براساس پوشش/ کاربری اراضی، نقش مهمی در تعدیل تأثیرات جزایر گرمایی در آینده شهر ایفا می‌کند زیرا ممکن است به اتخاذ استراتژی و سیاست‌های جدیدی در مورد نقشه کاربری اراضی و طراحی شهری منجر شود که از تأثیرات جزایر گرمایی شهری بکاهد (Tran et al., 2017). تنظیم دما یکی از چندین سرویس

1. Land Surface Temperature
2. Machine Learning
3. Artificial Intelligence (AI)
4. Peng
5. Hangzhou

شهری در مدیریت و برنامه‌ریزی‌های آبی در این شهر، با رویکرد تعدیل دمایی، بهبود شرایط اقلیمی، حفظ محیط‌زیست و افزایش رفاه شهروندی یاری رساند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهر یزد یکی از کلان‌شهرهای ایران و مرکز استان و شهرستان یزد است. این شهر بین طول جغرافیایی 31° و $53'$ دقیقه شرقی و 20° و $54'$ دقیقه شمالی عرض جغرافیایی قرار گرفته است (شکل ۱). مساحت آن 110 کیلومتر مربع، شامل $7/43$ کیلومتر مربع بافت تاریخی (Yazd Municipality Website, 2019) است و در پژوهش حاضر، بخش مرکزی شهر با مساحت $81/1$ کیلومتر مربع بررسی شده است. میانگین ارتفاع این شهر از سطح دریا 1228 متر و میانگین دمای سالیانه آن $20^{\circ}C$ است. این شهر دارای اقلیم گرم‌وخشک است و گرم‌ترین ماه سال در آن، با میانگین $33^{\circ}C$ ، ژوئیه (تیرماه) و پس‌از آن ژوئن (خرداد) و اوت (مرداد) با $31^{\circ}C$ است (CustomWeather, 2022). میانگین بارش در یزد بین 50 تا 60 میلی‌لیتر است (Weatherbase, 2022) که از این نظر، خشک‌ترین مرکز استان‌های ایران محسوب می‌شود.

۲-۲- دریافت تصاویر ماهواره‌ای

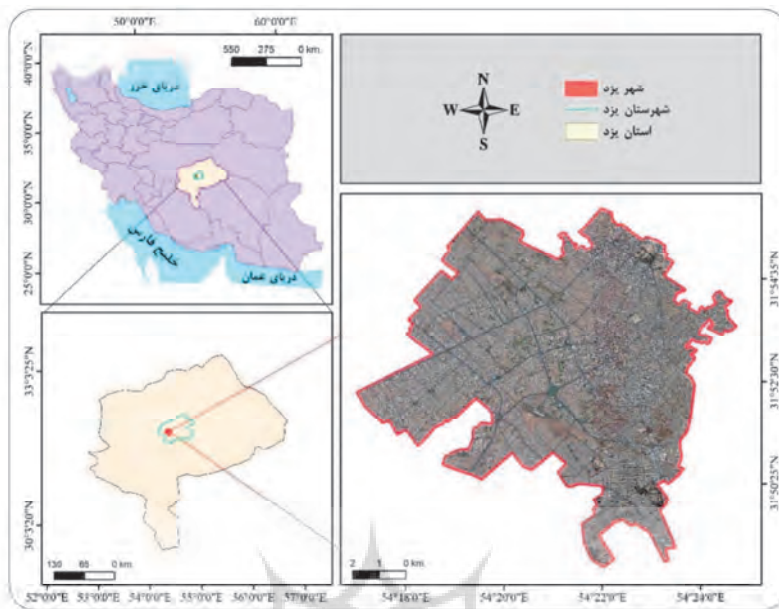
به‌منظور دریافت تصویر ماهواره‌ای لندست-۸ و سنتینل-۲ برای انجام‌دادن پژوهش، از وبسایت USGS ایالات متحد آمریکا (www.earthexplorer.usgs.gov) استفاده شد. با توجه به ماهیت پژوهش مبنی بر مدل‌سازی پارامترهای مؤثر در LST و همچنین پیش‌بینی آن، با استفاده از یادگیری ماشین، هر دو تصویر از گرم‌ترین ماه سال در شهر یزد، یعنی ماه اوت (مرداد)، انتخاب و دانلود شد. مشخصات تصاویر مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ آمده است.

1. Shaded Relief
2. Osborn & Alvares-Sanches
3. Southampton
4. Alavipanah
5. Normalized Difference Vegetation Index

و شیب و همچنین ارتباط ضعیف بین LST و جهت شیب را نشان داد؛ درحالی که بین نقشه سایه‌روشن ارتفاعی^۱ با LST، همبستگی مثبت و قوی وجود دارد. در پژوهشی دیگر، اوسبورن و آلوارس-سانچس^۲ (۲۰۱۹) تأثیر پیکربندی و ترکیب چشم‌اندازهای شهری را در LST، در شهر ساوت‌مپتن^۳ انگلیس و با استفاده از یادگیری ماشین، بررسی کردند. این مطالعه نشان داد که وضعیت پوشش‌های طبیعی-نسبت به سایر عوامل، عامل مؤثرتری بر LST است و همچنین LST تحت تأثیر ارتباط با شاخص‌های تقسیم‌بندی چشم‌انداز قرار دارد.

علوی‌پناه^۴ و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی با هدف تحلیل زمانی-مکانی جزیره گرمایی شهر مشهد، با تمرکز بر گسترش شهر و تغییرات کاربری و پوشش اراضی، از تصاویر چندزمانه سنجنده‌های TM لندست-۵، ETM+ لندست-۷ و OLI و TIRS لندست-۸ و همچنین روش حد آستانه شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال‌شده (NDVI)^۵، قانون پلانک و الگوریتم دو پنجره مجزا برای شهر مشهد بهره بردند. نتایج این تحقیق نشان داد گسترش یافتن مناطق شهری در مناطق کشاورزی و کاهش فضای سبز داخل شهر عوامل اصلی افزایش LST و گسترش جزایر شهری در شهر مشهد بوده است. این پژوهش مشخص کرد از بین رفتن پوشش گیاهی داخل و اطراف شهر باعث جایگزینی طبقه دمایی بسیار خنک با طبقه دمایی متوسط شده است.

پژوهش حاضر سعی دارد، با بهره‌گیری از داده‌های سنجنش از دور در تلفیق با ابزارهای قدرتمندی همچون زبان R، به مدل‌سازی LST شهر یزد در ارتباط با چشم‌اندازهای سطحی شهر بپردازد. با توجه به کاربرد LST در بررسی رطوبت خاک، جزایر گرمایی شهرها و تبخیر و تعرق (Peng et al., 2018) و با در نظر گرفتن اقلیم گرم‌وخشک به‌همراه تبخیر و تعریق شدید، دوربودن از دریا و نزدیکی به کویر، گرمای زیاد و درپی آن نبود پوشش گیاهی و رطوبت نسبی مناسب و آب فراوان در شهر یزد، این پژوهش پارامترهای اثرگذار بر LST را در این شهر خشک، بررسی و مدل‌سازی کرده است تا به مدیران، پژوهشگران و برنامه‌ریزان



شکل ۱. موقعیت شهر یزد به منزله منطقه مورد مطالعه در کشور ایران، استان و شهرستان یزد

جدول ۱. مشخصات تصاویر مورد استفاده

ماهواره	قدرت تفکیک مکانی (متر)	باندهای مورد استفاده و طول موج (μ) (eesa; USGS)	تاریخ دریافت (میلادی)	زمان دریافت (GMT)
لندست-۸	۳۰	آبی: ۰/۴۵	۲۰۲۰/۰۸/۰۴	۰۶:۵۶:۵۳
	۳۰	سبز: ۰/۵۳		
	۳۰	قرمز: ۰/۶۴		
	۳۰	فروسرخ نزدیک: ۰/۸۵		
	۳۰	فروسرخ موج کوتاه ۱: ۱/۵۷		
	۳۰	فروسرخ موج کوتاه ۲: ۲/۱۱		
سنیتل-۲A	۱۰۰	حرارتی: ۱۰/۹	۲۰۲۰/۰۸/۱۹	۰۶:۵۶:۳۱
	۱۰	آبی: ۰/۴۹		
		سبز: ۰/۵۵		
		قرمز: ۰/۶۶		
		فروسرخ نزدیک: ۰/۸۳		

۳-۲- پیش پردازش تصاویر

تصاویر دریافتی از نظر هندسی، رادیومتریکی و اتمسفری صرفاً پیش پردازش‌های رادیومتریکی و اتمسفری مورد نیاز بودند. این تصحیحات، به منظور تبدیل مقدار رقومی تصاویر به بازتابش، با استفاده از ابزار تصحیح رادیومتریکی^۱ و به منظور حذف اثر

خطاهای اتمسفری، از طریق الگوریتم QUAC^۲ (Module, 2009) در نرم افزار انوی^۳، پیش از شروع مدل سازی، انجام شد.

1. Radiometric Correction
1. Quick Atmospheric Correction
1. ENVI

۲-۴- فیوژن تصویر

به‌منظور بهبود قدرت تفکیک مکانی و طیفی تصویر مورد استفاده، این پژوهش از دو مرحله فیوژن تصویر لندست-۸، با استفاده از تصویر سنتینل-۲، بهره گرفته است. در مرحله اول، قدرت تفکیک مکانی تصویر با روش بارزسازی پن‌گرام-اشمیت^۱ بهبود یافت؛ کارایی این روش، برای استخراج تغییرات در ترکیب با روش‌های طبقه‌بندی گوناگون، پیش‌تر به‌اثبات رسیده است (Rokni, Rokni et al., 2015; Mansourmoghaddam et al., 2022b). روش بارزسازی پن‌گرام-اشمیت یکی از فرایندهای بارزسازی تصویر کیفیت بالاست که کاربرد گسترده‌ای دارد و به‌همین دلیل شرکت‌هایی، از جمله ESRI و ENVI از این رویکرد در مجموعه محصولات خود بهره برده‌اند (Maurer, 2013). برای بارزسازی تصویر با استفاده از این روش، باندهای طیفی نزدیک به یکدیگر از نظر طول‌موج در تصاویر ده و سی‌متری با یکدیگر فیوژن (مکانی) شدند. پس از اعمال بارزسازی مکانی روی باندهای تصویر لندست-۸، در مرحله دوم، این تصویر با باندهای طیفی ده‌متری سنتینل-۲ نیز فیوژن شد و بدین ترتیب، هم از نظر مکانی و هم از نظر طیفی، بهبود یافت.

۲-۵- ارزیابی دقت فیوژن

به‌منظور ارزیابی دقت نتایج فیوژن، تصویر فیوژن شده از نظر مکانی، با در نظر گرفتن سی نقطه مشترک با استفاده از روش خطای ریشه میانگین مربعات (RMSE)^۲، با تصاویر سنتینل مقایسه شد. روش RMSE رویکرد توصیف اعتبارسنجی فضایی است که می‌تواند دقت درون‌یابی فضایی را ارزیابی کند و از این نظر، اهمیت دارد (Willmott & Matsuura, 2006).

۲-۶- انتخاب و آماده‌سازی ویژگی‌ها و چشم‌اندازهای

سطح زمین شهری

پیش از مدل‌سازی LST، انتخاب ویژگی‌های لازم برای آموزش مدل و نیز بررسی اثر هر یک از این ویژگی‌ها بر LST ضروری بود. بدین ترتیب ویژگی‌های جغرافیایی

سطحی شهر یزد، به‌همراه رویکرد شبیه‌سازی پوشش‌های جایگزین پوشش بایر و رویکرد شبیه‌سازی پوشش گیاهی در رویکرد تقسیم زمین و صرفه‌جویی در زمین، تهیه و در مدل‌سازی استفاده شد.

۱-۶-۲- تهیه نقشه پوشش اراضی

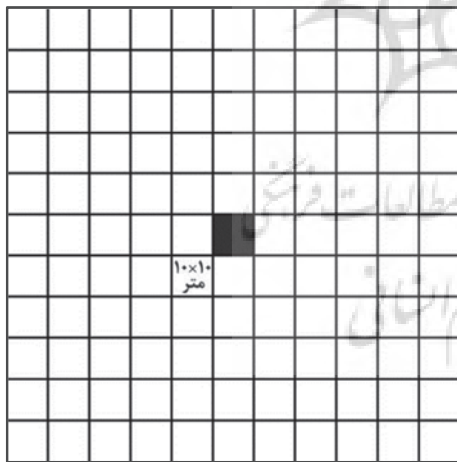
به‌منظور تهیه نقشه پوشش اراضی شهر یزد، روش حداکثر احتمال^۳ به‌کار رفت. بدین‌منظور، ابتدا یکصد نقطه داده از چهار نوع پوشش اراضی (مناطق ساخته‌شده، پوشش گیاهی، آسفالت و زمین‌های بایر) از بازدید میدانی سراسر شهر به‌دست آمد. این پوشش‌های اراضی در پژوهش‌های گوناگون (Bonafoni & Keeratikasikorn, 2018; Karakuş, 2019; Mustafa et al., 2021; Ullah et al., 2019) به‌منزله مؤثرترین کلاس‌های پوشش اراضی بر LST بررسی شده‌اند. یکصد نقطه داده مورد اشاره، به‌همراه چهارصد نقطه دیگر به‌ازای هر پوشش اراضی که با استفاده از تصویر گوگل ارث و تجربه کاربر درمورد منطقه مطالعاتی استخراج شده بود، به‌منزله نمونه تمرینی، به طبقه‌بندی‌کننده معرفی شد. در نهایت، نقشه پوشش اراضی برای سال ۲۰۲۰ شهر یزد، به‌روش حداکثر احتمال به‌دست آمد. برای ارزیابی دقت نقشه‌های پوشش اراضی نیز، پنجاه نقطه بازدید زمینی و پنجاه نقطه انتخاب‌شده از تصویر گوگل ارث شهر یزد به الگوریتم معرفی شد. الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال یکی از پر استفاده‌ترین روش‌های طبقه‌بندی پارامتری است (Colditz et al., 2006) و در آن، d مؤلفه طیفی که متغیرهای تصادفی گاوسی^۴ مستقل‌اند، بیانگر هر کلاس از پوشش اراضی‌اند (Richards & Richards, 1999). در این مدل، فرض بر این است که داده‌ها، براساس مدل احتمالی از پیش تعریف‌شده‌ای برای طبقه‌بندی‌کننده‌های پارامتری، توزیع شده‌اند.

1. Gram-Schmidt Pan Sharpening
2. Root Mean Square Error
3. Maximum Likelihood
4. Gaussian

Commission (خطای اختصاص یک پیکسل به کلاس اشتباه) خواهد بود؛ این اندازه‌گیری را دقت کاربر^۴ یا قابلیت اطمینان می‌نامند (Story & Congalton, 1986).

۷-۲- مجاورت پوشش اراضی

به منظور محاسبه اثر مجاورت پیکسل‌های گوناگون شهر یزد با هریک از پوشش‌های اراضی این شهر در LST آن پیکسل، مجاورت برای هر پیکسل، در محدوده ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ متری محاسبه شد و با هدف یادگیری مدل و نیز بررسی میزان اهمیت و اثرگذاری آنها به مدل وارد شد. برای درک بهتر، نمای شماتیکی از نحوه محاسبه مجاورت در مورد هر پیکسل مرکزی، برای محدوده ۵۰ متر در شکل ۲ نمایش داده شده است. در این مدل، مجاورت برای هر پیکسل مرکزی، در محدوده ۵۰ متر (پنج پیکسل ده‌متری) در تمامی جهات محاسبه و خروجی آن به مدل نهایی وارد می‌شود. این مجاورت در ابعاد ۱۰۰ متری، با ده پیکسل مجاور و در ابعاد ۱۵۰ متری، با سی پیکسل مجاور نیز محاسبه شد.



شکل ۲. مدل شماتیک از شیوه محاسبه مجاورت برای هر پیکسل در ۵۰ متری
منبع: نگارنده

نمونه‌های آموزشی به منظور محاسبه پارامترهای این توزیع به کار رفته است و برای به دست آوردن شباهت برای هر کلاس k ، فرض می‌شود یک توزیع گاوسی چندمتغیره با وکتور میانگین μ_k و ماتریس کوواریانس برای هر بردار پیکسل S_k وجود دارد (Colditz et al., 2006) (رابطه (۱)).

$$k = \ln(S_k) - [(x_i - \mu_k)^T S_k (x_i - \mu_k)] \quad (1)$$

۲-۶-۲- ارزیابی دقت طبقه‌بندی پوشش اراضی

به منظور ارزیابی دقت نتایج طبقه‌بندی پوشش اراضی، از ضریب کاپا، دقت کلی، دقت تولیدکننده و دقت کاربر استفاده شد. ضریب کاپا^۱ آزمونی غیرپارامتری برای مشخص کردن میزان سازگاری بین مقادیر واقعی و مقادیر اختصاص یافته از سوی کاربر است (Ishtiaque et al., 2017). کاپا معمولاً به منزله شاخصی برای ارزیابی کیفیت اندازه‌گیری مشخصات باینری استفاده می‌شود. هنگامی که سازگاری کامل باشد، مقدار خروجی کاپا ۱ (۱۰۰٪) خواهد بود؛ بدان معنی که طبقه‌بندی در هر زمینه‌ای مطابق با واقعیت است. مقدار صفر کاپا نیز بیان می‌کند سازگاری داده‌ها از یک مقدار تصادفی بهتر نیست (Thompson & Walter, 1988).

دقت کلی^۲ عبارت است از حاصل تقسیم تمامی پیکسل‌های طبقه‌بندی شده به صورت صحیح، بر تمامی پیکسل‌های موجود در ماتریس خطای N (Story & Congalton, 1986). دقت تولیدکننده^۳ از طریق تقسیم ساده تعداد کل پیکسل‌های صحیح در یک کلاس، بر تمامی پیکسل‌های آن کلاس است که از طریق داده‌های مرجع زمینی به دست آمده‌اند (Story & Congalton, 1986). این آمار بیانگر احتمال طبقه‌بندی شدن یک پیکسل مرجع در کلاس صحیح است و معیاری برای اندازه‌گیری خطای Omission (میزان خطا در اختصاص یک پیکسل به کلاس خود) شمرده می‌شود (Jensen, 1996). چنانچه تمامی پیکسل‌های صحیح در یک طبقه بر مجموع پیکسل‌های موجود طبقه‌بندی شده در آن دسته‌بندی تقسیم شوند، حاصل میزان خطای

1. Kappa Coefficient
2. Overall Accuracy
3. Producer Accuracy
4. User Accuracy

۲-۸- داده‌های ارتفاعی

ارتفاع سطح زمین براساس نقشهٔ رقومی دیجیتال شهر یزد با دقت مکانی ۱۰ متر و خطای میانگین ۰/۳۷ متر (RMSE= 0.39) به‌منزلهٔ یک ویژگی مکانی، برای هر پیکسل به‌دست آمد و در مدل یادگیری ماشین استفاده شد. سپس نقشهٔ درصد شیب با استفاده از تصویر DEM^۱ استخراج شد و به‌منزلهٔ یک ویژگی، در مدل‌سازی به‌کار رفت. نقشهٔ جهت شیب برای هر پیکسل نیز از تصویر DEM استخراج و در مدل‌سازی استفاده شد. خروجی این نقشه درجهٔ شیب است که براساس درجات جغرافیایی و در راستای حرکت عقربه‌های ساعت در نظر گرفته می‌شود.

۲-۹- نقشهٔ شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال‌شده این شاخص با استفاده از رابطه (۲) به‌دست آمد (Dos Santos et al., 2017; Ziaul & Pal, 2016) که از طریق نسبت بین دو باند قرمز (R) و فروسرخ نزدیک (NIR) محاسبه می‌شود (Avdan & Jovanovska, 2016; Li et al., 2017).

$$\text{رابطه (۲)} \quad NDVI = \left(\frac{NIR-R}{NIR+R} \right),$$

۲-۱۰- نقشهٔ شاخص مناطق ساخته‌شدهٔ تفاضلی نرمال‌شده (NDBI)^۲

این شاخص از طریق رابطه (۳) محاسبه شد (Mwakapuja et al., 2013). در این رابطه، SWIR بیانگر باند فروسرخ با طول موج کوتاه و NIR بیانگر باند فروسرخ نزدیک است. مقدار این شاخص بین -۱ و +۱ متغیر است.

$$\text{رابطه (۳)} \quad NDBI = \left(\frac{SWIR1-NIR}{SWIR1+NIR} \right),$$

۲-۱۱- نقشهٔ شاخص سطوح نفوذناپذیر تفاضلی نرمال‌شده (NDISI)^۳

این شاخص با رابطه (۴) به‌دست آمد (Xu, 2010) و در آن، WI بیانگر شاخص آب است که طبق رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$\text{رابطه (۴)} \quad NDISI = \left(\frac{TIR1 - \left[\frac{WI+NIR+SWIR1}{3} \right]}{TIR1 + \left[\frac{WI+NIR+SWIR1}{3} \right]} \right),$$

۲-۱۲- نقشهٔ شاخص آب تفاضلی نرمال‌شده

بهینه‌شده (MNDWI)^۴

شاخص آب نیز طبق رابطه (۵) محاسبه شد (Xu, 2006) که در آن G بیانگر باند مرئی سبز است.

$$\text{رابطه (۵)} \quad MNDWI = \left(\frac{G-SWIR1}{G+SWIR1} \right),$$

۲-۱۳- مدل شبیه‌سازی پوشش‌های جایگزین پوشش بایر

به‌منظور کشف اثر زمین‌های بایر از طریق حذف اثر و شبیه‌سازی پوشش جایگزین منطقی (براساس آیندهٔ شهر) برای این زمین‌ها، این پوشش ابتدا در سه مدل متفاوت غیرواقعی از شهر شبیه‌سازی شد: (۱) جایگزینی زمین‌های بایر با مناطق ساخته‌شده (شهری)؛ (۲) جایگزینی زمین‌های بایر با پوشش گیاهی؛ (۳) جایگزینی ۳۰٪ از زمین‌های بایر (برابری مساحت پوشش گیاهی شهر یزد در سال ۲۰۲۰) با پوشش گیاهی. سپس با محاسبهٔ مجدد همسایگی و مجاورت برای این نقشه‌های جدید از پوشش اراضی شهر، LST برای هر پیکسل از این شبیه‌سازی‌ها، پیش‌بینی و مقایسه شد. برای این کار، مدل یادگیری ماشین به‌کار رفت.

۲-۱۴- مدل شبیه‌سازی پوشش گیاهی در رویکرد تقسیم زمین و صرفه‌جویی در زمین

به‌منظور بررسی اثر مدل پراکنش پوشش گیاهی در LST شهر، ابتدا پوشش گیاهی شهر در یک مدل‌سازی غیرواقعی صفر شد و سپس، در دو رویکرد برنامه‌ریزی زمین شهری، صرفه‌جویی در زمین (پوشش گیاهی با قطعات بزرگ و متراکم) و تقسیم زمین (پوشش گیاهی در ابعاد کوچک و پراکنده) شبیه‌سازی شد. بعدازآن، نتایج حاصل از پیش‌بینی LST در این دو رویکرد، با استفاده از مدل یادگیری ماشین به‌دست آمد و این نتایج با یکدیگر مقایسه شدند.

1. Digital Elevation Model
2. Normalized Difference Built-up Index
3. Normalized Difference Impervious Surface Index
4. Modified Normalized Difference Water Index

۱۵-۲- تهیه نقشه دمای سطح زمین (LST)

برای محاسبه LST، ابتدا تصویر باند ۱۰ (حرارتی) لندست-۸ از حالت خام^۱ به رادیانس طیفی تبدیل شد (LANDSAT 8 Data Users Handbook, 2015). به دلیل وجود داشتن عدم قطعیت در دیگر باند حرارتی (باند ۱۱) لندست (USGS, 2014)، این باند در محاسبات آورده نشد (رابطه (۶)).

$$L_{\varphi} = M_L * Q_{cat} + A_L, \quad (۶)$$

L_{φ} بیانگر تابش طیفی بالای اتمسفر (وات بر مترمربع بر استر رادیان)، M_L بیانگر ضریب هم‌مقیاس‌سازی باندها براساس متادیتای تصویر، Q_{cat} مقادیر پیکسل کالیبره‌شده (عدد رقومی) در محصول^۲ استاندارد و A_L فاکتور هم‌مقیاس‌سازی افزایشی براساس باندهای مشخص شده در متادیتای تصویر است. پس از آن دمای روشنایی سنجیده از طریق رابطه (۷) به دست می‌آید (Avdan & Jovanovska, 2016; Ziaul & Pal, 2016).

$$\tau = \left[\frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\varphi}} + 1\right)} \right], \quad (۷)$$

τ دمای روشنایی بالای اتمسفر به کلون، L_{φ} تابش بالای اتمسفری (وات بر مترمربع بر استر رادیان) و K_1 و K_2 ضرایب ثابت کالیبراسیون باند حرارتی است که برای سنجنده TIRS لندست-۸ براساس متادیتای تصویر، به ترتیب ۷۷۴/۸ و ۱۳۲۱/۰ است. پس از محاسبه دمای روشنایی بالای اتمسفر، با کسر تصویر از عدد ۲۷۴/۱۵، واحد دمایی از کلون به سانتی‌گراد تبدیل می‌شود و در نهایت، LST از رابطه (۸) به دست می‌آید (Avdan & Jovanovska, 2016; Ziaul & Pal, 2016).

$$LST = \tau / [1 + (\lambda * \frac{\tau}{c2}) * \ln(e)], \quad (۸)$$

τ دمای روشنایی بالای اتمسفر، λ طول موج باند حرارتی (۱۰/۹ μm) برای باند ۱۰ لندست-۸ و $c2$ عدد ثابت $14388 \mu\text{m}$ است. همچنین به منظور محاسبه

گسیل مندی، از رابطه (۹) استفاده می‌شود که در آن، PV مطابق رابطه (۱۰) است (Avdan & Jovanovska, 2016; Dos Santos et al., 2017; Ziaul & Pal, 2016).

$$e = 0/004 * PV + 0.986, \quad (۹)$$

$$PV = ((NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}))^2,$$

رابطه (۱۰)

۱۶-۲- انتخاب مدل بهینه با استفاده از زبان R و

انجام دادن مدل‌سازی

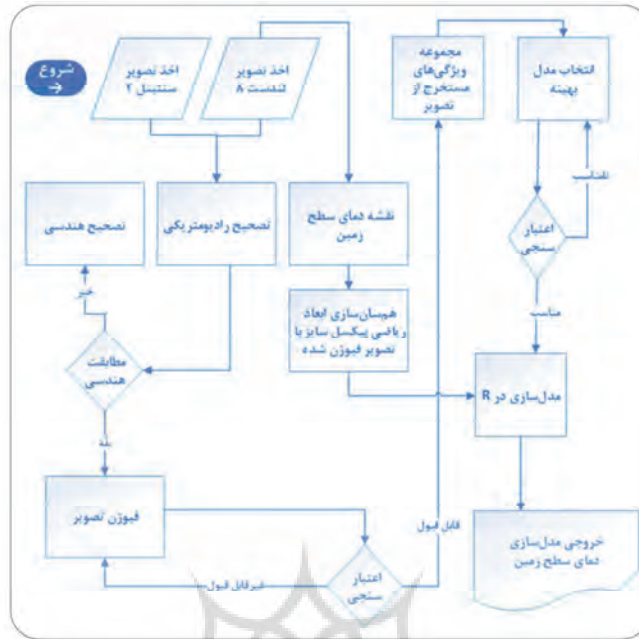
به منظور انتخاب بهینه‌ترین مدل، از تابع AutoML در RStudio که مدل مناسب را با استفاده از اعتبارسنجی متقابل انتخاب می‌کند، در محیط برنامه‌نویسی استفاده شد. بدین منظور، ۸۵٪ از داده‌ها به صورت داده‌های آموزشی استفاده شدند. سپس برای مدل‌سازی، مدل گزاین بوستینگ^۳ به‌منزله بهینه‌ترین مدل به کار رفت. اعتبارسنجی عملکرد مدل یادگیری ماشین در پیش‌بینی LST با استفاده از معیارهای MSE^۴، RMSE، RMSLE^۵ و MAE^۶ و ۱۵٪ از داده‌های آزمون انجام شد. مراحل کلی پژوهش در شکل ۳ نشان داده شده است.

۳- بحث و نتایج

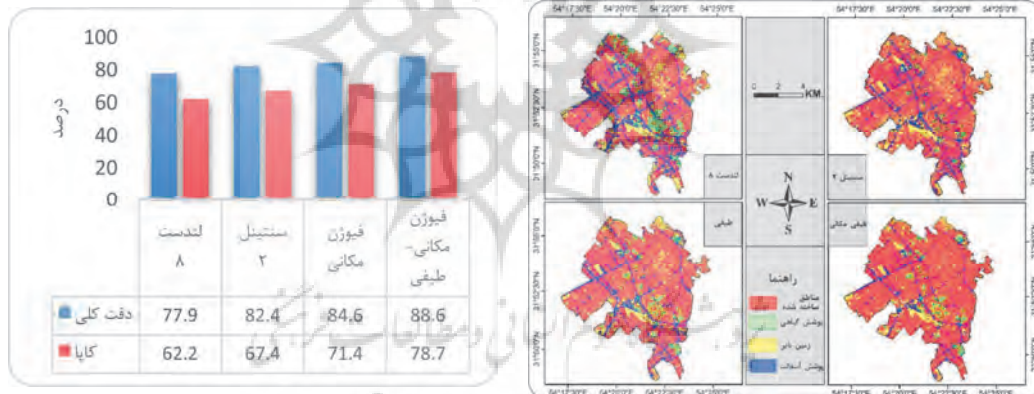
۳-۱- نتایج فیوژن تصویر

مقایسه دقت طبقه‌بندی روی تصاویر نشان داد پس از انجام شدن فیوژن، دقت کلی طبقه‌بندی تصاویر از ۷۷/۹ و ۸۲/۴٪ در تصاویر لندست-۸ و سنتینل-۲، ابتدا با انجام دادن فیوژن مکانی، به ۸۴/۶٪ و سپس با فیوژن مکانی-طیفی، به ۸۸/۶٪ افزایش یافته است.

1. Raw Data
2. Product
3. Gradient Boosting
4. Mean Square Error
5. Root Mean Squared Log Error
6. Mean Absolute Error



شکل ۳. فلوجارت و مراحل کلی پژوهش



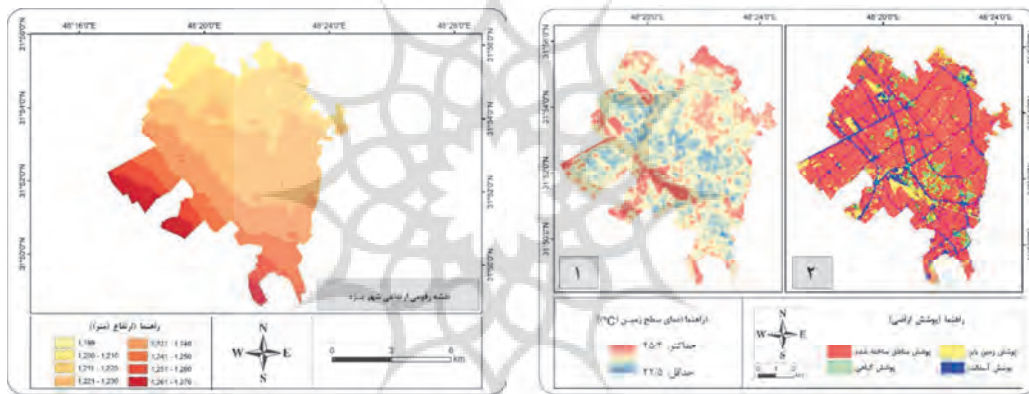
شکل ۴. مقایسه دقت کلی و ضریب کاپای طبقه‌بندی، قبل و بعد از فیوژن مکانی و مکانی-طیفی تصویر

۲-۳- نتایج محاسبه پارامترهای سطح زمین به‌منظور ورود داده LST شرایط موجود به مدل نقشه LST شهر یزد متعلق به سال ۲۰۲۰، با استفاده از تصویر لندست ۸ به‌دست آمد. بیشترین و کمترین LST به‌دست‌آمده از شهر یزد، به‌ترتیب، عبارت‌اند از $45/4^{\circ}\text{C}$ و $32/5^{\circ}\text{C}$ و میانگین LST در این نقشه نیز $38/2^{\circ}\text{C}$ محاسبه شده است (شکل ۵- الف-۱). نقشه طبقه‌بندی پوشش اراضی شهر یزد با استفاده از الگوریتم

ضریب کاپا نیز از $62/2$ در تصویر لندست ۸ و $67/4$ در تصویر سنتینل ۲، پس از فیوژن مکانی و طیفی-مکانی، به‌ترتیب به $71/4$ و $78/7$ افزایش یافته است (شکل ۴). این افزایش دقت، توجیهی مناسب برای استفاده از تصویر سنتینل ۲، به‌منظور ریزمقیاس‌سازی و فیوژن باندهای طیفی تصویر لندست ۸ و استفاده از تصویر حاصل در فرایند مدل‌سازی است.

شهر یزد دارای اختلاف ارتفاعی نزدیک به ۷۷ متر است و ارتفاع این شهر، از جهت‌های شمال و شمال‌شرق به جنوب و جنوب‌غرب، افزایش می‌یابد. شکل ۵-ج که براساس ۱/۲ انحراف معیار پراکنش داده‌های شیب شهر یزد رنگ‌بندی شده است، میزان شیب هر پیکسل از شهر را به درصد بیان می‌کند. میانگین شیب شهر ۲/۱٪ است و بدین ترتیب تقریباً ۹۹/۷٪ از شیب شهر یزد در مقادیر بین ۰ تا ۶/۹٪ قرار دارد؛ به طوری که از این ۹۹/۷٪، شیب ۰ تا ۳/۷٪، ۶۸/۴٪ و شیب ۳/۷ تا ۵/۷٪، ۲۲/۲٪، شیب ۵/۸ تا ۶/۸٪، ۶/۸٪ تا ۴/۳٪ از شیب کل شهر را شامل می‌شود و باقی شهر (۰/۳٪) شیبی برابر با ۶/۹ تا ۲۱٪

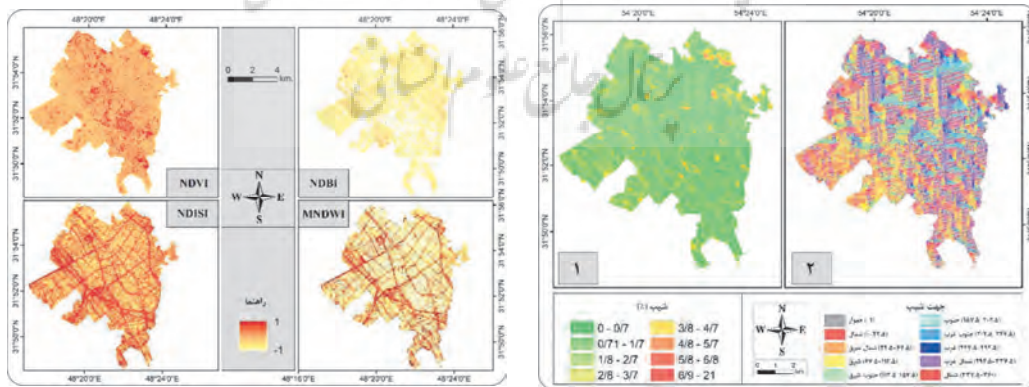
حداکثر احتمال و از تصویر فیوژن شده مکانی- طیفی، با دقت مکانی ده متر برای سال ۲۰۲۰ استخراج شد. بدین ترتیب، براساس نتایج، پوشش اراضی این شهر در چهار دسته مناطق ساخته شده با ۴۹/۷ کیلومترمربع، پوشش گیاهی با ۴/۳ کیلومترمربع، زمین‌های بایر با ۱۳/۸ کیلومترمربع و پوشش آسفالت با ۱۳/۳ کیلومترمربع طبقه‌بندی شد (شکل ۵-الف-۲). نقشه رقمی ارتفاعی شهر یزد نیز، به‌منزله یکی از ویژگی‌های مکانی با دقت مکانی ۱۰ متر و میانگین ارتفاعی ۱۲۲۸ متر، استخراج شد (شکل ۵-ب). مطابق این شکل، بلندترین (۱۲۷۶ متر) و پست‌ترین (۱۱۹۹ متر) نقاط



ب) نقشه رقمی ارتفاعی

الف- ۱) نقشه دمای سطح زمین

الف- ۲) نقشه پوشش اراضی



د) نقشه شاخص‌های سطح زمین

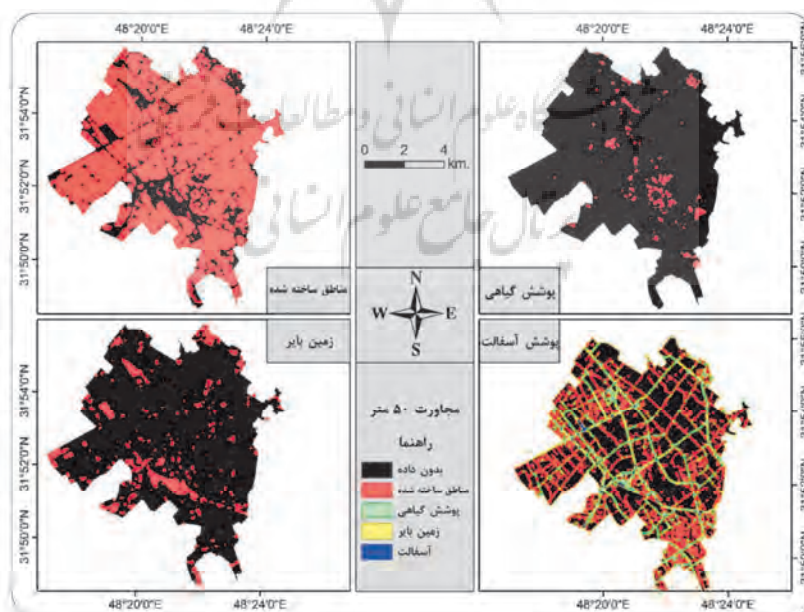
ج- ۱) نقشه درصد شیب

ج- ۲) نقشه جهت شیب

شکل ۵. نقشه ویژگی‌های محاسبه شده سطح زمین شهر یزد، متعلق به سال ۲۰۲۰

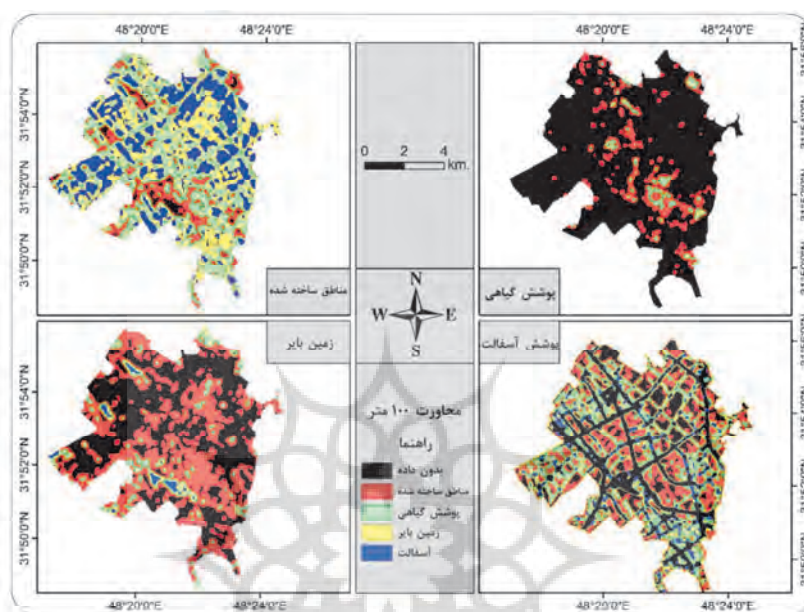
مناطق خشک و نواحی مناطق دارای مقدار نزدیک به ۱ نیز که اغلب بر مناطق دارای پوشش گیاهی شهر یزد منطبق‌اند، نشان‌دهنده نواحی مرطوب‌ترند (شکل ۵-د). پس از محاسبه نقشه طبقه‌بندی پوشش اراضی شهر یزد، عامل مجاورت به‌ازای هر پیکسل از پوشش‌های متفاوت در شعاع ۵۰ (شکل ۶)، ۱۰۰ (شکل ۷) و ۱۵۰ (شکل ۸) متری به‌دست آمد. دامنه مجاورت محاسبه‌شده برای هر پارامتر بین ۰ تا ۱ است؛ عدد ۰ نشان می‌دهد هیچ همسایگی‌ای با پیکسل مرکزی وجود ندارد و عدد ۱ بیان می‌کند تمامی پیکسل‌های موجود در کرنل، دارای مقادیر همسایگی با پیکسل مرکزی‌اند. نکته شایان توجه در تصاویر مجاورت، مساحت زیر پوشش مجاورت زمین‌های بایر در قیاس با پوشش گیاهی در تمامی نقشه‌های مجاورت است که با توجه به مقایسه مساحت این دو پوشش (به‌ترتیب، ۱۳/۸ کیلومتر مربع و ۴/۳ کیلومتر مربع)، توجه‌پذیر است. کاهش حداکثر مجاورت، با افزایش شعاع، بیانگر کاهش پیکسل‌های مجاورت و در نتیجه، محوشدن نسبی آن پدیده است. بدین ترتیب حداکثر مجاورت با پوشش گیاهی، به‌منزله عامل خنک‌کننده در شعاع مجاورت

دارد (شکل ۵-ج-۱). نقشه جهت شیب شهر یزد نیز در شکل ۵-ج-۲ نمایش داده شده است. حدود ۶۸/۴٪ از شهر جهت شیب ۱- درجه (هموار) تا ۱۲۰ درجه (جنوب‌شرق) دارد. جهت شیب نزدیک به ۲۲/۲٪ از شهر ۱۲۰ درجه تا ۲۰۲ درجه (جنوبی) است. ۴/۳٪ شهر جهت شیب ۲۰۲ تا ۲۸۹ (غربی) و ۰/۳٪ شهر جهت شیب شمال‌غرب و شمالی دارد. با این تفاسیر، حدود ۹۵/۴٪ شهر دارای جهت شیب شمالی تا جنوبی (۰° تا ۲۰۲°) است. شاخص‌های پوشش گیاهی، نفوذناپذیری، مناطق ساخته‌شده و نیز آب برای سطح شهر یزد محاسبه و در شکل ۵-د نمایش داده شده است. در شاخص NDVI، مناطق دارای مقدار نزدیک‌تر به ۱، پوشش گیاهی و مناطق دارای مقدار نزدیک به ۱- زمین لخت است. در شاخص NDISI، مناطق دارای مقدار نزدیک به ۱- بیانگر سطوح نفوذپذیرتر و مناطق با مقدار نزدیک به ۱ بیانگر سطوح نفوذناپذیرتر است. در شاخص NDBI، مناطق دارای مقدار نزدیک ۱ به نواحی ساخته‌شده و مناطق دارای مقدار نزدیک ۱- به نواحی ساخته‌نشده اشاره دارد. در تصویر شاخص MNDWI، مناطق دارای مقدار نزدیک به ۱- بیانگر

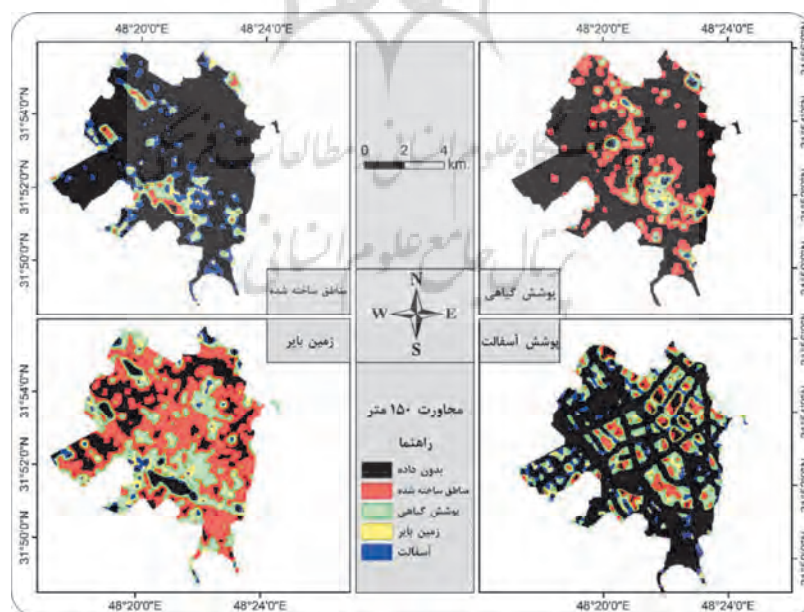


شکل ۶. ضرایب مجاورت پوشش‌های گوناگون اراضی شهر یزد در فاصله ۵۰ متری

۱۰۰ متری، به میزان ۰/۲ (شکل ۷) و در شعاع مجاورت ۱۰۰ متر، بدون تغییر (شکل ۷) و در شعاع ۱۵۰ متری، به میزان ۰/۳ کاهش یافته است (شکل ۸)؛ درحالی که حداکثر مجاورت زمین‌های بایر، در شعاع



شکل ۷. ضرایب مجاورت پوشش‌های گوناگون اراضی شهر یزد در فاصله ۱۰۰ متری



شکل ۸. ضرایب مجاورت پوشش‌های گوناگون اراضی شهر یزد در فاصله ۱۵۰ متری

۳-۳- نتایج انتخاب مدل بهینه

میانگین مربع خطا (به ترتیب ۰/۳۰۴ و ۰/۵۵۲)، کمترین مقدار خطای کمترین میزان جذر میانگین لگاریتمی مربعات (RMSLE) با ۰/۰۱۳ و کمترین میزان خطای مطلق میانگین (MAE) با ۰/۳۸۵، به‌منزله «مدل بهینه» (در مقایسه با مدل‌های ارزیابی‌شده) برای برآزش^۲ الگوریتم گرادیان بوستینگ به‌منظور پیش‌بینی و تحلیل‌های بعدی، انتخاب شد (جدول ۲).

نتایج حاصل از بررسی بهینه‌ترین^۱ مدل براساس داده‌های ورودی، حاکی از آن است که بین مدل‌های ارزیابی‌شده، الگوریتم گرادیان بوستینگ بهینه‌ترین الگوریتم برای مدل‌سازی است. از بین پارامترهای این الگوریتم نیز، پارامترهای مدل GBM_grid_1_3 با اکتساب کمترین میزان از میانگین مربع خطا (MSE) و ریشه

جدول ۲. میزان خطای مدل‌های آزمایش‌شده براساس معیارهای آماری گوناگون

MAE	RMSLE	RMSE	MSE	مدل
0/381	0/014	0/549	0/301	GBM_grid_1_AutoML_20210805_143336_model_3
0/417	0/015	0/588	0/346	GBM_grid_1_AutoML_20210805_143336_model_2
0/445	0/016	0/614	0/377	GBM_5_AutoML_20210805_143336
0/484	0/017	0/661	0/436	GBM_4_AutoML_20210805_143336
0/541	0/018	0/723	0/523	GBM_3_AutoML_20210805_143336
0/548	0/019	0/730	0/533	GBM_grid_1_AutoML_20210805_143336_model_4
0/570	0/019	0/755	0/570	GBM_2_AutoML_20210805_143336
0/586	0/020	0/775	0/601	GBM_grid_1_AutoML_20210805_143336_model_5
0/593	0/020	0/782	0/612	GBM_1_AutoML_20210805_143336
0/625	0/020	0/794	0/631	StackedEnsemble_BestOffFamily_AutoML_20210805_143336
0/625	0/020	0/794	0/631	StackedEnsemble_AllModels_AutoML_20210805_143336
0/634	0/021	0/832	0/692	GBM_grid_1_AutoML_20210805_143336_model_1
0/739	0/024	0/939	0/882	GBM_grid_1_AutoML_20210805_143336_model_6
0/718	0/024	0/940	0/884	DeepLearning_1_AutoML_20210805_143336
0/740	0/024	0/958	0/918	DeepLearning_grid_1_AutoML_20210805_143336_model_2
0/773	0/025	0/997	0/994	DeepLearning_grid_3_AutoML_20210805_143336_model_2
0/788	0/026	1/033	1/067	DeepLearning_grid_1_AutoML_20210805_143336_model_1
0/928	0/030	1/210	1/464	GLM_1_AutoML_20210805_143336
0/603	0/035	1/370	1/876	DRF_1_AutoML_20210805_143336
1/131	0/035	1/397	1/951	DeepLearning_grid_2_AutoML_20210805_143336_model_1

1. The Fittest
2. Tuning

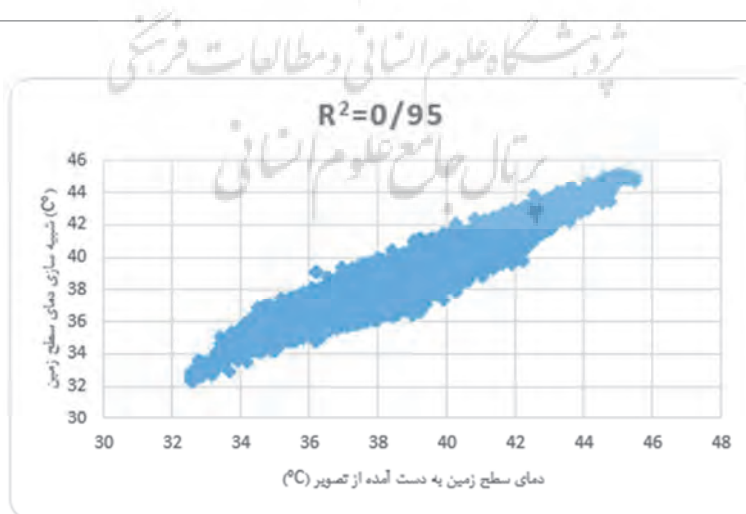
۴-۳- نتایج مدل سازی

پس از آماده سازی و بررسی داده ها و نیز اعتبارسنجی مدل مورد استفاده، بررسی اثر و اهمیت هر ویژگی در مدل سازی به منزله قسمت نخست بخش اصلی کار، بررسی می شود. این بخش یکی از خروجی های مهم مدل های غیرخطی است که فهرستی از پارامترها را به همراه درصد اهمیت آن پارامتر، بیان می کند. بدین طریق ابتدا، به منظور بررسی وضعیت فعلی شهر، با استفاده از مدل گرادیان بوستینگ، اثر و اهمیت تمامی پارامترهای محاسبه شده شهری در LST مدل شده و خروجی نهایی پارامترها و اهمیت آنها در جدول ۴ آمده است.

نتایج آزمودن عملکرد بهینه ترین مدل گرادیان بوستینگ، به منظور پیش بینی ۱۵٪ داده های آزمون براساس یادگیری از ۸۵٪ دیگر از داده های واقعی و نیز مقایسه اعتبارسنجی آن با یک مدل معمولی گرادیان بوستینگ و یک مدل رگرسیون خطی، در جدول ۳ نمایش داده شده است. نتایج حاصل براساس پیش بینی ۱۵٪ از داده ها (۱۰۳/۳۳۸ پیکسل LST) با یادگیری از ۸۵٪ داده های واقعی LST و دیگر پارامترهای ورودی به دست آمد. میانگین LST، در مدل پیش بینی شده، برابر با ۳۸/۲۲۲ °C و در داده های اصلی، ۳۸/۲۲۴ °C بوده است. نمودار پراکنش مقادیر LST برای مدل تست و واقعی با ضریب $R^2 = 0.95$ و ضریب همبستگی ۹۷/۴ درصدی، بین داده آزمایش و واقعی، بیانگر دقت بالای مدل و مطمئن بودن نتایج آن است (شکل ۹).

جدول ۳. اعتبارسنجی عملکرد پیش بینی مدل بهینه گرادیان بوستینگ، به همراه مقایسه آن با مدل معمولی گرادیان بوستینگ و مدل رگرسیون خطی

شاخص	مدل بهینه گرادیان بوستینگ	مدل معمولی گرادیان بوستینگ	مدل رگرسیون خطی (GLM) ^۱
MSE	0/304	0/967	1/468
RMSE	0/552	0/835	1/212
RMSLE	0/013	0/016	0/030
MAE	0/385	0/476	0/928



شکل ۹. نمودار پراکنش مقایسه LST در داده واقعی و پیش بینی به منظور ارزیابی دقت

جدول ۴. جدول خروجی اهمیت پارامترهای شهری در LST شهر یزد

رتبه	متغیر (ویژگی)	اهمیت مقیاس شده	درصد اهمیت
۱	پوشش زمین بایر در مجاورت ۱۰۰ متر	1/000	53/988
۲	پوشش زمین بایر در مجاورت ۵۰ متر	0/185	10/014
۳	پوشش زمین بایر در مجاورت ۱۵۰ متر	0/177	9/539
۴	ارتفاع	0/117	6/321
۵	پوشش آسفالت در مجاورت ۱۰۰ متر	0/078	4/230
۶	پوشش گیاهی در مجاورت ۱۵۰ متر	0/071	3/829
۷	پوشش گیاهی در مجاورت ۱۰۰ متر	0/042	2/254
۸	پوشش گیاهی در مجاورت ۵۰ متر	0/037	1/973
۹	پوشش آسفالت در مجاورت ۵۰ متر	0/036	1/939
۱۰	پوشش مناطق ساخته شده در مجاورت ۵۰ متر	0/027	1/445
۱۱	پوشش آسفالت در مجاورت ۱۵۰ متر	0/023	1/251
۱۲	مقادیر شاخص NDVI	0/021	1.142
۱۳	پوشش مناطق ساخته شده در مجاورت ۱۵۰ متر	0/016	0/856
۱۴	پوشش مناطق ساخته شده در مجاورت ۱۰۰ متر	0/008	0/434
۱۵	پوشش زمین بایر	0/005	0/291
۱۶	مقادیر شاخص NDBI	0/004	0/232
۱۷	پوشش مناطق ساخته شده	0/004	0/196
۱۸	جهت شیب	0/001	0/038
۱۹	مقادیر شاخص NDISI	0	0/014
۲۰	پوشش گیاهی	0	0/010
۲۱	درصد شیب	0	0/004
۲۲	مقادیر شاخص MNDWI	0	0/002
۲۳	پوشش آسفالت	0	0

جدول ۵. پارامترهای انتخاب شده به منظور یادگیری ماشین برای

پیش بینی LST روی مدل های شبیه سازی شده متغیر (ویژگی)
پوشش زمین بایر در مجاورت ۱۰۰ متر
پوشش زمین بایر در مجاورت ۵۰ متر
پوشش زمین بایر در مجاورت ۱۵۰ متر
ارتفاع
پوشش گیاهی در مجاورت ۱۵۰ متر
پوشش گیاهی در مجاورت ۱۰۰ متر
پوشش گیاهی در مجاورت ۵۰ متر
پوشش مناطق ساخته شده در مجاورت ۵۰ متر
پوشش مناطق ساخته شده در مجاورت ۱۵۰ متر
پوشش مناطق ساخته شده در مجاورت ۱۰۰ متر
کلاس پوشش زمین بایر
پوشش مناطق ساخته شده
جهت شیب
کلاس پوشش گیاهی
درصد شیب

۵-۳- نتایج شبیه سازی پوشش اراضی

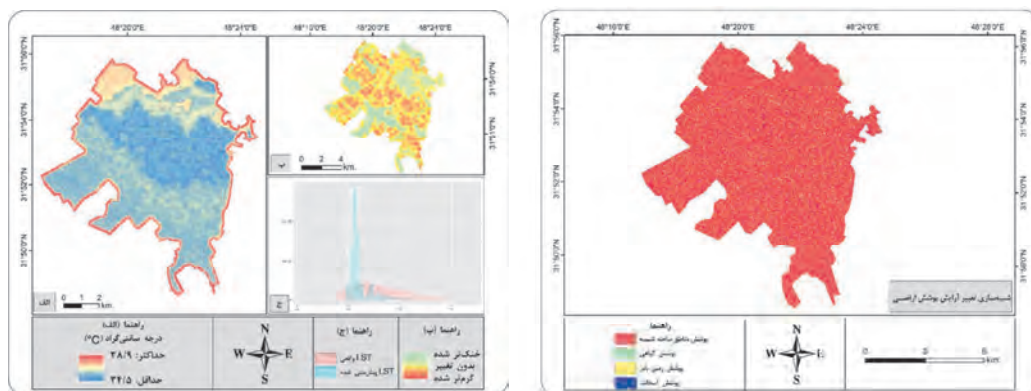
به منظور بررسی نتایج پیش بینی مدل های شبیه سازی شده از شهر یزد با استفاده از مدل گرادبان بوستینگ، فرایند یادگیری ماشین به دلیل الزام به حذف برخی پارامترهای وابسته به شرایط موجود، بار دیگر اجرا شد. بدین منظور، ابتدا پارامترهای وابسته به نوع پوشش سطح زمین از دیتافریم حذف شد و فقط پارامترهای ثابت به فرایند یادگیری ماشین وارد شد. همچنین به دلیل رعایت نسبت ریاضی کمتر از ۰.۱، از بین پارامترهای مربوط به مجاورت، یک پارامتر می بایست حذف می شد که مجاورت پوشش آسفالت از پارامترهای ورودی حذف شد. فهرست پارامترهای نهایی ورودی به مدل یادگیری ماشین در جدول ۵ نمایش داده شده است.

چشمگیر LST است؛ به طوری که پس از شبیه‌سازی، مد هیستوگرام از حدود 37°C به نزدیک 36°C رسیده است و پیکسل‌ها، برخلاف LST به دست آمده از تصویر، در محدوده کوچک اطراف مد پراکنده شده‌اند. این مسئله خنک‌تر شدن پیکسل‌ها در شبیه‌سازی تغییر آرایش پوشش اراضی شهر یزد را نشان می‌دهد (شکل ۱۰- چپ (ج)). میانگین LST در این شبیه‌سازی، با $36/61^{\circ}\text{C}$ کاهش، به $36/61^{\circ}\text{C}$ تغییر یافته است. این کاهش احتمالاً به دلیل پراکنده شدن زمین‌های بایر در سطح شهر و نیز مجاورت بیشتر کلاس‌های پوشش گیاهی (به منزله خنک‌ترین کلاس) و مناطق ساخته شده (با LST خنک‌تر)، در قیاس با پوشش تصادفی و پراکنده زمین‌های بایر در سراسر شهر است. مقایسه LST پیش‌بینی شده در این شبیه‌سازی، با LST به دست آمده از تصویر، بیان می‌کند میانگین LST در تمامی کلاس‌ها کاهش یافته و تقریباً برابر شده‌اند. در مورد زمین‌های بایر (در جایگاه اثرگذارترین کلاس پوشش اراضی، چنانکه در بخش‌های قبل بررسی شد)، به دلیل کاهش تراکم و نزدیک‌تر قرار گرفتن به پیکسل‌های مناطق ساخته شده و کلاس پوشش گیاهی (در قیاس با مدل اصلی شهر)، کاهش دمای شدیدی پیش‌بینی شده است. این نکته اثر پوشش اراضی و مجاورت آن و نیز تغییر آرایش پوشش اراضی در LST را به خوبی نشان می‌دهد. اثرگذاری آرایش چشم‌اندازهای شهری در دمای سطح زمین، در پژوهش آزرورن و آلوارس-سانچس (۲۰۱۹) نیز، اثبات شده است.

نقشه LST پیش‌بینی شده پس از شبیه‌سازی زمین‌های بایر به مناطق ساخته شده، همراه با نقشه تغییرات و هیستوگرام آن، در شکل ۱۱ نمایش داده شده است. با توجه به نقشه تغییرات LST پیش‌بینی شده در قیاس با LST برآورد شده از تصویر حرارتی شهر یزد، این شبیه‌سازی توانسته است سبب

بدین ترتیب ابتدا، به منظور بررسی میزان اثرپذیری LST از تغییر آرایش پوشش اراضی شهر، نقشه پوشش اراضی شهر به صورت کنترل شده (حفظ مساحت هر کلاس) و تصادفی، کاملاً تغییر آرایش یافت؛ در نتیجه هریک از پیکسل‌های پوشش اراضی، علاوه بر مکان جدید، دارای مقادیر جدیدی از مجاورت پوشش اراضی شد (شکل ۱۰- راست). نقشه LST پیش‌بینی شده پس از این شبیه‌سازی، همراه با نقشه تغییرات و هیستوگرام آن، در شکل ۱۰- چپ- ج نمایش داده شده است. نقشه پیش‌بینی شده LST کاهش LST در تمامی شهر را به جز مناطق شمالی آن، به خوبی بیان می‌کند (شکل ۱۰- چپ (الف)). با توجه به نقشه ارتفاعی شهر یزد، این مناطق منطبق بر پست‌ترین مناطق شهر مذکورند (شکل ۵- ب). این نکته این ادعا را اثبات می‌کند که عامل ارتفاع در شهر یزد رابطه منفی با LST دارد. ارتباط منفی بین دمای سطح زمین و عامل ارتفاع پیش‌تر نیز، در پژوهش پنگ و همکاران (۲۰۲۰)، تأیید شده بود و با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. بررسی تغییرات LST (شکل ۱۰- چپ (ب)) نیز بیان می‌کند، با توجه به نقشه پوشش اراضی شهر یزد (شکل ۵- الف)، تغییرات LST به سمت خنک‌تر شدن در زمین‌های بایر و اطراف آنها بیشتر مشهود است. این مسئله احتمالاً اثبات می‌کند، پس از به هم ریختگی شهر، کاهش تراکم زمین‌های بایر و مجاورت آنها با پیکسل‌های دیگر، به ویژه پیکسل‌های مناطق شهری که LST کمتر از زمین‌های بایر داشتند، سبب کاهش میانگین LST در این شبیه‌سازی شده است؛ در حالی که مناطق گرم‌تر شده اغلب به کلاس‌های پوشش گیاهی و مناطق ساخته شده تعلق دارند و مجاورت با زمین‌های بایر پراکنده در سطح شهر سبب تغییر و افزایش دمای این مناطق شده است. اثرگذاری بسیار زیاد زمین‌های بایر در دمای سطح زمین پیش‌تر در پژوهش گوها و گوویل^۱ (۲۰۲۱) نیز به اثبات رسیده بود که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. هیستوگرام تغییرات LST براساس این مدل نیز بیانگر خنک‌تر شدن

1. Guha & Govil

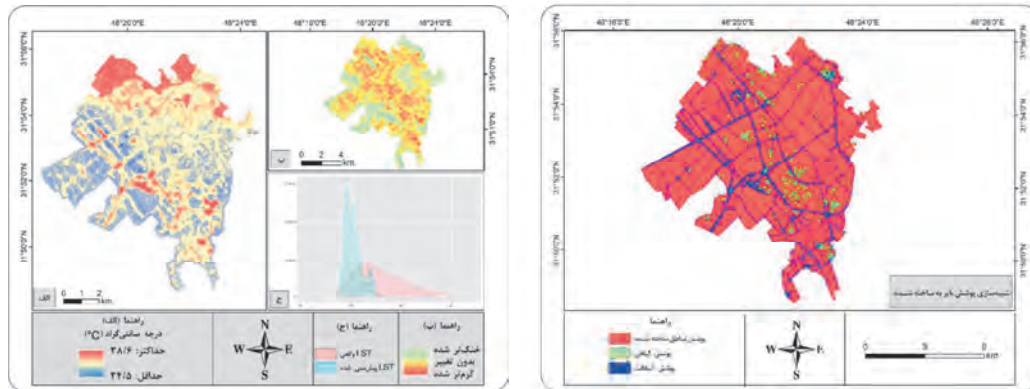


شکل ۱۰. راست: نقشه شبیه‌سازی تغییر آرایش پوشش اراضی شهر یزد به صورت تصادفی؛ چپ: نقشه LST برآورد شده در شبیه‌سازی (الف)، نقشه تغییرات LST پس از شبیه‌سازی (ب)، هیستوگرام تغییرات (ج)

باشد. این میانگین LST در پوشش گیاهی، با $1/15^{\circ}\text{C}$ اختلاف، به $36/55$ کاهش یافته که احتمال دارد به علت حذف اثر مجاورت زمین‌های بایر و جایگزینی آنها با کلاسی دارای میانگین نزدیک LST به کلاس پوشش گیاهی، یعنی پوشش مناطق ساخته‌شده، باشد. در نهایت، پوشش آسفالت نیز با $0/16^{\circ}\text{C}$ اختلاف، به $37/89$ افزایش یافته است. از آنجاکه آسفالت بیشتر در مجاورت مناطق ساخته‌شده قرار دارد و نیز با در نظر گرفتن اینکه افزایش میانگین LST در پوشش آسفالت تقریباً یک‌سوم افزایش آن در پوشش مناطق ساخته‌شده است، احتمال دارد این افزایش در مناطق ساخته‌شده، به‌دلیل ذکر شده، در میانگین LST پوشش‌های آسفالت نیز اثر گذاشته باشد. الکافی^۱ و همکاران (۲۰۲۱) بین LST و مناطق ساخته‌شده ارتباط مثبتی نشان دادند که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی ندارد زیرا پژوهش یاد شده مناطق ساخته‌شده را منفک از اراضی بایر بررسی نکرده است. علاوه بر آن، پژوهش حاضر LST را نسبی مدل کرده؛ بدین مفهوم که ارتباط منفی مناطق ساخته‌شده و LST ناشی از حذف اثر افزایشدهنده اراضی بایر است که بیشتر از مناطق ساخته‌شده در LST اثرگذارند.

کاهش محسوس LST در زمین‌های بایر شود (شکل ۱۱- چپ (ب)). هیستوگرام نقشه LST پیش‌بینی شده همچنین کاهش LST را تأیید می‌کند زیرا چولگی بیشتر داده‌ها، در هیستوگرام پیش‌بینی، به سمت راست و تغییر مد داده‌ها نیز به سمت چپ بوده است. در این هیستوگرام، پراکنش دیتاها از 32°C تا 44°C در داده‌های اصلی به 34°C تا 38°C رسیده است. مد هیستوگرام نیز بیشترین فراوانی را در داده پیش‌بینی تقریباً 35°C نشان می‌دهد؛ در حالی که مد در داده اصلی تقریباً 37°C بوده است (شکل ۱۱- چپ (ج)). میانگین LST برای کل شهر، با $1/1^{\circ}\text{C}$ کاهش به نسبت شهر اصلی، به $37/14^{\circ}\text{C}$ رسیده است. چه‌بسا دلیل آن پایین‌تر بودن میانگین LST در پوشش مناطق ساخته‌شده (به‌علت وجود عوامل متعادل‌کننده‌ای مانند پوشش گیاهی، خنک‌کننده‌های تابستانی، ایزوگام سقف‌ها) در مقایسه با زمین‌های بایر، از یک‌سو و از سوی دیگر حذف اثر زیاد پوشش بایر در LST، با توجه به برآوردهای غیرخطی مدل یادگیری ماشین باشد. میانگین LST به تفکیک کلاس نیز در کلاس مناطق ساخته‌شده به نسبت شهر اصلی، با $0/56^{\circ}\text{C}$ اختلاف، به $38/32^{\circ}\text{C}$ افزایش یافته است. این افزایش ممکن است به دلیل نقش اثرگذار ارتفاع (به‌منزله چهارمین پارامتر مؤثر) و نبود عوامل متعادل‌کننده LST در شبیه‌سازی

1. AlKafy

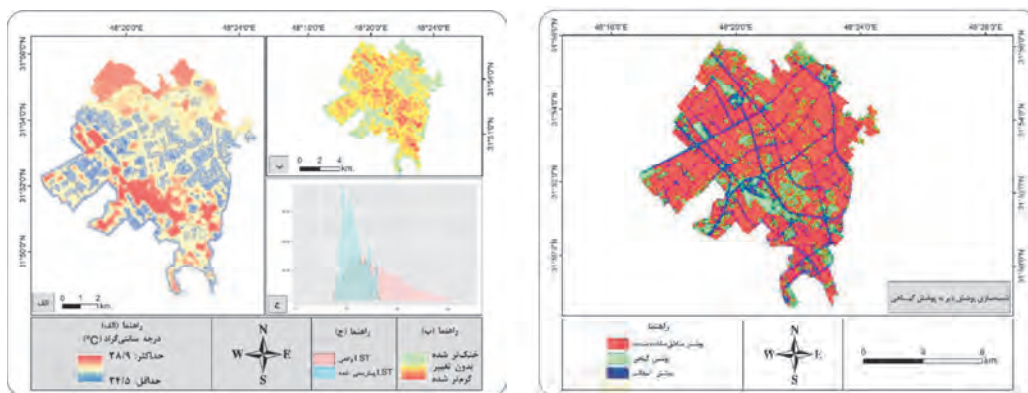


شکل ۱۱. راست: نقشه شبیه‌سازی تغییر پوشش اراضی بایر به مناطق ساخته‌شده؛ چپ: نقشه LST برآوردشده در شبیه‌سازی (الف)، نقشه تغییرات LST پس از شبیه‌سازی (ب)، هیستوگرام تغییرات (ج)

میانگین دما که تقریباً دو برابر کاهش در شبیه‌سازی به پوشش مناطق ساخته‌شده است، تأثیر پوشش گیاهی در کاهش LST و نیز توجه به اهمیت این پوشش در کاهش LST را برای مدل به‌خوبی نشان می‌دهد. میانگین LST به تفکیک کلاس نیز به‌نسبت شهر اصلی، در کلاس مناطق ساخته‌شده، با $1/42^{\circ}\text{C}$ کاهش، به $36/34^{\circ}\text{C}$ رسیده است و در کلاس پوشش گیاهی، با $1/68^{\circ}\text{C}$ افت به $36/02^{\circ}\text{C}$ و در کلاس آسفالت، با $1/23^{\circ}\text{C}$ کاهش به $36/5^{\circ}\text{C}$ رسیده است. نزدیک‌بودن مقدار تغییر میانگین دما در هر یک از کلاس‌های پوشش اراضی بیانگر اثر مهم پوشش گیاهی در LST در تمامی کلاس‌هاست؛ چراکه حذف اثر زمین‌های بایر در LST از یک سو و از سوی دیگر، جایگزینی آن با کلاس پوشش گیاهی که علاوه بر داشتن خنک‌ترین میانگین LST، خود، به‌دلیل عواملی همچون تبخیر و سایه و نیاز به آبیاری، نقش خنک‌کنندگی دارد، این امکان را فراهم کرده است که میانگین دما در همه کلاس‌ها به مقدار 1°C کاهش یابد.

نقشه LST پیش‌بینی‌شده در شبیه‌سازی ۳۰٪ از اراضی بایر به پوشش گیاهی، به‌همراه نقشه تغییرات و هیستوگرام آن، در شکل ۱۳ نمایش داده شده است.

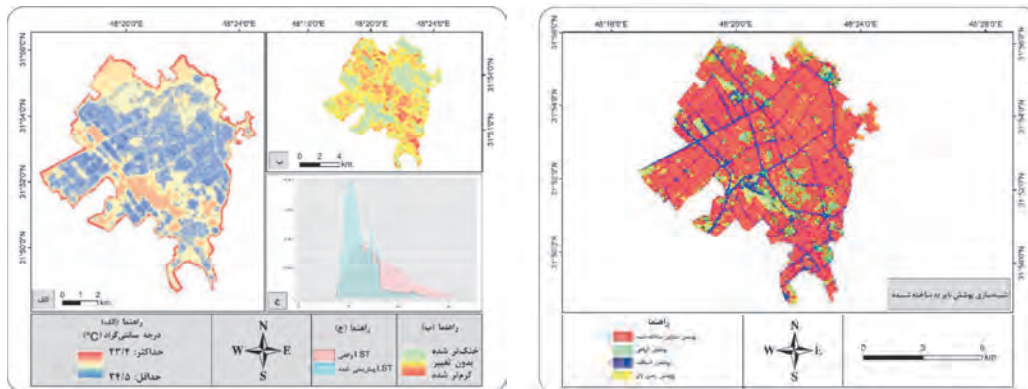
نقشه LST پیش‌بینی‌شده در شبیه‌سازی تغییر پوشش زمین‌های بایر به پوشش گیاهی، به‌همراه نقشه تغییرات به‌نسبت وضعیت اصلی و هیستوگرام آن، در شکل ۱۲ نشان داده شده است. نتایج نقشه تغییرات به‌وضوح بیان می‌کند LST زمین‌های بایر کاهش محسوس یافته‌اند. این کاهش در مناطق شمال‌شرق به‌سمت مرکز پوشش مناطق ساخته‌شده هم به‌چشم می‌خورد که شامل بافت تاریخی شهر یزد نیز می‌شود (شکل ۱۲ - چپ (ب)). مقایسه هیستوگرام نقشه LST پیش‌بینی‌شده با LST برآوردشده از تصویر حرارتی شهر یزد نیز، در قیاس با داده‌های اصلی، نشان می‌دهد چولگی بیشتر داده‌ها، در هیستوگرام پیش‌بینی، به‌سمت راست و تغییر مد داده‌ها به‌سمت چپ بوده است. این نکته به کاهش LST اشاره دارد. هیستوگرام LST پیش‌بینی‌شده پراکنش داده‌های جدید را حول مقادیر خنک‌تر LST (33°C تا 38°C) نشان می‌دهد. مد داده‌ها در این هیستوگرام نیز حدود 35°C است؛ درحالی که رنج داده‌های LST برآوردشده طبق تصویر حرارتی شهر یزد بین 32°C تا 45°C و مد آن حدود 37°C بوده است (شکل ۱۲ - چپ (ج)). میانگین LST کل شهر، در این شبیه‌سازی، $36/16^{\circ}\text{C}$ برآورد شده که در قیاس با



شکل ۱۲. راست: نقشه شبیه‌سازی تغییر پوشش اراضی بایر به پوشش گیاهی؛ چپ: نقشه LST برآورد شده در شبیه‌سازی (الف)، نقشه تغییرات LST پس از شبیه‌سازی (ب)، هیستوگرام تغییرات (ج)

کاهش، به 37°C رسیده است. کاهش میانگین کلی LST و میانگین LST در هر چهار کلاس، بار دیگر اثر پوشش گیاهی در خنک‌کنندگی LST و حذف بخشی از اثرگذاری زمین‌های بایر (30%) را بازگو می‌کند. کاسته‌شدن این تأثیر خنک‌کنندگی در قیاس با شبیه‌سازی قبلی (تمامی زمین‌های بایر به پوشش گیاهی) نیز به دلیل شبیه‌سازی بخشی (30%) از زمین‌های بایر است (نه 100% آن). اما نکته شایان توجه تأثیر بسیار زیاد پوشش گیاهی در میانگین LST در پوشش زمین‌های بایر است. این پوشش فقط با جایگزینی 30% با پوشش گیاهی $1/79^{\circ}\text{C}$ (بیشترین تغییر LST بین کل کلاس‌ها، در هر سه شبیه‌سازی) مواجه شده است؛ بنابراین تأثیر خنک‌کنندگی پوشش گیاهی، به‌منزله پوششی دارای کمترین میانگین LST، در پوشش زمین‌های بایر به‌منزله پوششی با بیشترین میانگین LST بسیار بیشتر از دیگر پوشش‌ها بوده است. این می‌تواند اثباتی بر این مدعا باشد که زمین‌های بایر بیشترین اثر را در LST و پوشش گیاهی بیشترین نقش در متعادل‌کنندگی LST را دارد. اثرگذاری پوشش گیاهی، در جایگاه عامل خنک‌کننده، در دمای سطح زمین و ارتباط منفی این دو پارامتر محیطی، پیش‌تر در پژوهش‌های متعددی که ارتباط بین LST و پوشش گیاهی را بررسی کرده‌اند، اثبات شده است و نتایج پژوهش حاضر را تأیید می‌کنند (Alexander, 2021; Guha & Govil, 2021).

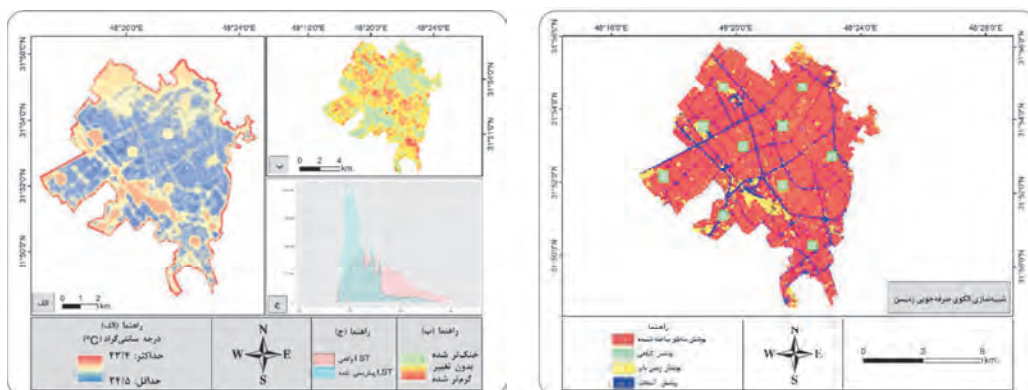
نقشه تغییرات حاکی از کاهش LST در زمین‌های بایر است اما در مجموع، کاهش در LST در این شبیه‌سازی، به نسبت شبیه‌سازی کل زمین‌های بایر به پوشش گیاهی، محدودتر و در شبیه‌سازی زمین‌های بایر به مناطق ساخته‌شده، بیشتر بوده است. ضمن آنکه مناطق نزدیک به مرز شهر کمتر با کاهش دما مواجه بوده (شکل ۱۳- چپ (ب)). با این حال همچنان کاهش پراکنش داده‌های LST از هیستوگرام داده‌ها نمایش داده می‌شود. چولگی بیشتر داده‌ها در هیستوگرام پیش‌بینی به سمت راست و تغییر مد داده‌ها به سمت چپ، به نسبت داده‌های واقعی، کاهش LST را می‌رساند. با پراکنشی بیشتر از دو شبیه‌سازی قبل، رنج دمای پیش‌بینی شده بین 34°C تا نزدیک به 43°C بوده و مد داده‌ها نیز، با اندکی افزایش در قیاس با دو شبیه‌سازی پیشین، در 36°C است؛ دلیل احتمالی آن نیز حضور باقی‌مانده زمین‌های بایر در شهر محسوب می‌شود (شکل ۱۳- چپ (ج)). میانگین LST کل شهر در این مدل، با $1/64^{\circ}\text{C}$ کاهش در قیاس با شهر اصلی، به $37/14^{\circ}\text{C}$ رسیده است. مقایسه میانگین LST به تفکیک کلاس‌ها، در این مدل، با شهر اصلی بیان می‌کند در این شبیه‌سازی، میانگین LST در کلاس مناطق ساخته‌شده، با $0/5^{\circ}\text{C}$ کاهش، به $37/26^{\circ}\text{C}$ رسیده و در کلاس پوشش گیاهی با $1/39^{\circ}\text{C}$ کاهش، به $36/31^{\circ}\text{C}$ ، در کلاس زمین‌های بایر با $1/79^{\circ}\text{C}$ کاهش، به $38/34^{\circ}\text{C}$ و در پوشش آسفالت با $0/73^{\circ}\text{C}$



شکل ۱۳. راست: نقشه شبیه‌سازی تغییر پوشش ۳۰٪ اراضی بایر به پوشش گیاهی؛ چپ: نقشه LST برآورد شده در شبیه‌سازی (الف)، نقشه تغییرات LST پس از شبیه‌سازی (ب)، هیستوگرام تغییرات (ج)

برای کلاس مناطق ساخته‌شده با $1/33^{\circ}\text{C}$ کاهش، $36/43^{\circ}\text{C}$ برآورد شده است که این نکته هم نقش مهم تراکم پوشش گیاهی در بلوک‌های بزرگ را، در کاهش LST، تأیید می‌کند. میانگین LST برای کلاس پوشش گیاهی با $2/06^{\circ}\text{C}$ ، به $39/74^{\circ}\text{C}$ افزایش یافته و علت احتمالی این افزایش کم‌شدن پوشش گیاهی شهر یزد به 50% واقعیت است. میانگین LST برای کلاس زمین‌های بایر نیز، با $2/56^{\circ}\text{C}$ کاهش به $37/57^{\circ}\text{C}$ برآورد شده است که نقش بسزای تراکم پوشش گیاهی در کاهش میانگین LST زمین‌های بایر را نشان می‌دهد. در نهایت، میانگین LST برای کلاس آسفالت، با $0/21^{\circ}\text{C}$ افزایش، $37/94^{\circ}\text{C}$ برآورد شده است که این افزایش اندک LST در پوشش مورد نظر، با توجه به فرم ابعاد بزرگ و متراکم پوشش گیاهی و نیز پوشش باریک و کم‌حجم آسفالت و به‌علاوه، فقدان 50% از پوشش گیاهی واقعی، ممکن است به‌دلیل کاهش مجاورت پوشش آسفالت با پوشش گیاهی باشد. باین حال اثر پوشش گیاهی متراکم در متعادل‌سازی LST پوشش آسفالت (حتی اگر موجب کاهش‌شدن میانگین LST نباشد) محسوس است زیرا در غیر این صورت، با حذف حدود 50% پوشش گیاهی شهر، انتظار می‌رفت میانگین LST در آسفالت افزایش شدیدتری داشته باشد.

نقشه LST پیش‌بینی شده در مدل صرفه‌جویی زمین (شکل ۱۴) بیان می‌کند LST اغلب در پوشش زمین‌های بایر کاهش یافته اما از طرفی موجب افزایش نسبی LST در مناطق دارای پوشش گیاهی شده است. این به‌دلیل حذف پوشش گیاهی در مناطق مورد نظر و تجمع آن در بلوک‌های بزرگ‌تر است (شکل ۱۴- چپ (ب)). هیستوگرام این داده‌ها نیز حاکی از چولگی بیشتر داده‌ها در هیستوگرام پیش‌بینی، به‌سمت چپ و همچنین تغییر مد داده‌ها به‌سمت چپ، در قیاس با داده‌های واقعی است و کاهش LST را می‌رساند. هیستوگرام داده‌های پیش‌بینی LST در رنج 34 تا 45 درجه بوده؛ در صورتی که مد در هیستوگرام داده‌های پیش‌بینی LST در 36°C بوده است. یک قله نزدیک به مد، در حوالی 35°C نیز، به‌چشم می‌خورد که نشان از تمایل داده‌های بسیار LST در حوالی این دو دما دارد. (شکل ۱۴- چپ (ج)). میانگین LST برای کل شهر، در این شبیه‌سازی، با $1/3^{\circ}\text{C}$ کاهش به‌نسبت دمای واقعی شهر، $36/96^{\circ}\text{C}$ برآورد شده است. LST با توجه به اینکه فقط حدود 50% پوشش گیاهی شهر در این شبیه‌سازی به‌کار رفته است، این کاهش میانگین اثبات می‌کند تراکم بالای پوشش گیاهی و مکان‌یابی آن می‌تواند اهمیت بسزایی در کنترل LST داشته باشد. میانگین LST در قیاس با دمای اصلی شهر یزد،



شکل ۱۴. راست: نقشه شبیه‌سازی پوشش گیاهی در مدل صرفه‌جویی زمین؛ چپ: نقشه LST برآورد شده در شبیه‌سازی (الف)، نقشه تغییرات LST پس از شبیه‌سازی (ب)، هیستوگرام تغییرات (ج)

نقشه LST پیش‌بینی شده در مدل تقسیم زمین (شکل ۱۵)، علاوه بر اشاره به کاهش LST به‌ویژه در مناطق بایر، بیانگر کاسته‌شدن مناطقی است که در مدل صرفه‌جویی زمین، با افزایش دما مواجه بودند (شکل ۱۵ - چپ (ب)). تغییر مذکور در هیستوگرام این تصویر که بین ۳۴ تا ۴۳ درجه پراکنش داشته است، نیز دیده می‌شود؛ به‌صورت مقایسه‌ای، هیستوگرام پیش‌بینی LST در مدل صرفه‌جویی زمین یک قله در حدود 38°C با حدود 37500 پیکسل ($3/75$ کیلومترمربع) داشت (شکل ۱۴ - چپ (ج)) که این قله در هیستوگرام پیش‌بینی LST در مدل تقسیم زمین، به حدود 30000 پیکسل (3 کیلومترمربع) کاهش یافت (شکل ۱۵ - چپ (ج)). همچنین مد هیستوگرام پیش‌بینی LST در مدل صرفه‌جویی زمین، شامل حدوداً $100,000$ پیکسل (10 کیلومترمربع) در محدوده 36°C بود (شکل ۱۴ - چپ (ج))؛ در صورتی که مد تقسیم زمین این مد، در همین محدوده، شامل حدوداً $110,000$ پیکسل (11 کیلومترمربع) می‌شود (شکل ۱۵ - چپ (ج)) که بیانگر کاهش مساحت کلاس گرم‌تر و افزایش مساحت کلاس خنک‌تر در مدل تقسیم زمین، به نسبت مدل صرفه‌جویی زمین است. میانگین LST برای کل شهر در این شبیه‌سازی (تقسیم زمین)، با $1/4^{\circ}\text{C}$ کاهش در قیاس با دمای واقعی شهر، برابر

$36/86^{\circ}\text{C}$ برآورد شده است. این دما، تقریباً با $1/0^{\circ}\text{C}$ خنک‌تر بودن، با دمای شبیه‌سازی مدل صرفه‌جویی زمین برابر است و چیدمان پوشش گیاهی دارای تراکم پایین و پراکنش بالا میانگین LST را به میزان $1/0$ درجه بیشتر از مدل صرفه‌جویی در زمین، کاهش داده است. این دما در مقایسه با دمای اصلی شهر یزد، برای کلاس مناطق ساخته‌شده، با $1/33^{\circ}\text{C}$ کاهش، $36/43^{\circ}\text{C}$ برای کلاس پوشش گیاهی با $0/85^{\circ}\text{C}$ کاهش، $36/85^{\circ}\text{C}$ برای کلاس زمین‌های بایر با $2/54^{\circ}\text{C}$ کاهش، $37/59^{\circ}\text{C}$ برای کلاس آسفالت با $0/24^{\circ}\text{C}$ افزایش، $37/97^{\circ}\text{C}$ برآورد شده است. این مقادیر برآوردشده، به جز در کلاس پوشش گیاهی و به‌غیر از دو یا سه‌دهم درجه سانتی‌گراد، در سایر کلاس‌ها تقریباً با مدل شبیه‌سازی صرفه‌جویی زمین برابر است و تراکم پایین و پراکنش بالای پوشش گیاهی اثر متفاوتی در میانگین LST، در پوشش مناطق ساخته‌شده و زمین‌های بایر نداشته است. این نتایج بار دیگر اثر چیدمان پوشش گیاهی را در کاهش میانگین LST، به نسبت دمای واقعی شهر، اثبات می‌کند. تفاوت بارز میانگین LST در این مدل (تقسیم زمین)، در قیاس با مدل صرفه‌جویی زمین در کلاس پوشش گیاهی، چه‌بسا به این دلیل باشد که چینش پوشش گیاهی در سراسر شهر، سبب جبران فقدان $0/50$

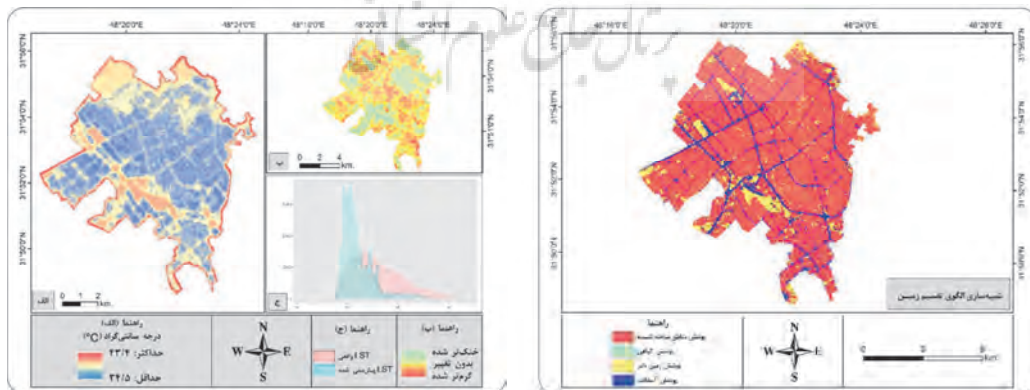
بهینه، اثر و عامل هریک از این پارامترها در LST شهر یزد بررسی شد. پس از آن، مدل‌های شبیه‌سازی چشم‌انداز سطح زمین شهر یزد تهیه و LST، براساس هریک از مدل‌های شبیه‌سازی شده، به‌دست آمد. به‌منظور افزایش دقت تصویر مورد استفاده در طبقه‌بندی پوشش اراضی و شاخص‌های استخراج‌شده از آن، از فیوژن طیفی و مکانی تصویر لندست-۸ با سنتینل-۲ استفاده شد که این کار دقت کلی طبقه‌بندی حاصل از تصویر را به‌ترتیب، از ۷۷/۹٪ در تصویر لندست به ۸۸/۶٪ (۱۰/۷٪) در تصویر فیوژن شده و ضریب کاپا را از ۶۲/۲٪ در تصویر لندست به ۷۸/۷٪ (۱۶/۵٪) در تصویر فیوژن شده ارتقا داد.

نتایج این پژوهش مشخص کرد بیشتر پارامترهای مرتبط با همسایگی با پوشش اراضی در رده یکم تا یازدهم تأثیرگذاری در LST شهر یزد قرار دارند. در این بین، مجاورت با پوشش زمین‌های بایر در شعاع ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ متر، در مجموع با ۷۳/۵٪ از ضریب اهمیت، به‌ترتیب رتبه نخست تا سوم مهم‌ترین پارامترهای اثرگذار در LST را از آن خود کردند. پیش‌تر نیز در پژوهش‌های گوناگونی، اثرگذاری بسیار زیاد اراضی بایر در دمای زمین اثبات شده است (Guha & Govil, 2021; Mansourmoghaddam et al., 2021). پس از آن، عامل ارتفاع با ضریب اهمیت ۶/۳٪ به‌منزله چهارمین عامل اثرگذار در LST معرفی شد. سپس پوشش

پوشش گیاهی شهر در مدل تقسیم زمین است. این عامل موجب کاهش میانگین LST در کلاس پوشش گیاهی شده است اما تراکم و یک‌جایی پوشش گیاهی و مضاف بر آن، فقدان نزدیک به ۵۰٪ پوشش گیاهی در مدل صرفه‌جویی زمین، سبب افزایش میانگین LST برآوردشده در این مدل شده بود.

۴- نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر مدل‌سازی LST شهر یزد برای سال ۲۰۲۰، با استفاده از پارامترهای مرتبط با چشم‌انداز سطح زمین، از جمله پوشش اراضی، مجاورت با کلاس‌های گوناگون پوشش اراضی در شعاع ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ متر، ارتفاع، شاخص‌های NDVI، NDBI، MNDWI و NDISI، شیب و جهت شیب است. همچنین پیش‌بینی LST در شبیه‌سازی‌های متفاوت از چشم‌انداز شهری، همانند شبیه‌سازی زمین‌های بایر با مناطق ساخته‌شده، شبیه‌سازی زمین‌های بایر با پوشش گیاهی، شبیه‌سازی ۳۰٪ از زمین‌های بایر با پوشش گیاهی، شبیه‌سازی پوشش گیاهی در مدل صرفه‌جویی زمین و شبیه‌سازی پوشش گیاهی شهر یزد در مدل تقسیم زمین، با هدف بررسی LST در حالت‌های متفاوت برنامه‌ریزی و آینده‌نگری برای شهر یزد هدف دیگر این پژوهش به‌شمار می‌رود. بدین‌منظور، ابتدا پارامترهای متفاوتی از چشم‌انداز سطح زمین شهر یزد محاسبه شد و سپس با استفاده از الگوریتم یادگیری ماشین از طریق مدل



شکل ۱۵. راست: نقشه شبیه‌سازی پوشش گیاهی در مدل تقسیم زمین؛ چپ: نقشه LST برآوردشده در شبیه‌سازی (الف)، نقشه تغییرات LST پس از شبیه‌سازی (ب)، هیستوگرام تغییرات (ج)

- Expansion**, Geographical Urban Planning Research (GUPR), 3(1), PP. 1-17.
- Alexander, C., 2021, **Influence of the Proportion, Height and Proximity of Vegetation and Buildings on Urban Land Surface Temperature**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 95, P. 102265.
- 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), PP. 2606-2617.
- Avdan, U. & Jovanovska, G., 2016, **Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data**, Journal of Sensors, 2016.
- Bonafoni, S. & Keeratikasikorn, C., 2018, **Land Surface Temperature and Urban Density: Multiyear Modeling and Relationship Analysis Using MODIS and Landsat Data**, Remote Sensing, 10(9), P. 1471.
- Colditz, R.R., Wehrmann, T., Bachmann, M., Steinnocher, K., Schmidt, M., Strunz, G. & Dech, S., 2006, **Influence of Image Fusion Approaches on Classification Accuracy: A Case Study**, International Journal of Remote Sensing, 27(15), PP. 3311-3335.
- Collas, L., Green, R.E., Ross, A., Wastell, J.H. & Balmford, A., 2017, **Urban Development, Land Sharing and Land Sparing: The Importance of Considering Restoration**, Journal of Applied Ecology, 54(6), PP. 1865-1873.
- CustomWeather, 2022, **Climate & Weather Averages in Yazd, Iran**, Retrieved from <https://www.timeanddate.com/weather/iran/yazd/climate>.
- Dos Santos, A.R., de Oliveira, F.S., da Silva, A.G., Gleriani, J.M., Gonçalves, W., Moreira, G.L..., & da Silva, R.G., 2017, **Spatial and Temporal Distribution of Urban Heat Islands**, Science of the Total Environment, 605, PP. 946-956.
- آسفالت در مجاورت ۱۰۰ متر، با کسب ۴/۲٪ اهمیت، پنجمین عامل مؤثر در LST شهر یزد به‌شمار رفت. پوشش گیاهی در مجاورت ۱۵۰، ۱۰۰ و ۵۰ متر، به‌ترتیب با ۳/۸، ۲/۲ و ۲٪ ضریب اهمیت، در رتبه‌های ششم، هفتم و هشتم اثرگذاری در LST در شهر یزد مدل شدند. پوشش آسفالت در مجاورت ۵۰ متر با ۱/۹٪، پوشش مناطق ساخته‌شده در مجاورت ۵۰ متر با ۱/۴٪ و پوشش آسفالت در مجاورت ۱۵۰ متر با ۱/۲٪ ضریب اهمیت، به‌ترتیب در رتبه‌های نهم و دهم و یازدهم اثرگذاری در LST شهر یزد در نتایج قرار گرفتند. همچنین مقادیر شاخص NDVI با کسب ۱/۱٪ ضریب اهمیت، در رتبه دوازدهم این اثرگذاری واقع شد. سایر شاخص‌ها، از جمله پوشش مناطق ساخته‌شده در مجاورت ۱۵۰ و ۱۰۰ متر، کلاس زمین‌های بایر، مقادیر شاخص NDBI، کلاس پوشش مناطق ساخته‌شده، جهت شیب، مقادیر شاخص NDISI، کلاس پوشش گیاهی، درصد شیب، مقادیر شاخص MNDWI و کلاس آسفالت، هر یک با ضریب اهمیت کمتر از ۰/۹٪ به‌ترتیب رتبه‌های یازدهم تا بیست‌ودوم اثرگذاری در LST را به خود اختصاص دادند. این پژوهش همچنین نشان داد تغییر آرایش پوشش اراضی می‌تواند در LST تأثیر بگذارد و تغییر پوشش زمین‌های بایر به ۱) مناطق ساخته‌شده، تا $1/1^{\circ}\text{C}$ (۲ پوشش گیاهی، تا $2/1^{\circ}\text{C}$ و ۳) تغییر ۳۰٪ از زمین‌های بایر به پوشش گیاهی، تا $1/6^{\circ}\text{C}$ می‌تواند میانگین LST را در شهر یزد کاهش دهد. افزون‌بر اینها پژوهش حاضر، با بررسی دو مدل متفاوت شبیه‌سازی ایجاد پوشش گیاهی در سطح شهر یزد، نشان داد مدل صرفه‌جویی در زمین و مدل تقسیم زمین می‌تواند میانگین LST را در شهر یزد، به‌ترتیب تا $1/3^{\circ}\text{C}$ و $1/4^{\circ}\text{C}$ کاهش دهند.

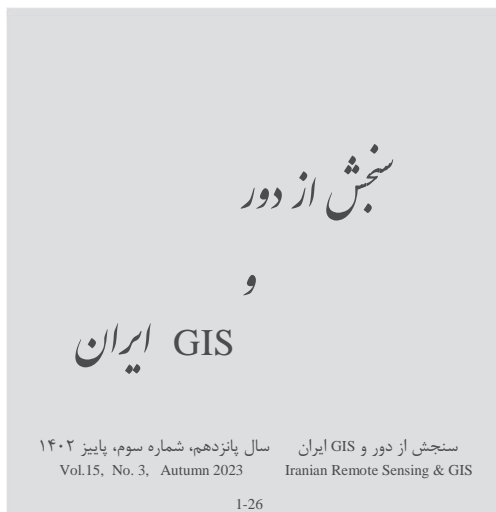
۵- منابع

Alavipanah, S.K., Hashemi Darrehbadami, S. & Kazemzadeh, A., 2015, **Spatial- Temporal Analysis of Urban Heat- Island of Mashhad City Due to Land Use/ Cover Change and**

- eesa. **MultiSpectral Instrument (MSI) Overview**, Retrieved from <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/msi-instrument>.
- Grimmond, C., 2006, **Progress in Measuring and Observing the Urban Atmosphere**, Theoretical and Applied Climatology, 84(1-3), PP. 3-22.
- Grimmond, S.U., 2007, **Urbanization and Global Environmental Change: Local Effects of Urban Warming**, Geographical Journal, 173(1), PP. 83-88.
- Guha, S. & Govil, H., 2021, **An Assessment on the Relationship between Land Surface Temperature and Normalized Difference Vegetation Index**, Environment, Development and Sustainability, 23(2), PP. 1944-1963.
- IBM, 2020, **What is Machine Learning?**, Retrieved from <https://www.ibm.com/cloud/learn/machine-learning>.
- Ishtiaque, A., Shrestha, M. & Chhetri, N., 2017, **Rapid Urban Growth in the Kathmandu Valley, Nepal: Monitoring Land Use Land Cover Dynamics of a Himalayan City with Landsat Imageries**, Environments, 4(4), P. 72.
- Jensen, J.R., 1996, **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective**, Prentice-Hall Inc.
- Jiang, J. & Tian, G., 2010, **Analysis of the Impact of Land Use/Land Cover Change on Land Surface Temperature with Remote Sensing**, Procedia environmental sciences, 2, PP. 571-575.
- Kafy, A.A., Dey, N.N., Al Rakib, A., Rahaman, Z.A., Nasher, N.R. and Bhatt, A., 2021. **Modeling the relationship between land use/land cover and land surface temperature in Dhaka, Bangladesh using CA-ANN algorithm**. Environmental Challenges, 4, p.100190. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100190>
- Karakuş, C.B., 2019, **The Impact of Land Use/Land Cover (LULC) Changes on Land Surface Temperature in Sivas City Center and Its Surroundings and Assessment of Urban Heat Island**, Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences, 55(4), PP. 669-684.
- Kikegawa, Y., Genchi, Y., Yoshikado, H. & Kondo, H. 2003, **Development of a Numerical Simulation System toward Comprehensive Assessments of Urban Warming Countermeasures Including Their Impacts upon the Urban Buildings' Energy-Demands**, Applied Energy, 76(4), PP. 449-466.
- LANDSAT 8 Data Users Handbook, 2015, Department of the Interior US Geological Survey.
- Li, X., Zhou, Y., Asrar, G.R., Imhoff, M. & Li, X., 2017, **The Surface Urban Heat Island Response to Urban Expansion: A Panel Analysis for the Conterminous United States**, Science of the Total Environment, 605, PP. 426-435.
- Mansourmoghaddam, M., Rousta, I., Zamani, M., Mokhtari, M.H., Karimi Firozjaei, M. & Alavipanah, S.K., 2021, **Study and Prediction of Land Surface Temperature Changes of Yazd City: Assessing the Proximity and Changes of Land Cover**, Journal of RS and GIS for Natural Resources, 12(4), PP. 1-27.
- Mansourmoghaddam, M., Ghafarian Malamiri, H.R., Arabi Aliabad, F., Fallah Tafti, M., Haghani, M. & Shojaei, S., 2022a, **The Separation of the Unpaved Roads and Prioritization of Paving These Roads Using UAV Images**, Air, Soil and Water Research, 15, P. 11786221221086285.
- Mansourmoghaddam, M., Rousta, I., Ghaffarian, H. & Mokhtari, M.H., 2022b, **Evaluating the Capability of Spatial and Spectral Fusion in Land-Cover Mapping Enhancement**, Earth Observation and Geomatics Engineering, 6(1), PP. 161-174.
- Maurer, T., 2013, **How to Pan-Sharpen Images Using the Gram-Schmidt Pan-Sharpen Method—A Recipe**, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 1, P. W1.
- Meineke, E.K., Dunn, R.R. & Frank, S.D., 2014, **Early Pest Development and Loss of Biological Control Are Associated with Urban Warming**, Biology Letters, 10(11), P. 20140586.

- Module, F., 2009, **Atmospheric Correction Module: QUAC and FLAASH User's Guide**, Version, 4, P. 44.
- Mustafa, E.K., Liu, G., El-Hamid, A., Hazem, T. & Kaloop, M.R., 2021, **Simulation of Land Use Dynamics and Impact on Land Surface Temperature Using Satellite Data**, *GeoJournal*, 86(3), PP. 1089-1107.
- Mwakapuja, F., Liwa, E. & Kashaigili, J., 2013, **Usage of Indices for Extraction of Built-Up Areas and Vegetation Features from Landsat TM Image: A Case of Dar es Salaam and Kisarawe Peri-Urban Areas, Tanzania**, *International Journal of Agriculture and Forestry*, 3(7): PP. 273-283.
- Oke, T.R., 1982, **The Energetic Basis of the Urban Heat Island**, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), PP. 1-24.
- Osborne, P.E. & Alvares-Sanches, T., 2019, **Quantifying How Landscape Composition and Configuration Affect Urban Land Surface Temperatures Using Machine Learning and Neutral Landscapes**, *Computers, Environment and Urban Systems*, 76, PP. 80-90.
- Peng, J., Ma, J., Liu, Q., Liu, Y., Li, Y. & Yue, Y., 2018, **Spatial-Temporal Change of Land Surface Temperature Across 285 Cities in China: An Urban-Rural Contrast Perspective**, *Science of the Total Environment*, 635, PP. 487-497.
- Peng, X., Wu, W., Zheng, Y., Sun, J., Hu, T. & Wang, P., 2020, **Correlation Analysis of Land Surface Temperature and Topographic Elements in Hangzhou, China**, *Scientific Reports*, 10(1), PP. 1-16.
- Piringer, M., Grimmond, C.S.B., Joffre, S.M., Mestayer, P., Middleton, D., Rotach, M., ... & Guilloteau, E., 2002, **Investigating the Surface Energy Balance in Urban Areas—Recent Advances and Future Needs**, *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, 2(5-6), PP. 1-16.
- Plocoste, T., Jacoby-Koaly, S., Molinié, J. & Petit, R., 2014, **Evidence of the Effect of an Urban Heat Island on Air Quality Near a Landfill**, *Urban climate*, 10, PP. 745-757.
- Quattrochi, D.A. & Luvall, J.C., 1999, **Thermal Infrared Remote Sensing for Analysis of Landscape Ecological Processes: Methods and Applications**, *Landscape Ecology*, 14(6), PP. 577-598.
- Richards, J.A. & Richards, J., 1999, **Remote Sensing Digital Image Analysis (Vol. 3)**, Springer.
- Rizwan, A.M., Dennis, L.Y. & Chunho, L., 2008, **A Review on the Generation, Determination and Mitigation of Urban Heat Island**, *Journal of Environmental Sciences*, 20(1), PP. 120-128.
- Rokni, K., Ahmad, A., Solaimani, K. & Hazini, S., 2015, **A New Approach for Surface Water Change Detection: Integration of Pixel Level Image Fusion and Image Classification Techniques**, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 34, PP. 226-234.
- Story, M. & Congalton, R.G., 1986, **Accuracy Assessment: A User's Perspective**, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52(3), PP. 397-399.
- Stott, I., Soga, M., Inger, R. & Gaston, K.J., 2015, **Land Sparing Is Crucial for Urban Ecosystem Services**, *Frontiers in Ecology and the Environment*, 13(7), PP. 387-393.
- Taha, H., 1997, **Urban Climates and Heat Islands: Albedo, Evapotranspiration, and Anthropogenic Heat**, *Energy and Buildings*, 25(2), PP. 99-103.
- Thompson, W.D. & Walter, S.D., 1988, **A Reappraisal of the Kappa Coefficient**, *Journal of Clinical Epidemiology*, 41(10), PP. 949-958.
- 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, PP. 119-132.
- Ullah, S., Ahmad, K., Sajjad, R.U., Abbasi, A.M., Nazeer, A. & Tahir, A.A., 2019, **Analysis and Simulation of Land Cover Changes and Their Impacts on Land Surface Tempera-**

- ture in a Lower Himalayan Region, Journal of Environmental Management, 245, PP. 348-357.
- USGS, **What Are the Band Designations for the Landsat Satellites?**, 2021, Retrieved from https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products.
- USGS, 2014, **OLI and TIRS Calibration Notices**, In: Landsat 8 Reprocessing to Begin February, 3, 2014.
- Weatherbase, 2022, **Yazd, Iran**, Monthly - Weather Averages Summary. Retrieved from <http://www.weatherbase.com/weather/weather.php?s=592536&cityname=Yazd-Yazd>.
- Willmott, C.J. & Matsuura, K., 2006, **On the Use of Dimensioned Measures of Error to Evaluate the Performance of Spatial Interpolators**, International Journal of Geographical Information Science, 20(1), PP. 89-102.
- Xu, H., 2006, **Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery**, International Journal of Remote Sensing, 27(14), PP. 3025-3033.
- Xu, H., 2010, **Analysis of Impervious Surface and Its Impact on Urban Heat Environment Using the Normalized Difference Impervious Surface Index (NDISI)**, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 76(5), PP. 557-565.
- Yazd Municipality website, 2019, **History of Yazd**, Retrieved from <https://www.yazd.ir/fa/web/yazd/w/%D8%AA%D8%A7%D8%B1%DB%8C%D8%AE%DA%86%D9%87-%DB%8C%D8%B2%D8%AF>. Accessed on 2022-03-03.
- Ziaul, S. & Pal, S., 2016, **Image Based Surface Temperature Extraction and Trend Detection in an Urban Area of West Bengal, India**, Journal of Environmental Geography, 9(3-4), PP. 13-25.



Investigating and Modeling the Effect of the Composition and Arrangement of the Landscapes of Yazd City on the Land Surface Temperature Using Machine Learning and Landsat-8 and Sentinel-2 Data

Mansourmoghaddam M.¹, Rousta I.^{2*}, Zamani M.S.³, Mokhtari M.H.⁴, Karimi Firozjahi M.⁵, Alavipanah S.K.⁶

1. Ph.D. Student of Remote Sensing, R.S. & GIS, Research Center, Shahid Beheshti University,
2. Assistant Prof. of Satellite Climatology, Yazd University
3. Assistant Prof. of Mathematics, Yazd University
4. Associate Prof. of Remote Sensing, Yazd University
5. Dep. of Remote Sensing, Tehran University
6. Prof. of Remote Sensing, Tehran University

Abstract

The effect of urban thermal islands due to intersections with major environmental challenges of the 21st century is one of the most important studies on environmental phenomena, and in this regard, the study of the land surface temperature gives a clear perspective of the thermal islands in cities, which, according to the warm and dry climate of Yazd, examines the status and factors affecting the land surface temperature in this city seem to be necessary. This research, using the spectrally and spatially fused image of Landsat-8, for August 2020, and using machine learning algorithms, tries to model the changes in land surface temperature by calculating different parameters related to urban land perspective. Based on the results of this study, the spectral-spatial fusion of Landsat-8 with Sentinel-2 by Pan sharpening, increased 10.7% of the overall accuracy and 16.5% of the Kappa coefficient in the classification of this image. The study also showed that most neighboring parameters associated with land cover are ranked 1 to 11 of influencing the land surface temperature of Yazd city. In this area, the proximity to bare lands in the radius of 100, 50, and 150 meters ranked 1 to 3 of the most important parameters affecting the land surface temperature respectively. This study showed that the change in land cover arrangement could affect the land surface temperature and changing the bare lands to the built-up areas, up to 1.1°C, to vegetation, up to 2.1°C, and changing 30% of bare land to vegetation, up to 1.6°C can reduce the average land surface temperature in Yazd. Also, this study showed that two different models of vegetation simulation in Yazd city showed that the "land-sparing" model could reduce the average land surface temperature in Yazd by 1.3° and the "land-sharing" model by 1.4°C.

Keywords: Gradient boosting, Image fusion, Urban parameters, Land cover simulation, Remote sensing.

* Correspondence Address: Dep. of Geography, Yazd University, Yazd. Tel: 8915818411

Email: irousta@yazd.ac.ir

<https://orcid.org/0000-0002-3694-6936>

<https://dx.doi.org/10.48308/gisj.2023.102195>



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).