

بررسی و تحلیل پویایی کاربری اراضی و تأثیر آن بر جزایر حرارتی شهری (مطالعه موردی: شهر مشهد)

نرگس عرب^۱، عبدالرسول سلمان ماهینی^{۱*}، علیرضا میکائیلی تبریزی^۱، توما ویتته^۲

^۱گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
^۲گروه جغرافیا، دانشگاه رن دو، رن، فرانسه

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۰

چکیده

هدف از این مطالعه بررسی و تحلیل پویایی کاربری اراضی و تأثیر آن بر جزایر حرارتی سطح شهر بوده است. این پژوهش برای شهر مشهد و نواری به عرض ۱۰ کیلومتر در اطراف آن به کمک تصاویر ماهواره لندست در بازه زمانی ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۸ انجام شد. فرآیند بکار رفته شامل طبقه‌بندی نظارت شده تصاویر، بررسی تغییرات کاربری‌ها در بازه زمانی یاد شده و بررسی تغییرات دمای سطح زمین (LST) و تراکم پوشش گیاهی (NDVI) در کاربری‌ها و رابطه آن‌ها با کاربری‌های سطح زمین بود. نتایج نشان داد که تا سال ۲۰۱۸، مساحت کاربری کشاورزی-باغ به میزان ۹/۳۸ درصد کاهش، مساحت مناطق ساخته شده شهری و مناطق مسکونی ۱۲/۱۹ درصد افزایش، فضای سبز شهری ۲/۱۱ درصد افزایش و سایر مناطق ۴/۹۳ درصد افزایش یافته است. کاهش سطح مناطق کشاورزی-باغ به دلیل تبدیل آن‌ها به مناطق ساخته شده شهری و مناطق مسکونی بوده است. همچنین مشخص شد که تغییرات کاربری اراضی انسان ساخت منجر به تغییر دمای سطح زمین (Land Surface Temperature) شده است. افزایش دمای سطح و کاهش تفاوت بین میانگین دمای مناطق درون شهری و مناطق اطراف شهر مشاهده شد که نشان‌دهنده گسترش پدیده جزیره گرمایی شهری در شهر مشهد است. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از داده‌های ماهواره‌ای چندزمانه و ترکیب روش‌های معمول بررسی جزایر حرارتی (بررسی تغییرات توزیع زمانی-مکانی جزایر حرارتی شهری نسبت به تغییرات گسترش شهری، رابطه جزایر حرارتی با پوشش گیاهی و کاربری و پوشش اراضی) می‌تواند دیدی همه‌جانبه از نحوه شکل‌گیری و گسترش جزایر حرارتی شهری به دست دهد.

کلید واژگان: تغییرات کاربری اراضی، NDVI، دمای سطح زمین، جزایر حرارتی شهری، شهر مشهد

مقدمه

امروزه بیش از نیمی از مردم جهان، در شهرها زندگی می‌کنند (Jalan and Sharma, 2014) و پیش‌بینی‌ها حاکی از این است که این درصد در آینده نیز افزایش یابد (Grigoras and Urişescu, 2019). رشد سریع جمعیت در سطح جهان به‌ویژه در دهه‌های اخیر، باعث توسعه شهرنشینی شده است، این افزایش سریع جمعیت، منجر به افزایش فعالیت‌های انسانی همراه با تغییر در کاربری‌ها و پوشش اراضی (LULC)، هندسه زمین، چرخه آب‌شناختی و غیره می‌شود که بر خرداقلیم شهر تأثیر می‌گذارد (Jalan and Sharma, 2014; Shirani Bidabadi et al., 2019). تغییر کاربری اراضی و پوشش زمین به دلیل تأثیرات محیط‌زیستی مانند کاهش فضای سبز و توسعه جزایر حرارتی شهری (Urban Heat Island = UHI) به یک نگرانی عمده محیط‌زیستی تبدیل شده است. خاک زمین‌های بایر و سطوح نفوذناپذیر مانند آسفالت، بتن و مصالح ساختمانی در شهرها، به‌علت داشتن ظرفیت گرمایی کمتر و هدایت حرارتی بیشتر، باعث افزایش دمای هوای محیطی نسبت به اطراف می‌شود. پدیده افزایش دمای هوای شهرها به شکل جزیره‌های و محلی را جزیره حرارتی شهری می‌نامند (Khosravi et al., 2016).

جزیره حرارتی شهری (UHI)، یکی از اصلی‌ترین دلایل گرم شدن آب و هوای شهری است و به‌عنوان یک پدیده محیط‌زیستی تعریف می‌شود که در آن دمای سطح زمین در مناطق شهری بالاتر از دمای مناطق اطراف است (Ahmed et al., 2013; Adams and Smith, 2014; Grigoras and Urişescu, 2019). این پدیده، اولین بار توسط لوک هوارد شناسایی شد. تشکیل جزیره گرمای شهری (UHI)، عواقب محیط‌زیستی، بهداشتی اجتماعی و اقتصادی به‌همراه دارد. این موارد شامل کاهش بهره‌وری و عملکرد کارگران، افزایش طوفان‌ها، بارش، افزایش تقاضای انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای، آلاینده‌های هوا و آلودگی آب و کاهش سلامت و راحتی شهروندان و افزایش شدت و

مدت زمان امواج گرمایی است (Iping et al., 2019). جزیره حرارتی شهری (UHI)، با مشکلات زیادی از جمله خطرات زیست‌فیزیکی (مانند استرس گرمایی)، آلودگی هوا و مشکلات بهداشت عمومی همراه است. در نتیجه توسعه راهبردهایی برای کاهش جزیره حرارتی شهری اکنون به یک چالش مهم در کاهش تغییرات اقلیمی و بهبود کیفیت زیست در مناطق شهری و بهداشت عمومی تبدیل شده است (Ahmed et al., 2013). در الگوی ارزیابی کلی توسعه پایدار، تغییر LST معیار مهمی برای تعیین ارزیابی کیفیت محیط‌زیست است (Dai et al., 2010). اثر جزیره حرارتی شهری، یک پدیده اقلیمی شهری است و شکل‌گیری و شدت این پدیده با نوع پوشش اراضی ارتباط نزدیکی دارد. تاکنون مقالات زیادی، مربوط به موضوع جزیره حرارتی شهری (UHI) منتشر شده است. به عنوان مثال، Wang و همکاران (۲۰۱۹)، به بررسی جزایر حرارتی شهری در منطقه شنزن چین پرداختند. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد LST شنزن در سطوح غیر قابل نفوذ شهری به‌طور قابل توجهی بالاتر از مناطق با پوشش گیاهی است. بنابراین دو فاکتور سطوح غیر قابل نفوذ و پوشش گیاهی شهری، هر دو بر مؤلفه LST شنزن تأثیرگذار بودند (Wang et al., 2019). Grigoras و همکاران (۲۰۱۹)، به بررسی جزایر حرارتی شهر بخارست رومانی پرداختند و نتایج پژوهش ایشان نشان داد، که از سال ۱۹۸۴ تا سال ۲۰۱۶ با افزایش کاربری شهری و زمین‌های زراعی و کاهش اراضی جنگلی دمای هوا در سطح شهر افزایش یافته و پدیده جزایر حرارتی شهری در بخارست روند رو به رشدی داشته است. نوع پوشش زمین نقش مهمی در محیط شهری دارد، بنابراین استخراج دقیق و به موقع انواع پوشش اراضی برای نظارت و مدیریت محیط‌زیست مهم است. نگرانی امروز جامعه به تغییرات جزایر حرارتی شهرها با توجه به تغییر سطح زمین و پوشش کاربری اراضی کاملاً ملموس است (Grigoras and Urişescu, 2019). از این رو در مطالعه حاضر، یک تجزیه و تحلیل جامع از تغییرات فضایی و زمانی کاربری اراضی

شهر مشهد و تأثیر این تغییرات در جزایر حرارتی شهری (UHI) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست ارائه شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: مطالعه حاضر در شهر مشهد، کلانشهر مهم ایران با آب و هوای سرد و خشک با میانگین دمای سالانه ۱۳/۷ درجه سانتیگراد و میانگین بارش ۱۲۵ میلی‌متر انجام شده است. شهر مشهد مرکز استان خراسان رضوی، در شمال شرقی ایران قرار دارد (شکل ۱). این شهر در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی و در حوضه آبریز کشف‌رود، بین رشته کوه‌های بینالود و هزار مسجد واقع شده است. بیشینه و کمینه ارتفاع شهر مشهد به ترتیب ۲۲۱ و ۳۲۲۵ متر از سطح دریا است (GholamaliFard *et al.*, 2016). شهر مشهد به‌عنوان اولین کلانشهر مذهبی ایران از جایگاه ویژه به لحاظ وسعت، جمعیت و اهمیت در مقیاس جغرافیایی و اداری برخوردار است. این شهر دارای سیزده منطقه شهرداری است. مهم‌ترین رشته کوهی که با جهت شمال غربی-جنوب شرقی این ناحیه را در برمی‌گیرد، اژدرکوه با ارتفاع تقریبی ۳۰۰۰ متر است.

داده‌های استفاده شده: در این مطالعه، از تصاویر سنجنده TM ماهواره Landsat 5 و سنجنده‌های OLI و TIRS ماهواره Landsat 8 در ماه آگوست استفاده شد (جدول ۱). این تصاویر بدون ابر و زمین مرجع شده و دارای سیستم مختصات UTM در ناحیه N40 بودند و از سایت USGS سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده دانلود شدند. پیش‌پردازش تصاویر با استفاده از نرم‌افزار ENVI انجام شد. از طرفی تحلیل و پردازش تصاویر با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS انجام شد.

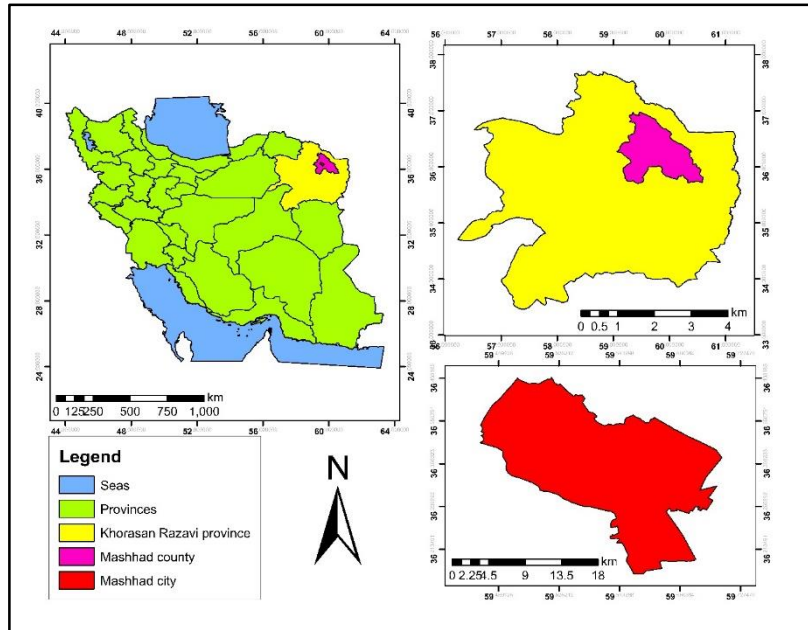
روش کار: در این پژوهش تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری

اراضی و اثرات آن‌ها بر جزایر حرارتی شهری در سه مرحله انجام گرفت:

- ۱- طبقه‌بندی کاربری اراضی و ارزیابی آن و بررسی تغییرات کاربری اراضی در کلاس‌های مختلف.
- ۲- تعیین LST و مطالعه رابطه بین LST و کاربری اراضی.
- ۳- تعیین NDVI و تجزیه و تحلیل همبستگی بین LST و NDVI.

طبقه‌بندی کاربری اراضی: با توجه به اهمیت اثرات رادیومتریکی و جوی بر نتایج نهایی تغییرات کاربری اراضی و محاسبه دمای سطح زمین، تمام تصاویر با روش Dark-object subtraction تصحیح شدند. انواع طبقه‌های کاربری اراضی موجود در محدوده مورد مطالعه با توجه به تجربه اولیه و تصاویر گوگل ارث (Google Earth) مشخص شدند. این طبقه‌ها شامل مناطق ساخته شده شهری، اراضی کشاورزی-باغ، فضای سبز شهری و سایر مناطق هستند. برای طبقه‌بندی تصاویر از روش شبکه عصبی در بستر نرم‌افزار ENVI استفاده شد. برای آموزش شبکه، نمونه‌های آموزشی از طریق لایه‌های ورودی وارد شبکه شده و بعد از تأییدپذیری از وزن‌های ارتباط دهنده نرون‌ها، وارد لایه میانی می‌شوند. در هر نرون از لایه میانی یک تابع فعالیت، روی ورودی‌ها اعمال شده و مقادیر محاسبه شده به لایه خروجی فرستاده می‌شود. در این مرحله، خروج شبکه با مقدار مطلوبی که از شبکه انتظار می‌رود مقایسه شده و مقدار خطای موجود از روش‌های مختلف با تغییر در وزن‌های ارتباط‌دهنده نرون‌ها در شبکه تعدیل می‌شود. معمولاً برای این کار از الگوریتم‌هایی مثل پس انتشار خطا استفاده می‌شود. این الگوریتم، با استفاده از گرادینان تابع هزینه، وزن‌های شبکه را برای کاهش میزان خطای شبکه تعدیل می‌کند. این کار تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که مقدار خطای شبکه به ازای تمامی نمونه‌های آموزشی به یک مقدار حداقل که از قبل تعیین شده، برسد.

¹Back Propagation of Error



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- تاریخ و زمان تصاویر لندست، نوع سنجنده.

ماهواره لندست و سنجنده آن	ردیف و گذر	تاریخ تصویربرداری تصاویر
Landsat-5 TM	۳۵، ۱۵۹	۱۹۸۸/۰۸/۰۷
Landsat-5 TM	۳۵، ۱۵۹	۱۹۹۸/۰۸/۱۹
Landsat-5 TM	۳۵، ۱۵۹	۲۰۰۸/۰۸/۱۳
Landsat-8 OLI, TIRS	۳۵، ۱۵۹	۲۰۱۸/۰۸/۱۰

شده‌اند به تعداد کل پیکسل‌های آزمایشی محاسبه می‌شوند. از ضریب کاپا نیز برای تعیین درستی تصاویر طبقه‌بندی شده در مقایسه با واقعیت زمینی استفاده می‌شود. مقادیر ضریب کاپا بین صفر تا یک است که یک نشان‌دهنده توافق کامل و صفر نشان‌دهنده تصادفی بودن کامل تصاویر طبقه بندی شده با واقعیت زمینی است (Bogoliubova and Tymków, 2014). تصاویر طبقه‌بندی شده برای سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۹۸، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ مورد مقایسه قرار خواهند گرفت.

ضریب کاپا مطابق معادله ۱ محاسبه می‌شود:

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^m D_{ij} - \sum_{i=1}^m R_i C_j}{N^2 - \sum_{i=1}^m R_i C_j}$$

در این معادله K معادل ضریب کاپا، N معادل تعداد کل

بنابراین شبکه عصبی براساس نمونه‌های آموزشی و خروجی‌های مطلوب پیکربندی می‌شود. پس از اتمام طبقه بندی تصاویر، دقت طبقه‌بندی‌ها با استفاده از نقاط کنترلی جمع‌آوری شده از گوگل ارث، ارزیابی شدند. ارزیابی صحت طبقه‌بندی، با استفاده از ماتریس (ماتریس خطا) و توجه به صحت کاربر، صحت تولیدکننده، صحت کلی و ضریب کاپا انجام شد. صحت کاربر با تقسیم تعداد پیکسل‌هایی که در آن کلاس درست طبقه‌بندی شده‌اند به تعداد کل پیکسل‌هایی که در آن کلاس طبقه‌بندی شده‌اند، محاسبه می‌شود. صحت تولیدکننده برای هر کلاس از تقسیم تعداد پیکسل‌هایی که صحیح طبقه‌بندی شده‌اند برای آن کلاس به تعداد کل پیکسل‌هایی که به صورت آزمایشی برای آن کلاس در نظر گرفته شده‌اند، محاسبه می‌شود. صحت کلی نیز از تقسیم تعداد کل پیکسل‌هایی که درست طبقه‌بندی

پیکسل‌ها، M معادل تعداد کلاس‌ها، $\sum D_{ij}$ کل عناصر مورب ماتریس خطا (عناصر مورب در ماتریس تعداد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده در هر کلاس را نشان می‌دهند)، R_i تعداد کل پیکسل‌ها در ردیف i ، (ردیف‌ها برابر با کلاس‌ها در نقشه واقعیت زمینی هستند) و یا مجموعه پیکسل‌های آزمایشی و C_j تعداد کل پیکسل‌ها در ستون j (ستون‌ها برابر هستند با کلاس‌ها در نقشه طبقه‌بندی نهایی) هستند. در نهایت پس از ارزیابی صحت طبقه‌بندی و تأیید معنی‌دار بودن خطاها، مساحت مربوط به کاربری‌ها در تمام سال‌ها استخراج گردید. برای بررسی دقیق تغییرات، از تقاطع تصاویر (Crosstabulation) استفاده شد. در این روش علاوه بر مشخص شدن تعداد پیکسل‌هایی که بین دو تصویر تغییر یافته، ماهیت تغییرات اراضی را هم می‌توان مشخص نمود.

محاسبه دمای سطح زمین (LST): دمای سطح زمین در لندست‌های ۵ و ۷ با استفاده از باند ۶ (مادون قرمز حرارتی)، و برای لندست ۸ با استفاده از باند ۱۰ و ۱۱ محاسبه می‌شود. برای این کار درجه حرارت سطح، طبق مراحل زیر به دست آمد:

نخست طیف تابشی سطح اتمسفر (TOA) براساس اعداد دیجیتالی تصویر محاسبه گردید، با این توجه که محاسبه TOA برای لندست ۸ طبق معادله (۲) است:

$$L_{\lambda} = ML \times QCAL + AL$$

که در آن:

L_{λ} : TOA تابش طیفی ($W / (m^2 \cdot s \cdot r \cdot \mu m)$)

ML: عامل مقیاس‌گذاری چند برابرکننده طیفی برای باند

AL: عامل مقیاس‌گذاری افزایشی درخشندگی برای باند

QCAL: مقادیر کمی پیکسل‌های کالیبره شده در DN

در مرحله بعد مقادیر تابش طیفی TOA (L_{λ}) به متغیر دیگری به نام دمای روشنایی At-Satellite (TB) براساس معادله ۳ تبدیل می‌شوند.

$$TB = K2 / (\ln(K1 / L_{\lambda} + 1))$$

که در آن:

TB: درجه حرارت روشنایی ماهواره‌ای (At-Satellite) در

مقیاس کلونین (K):

$K1$ و $K2$: ثابت تبدیل حرارتی برای باند. در نهایت، دمای روشنایی TOA به مقادیر دمای سطحی (LST) با استفاده از فرمول (Artis and Carnahan, 1982) در معادله (۴) تبدیل خواهد شد.

$$LST = TB / [1 + (\lambda \times TB / \alpha) \times \ln \varepsilon]$$

که در آن:

LST: درجه حرارت سطح زمین بر حسب کلونین (K)

λ : طول موج تابش ساطع شده

α : hc/k (1.438×10^{-2})

h: ثابت پلانک: (6.626×10^{-34}) و C برابر است با

سرعت نور: $(3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})$

K: ثابت بولتزمن: $(1.38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1})$

ε : انتشارات سطح طبق معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$\varepsilon = 0.004 \times Pv + 0.986$$

در این معادله Pv نسبت پوشش گیاهی محاسبه شده طبق

معادله زیر است:

$$Pv = [(NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI - NDVI_{max})]^2$$

برای به دست آوردن مقادیر دمای سطح زمین برحسب سانتی‌گراد نیاز است که عدد $273/15$ از مقادیر اولیه که بر

حسب کلونین هستند، کم شود. آنالیز مستقیم LST برای

یک دوره از سال‌های متمادی به دلیل تنوع فصلی مناسب

نیست. بنابراین، باید مقادیر LST به دست آمده نرمال شود

که این کار به کمک فرمول زیر انجام می‌شود:

$$NLST = (LST_i - LST_{min}) / (LST_{max} - LST_{min})$$

که در آن LST حداقل و حداکثر مقدار، LST_{min} و

LST_{max} مقادیر اولیه درجه حرارت سطح زمین و LST_i

، LST نرمال شده NLST می‌باشند.

محاسبه شاخص پوشش گیاهی (NDVI): شاخص

NDVI نسبت به تغییر در مقدار زیست‌توده، مقدار کلروفیل

و تنش در مقدار آب تاج پوشش واکنش نشان می‌دهد. این

شاخص اساساً بر پایه رفتارهای مختلف نمایش داده شده

به وسیله اختلاف در طول موج‌های الکترومغناطیس

گسیل شده از گیاهان می‌باشد. این شاخص از رابطه ۱ به دست

می‌آید که در آن NIR باند مادون قرمز نزدیک و RED باند قرمز ماهواره لندست است. مقادیر NDVI بین -۱ تا +۱ است، جایی که مقادیر نزدیک به -۱ هستند، نشان‌دهنده کمبود یا فقدان پوشش گیاهی است و مقادیر نزدیک +۱ پوشش گیاهی متراکم را نشان می‌دهد. شاخص NDVI طبق معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}$$

محاسبه رابطه بین دمای سطح زمین (LST) و شاخص پوشش گیاهی (NDVI): رابطه بین LST و NDVI با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون محاسبه می‌شود. ضریب همبستگی طبق معادله زیر برای هر طبقه پوشش اراضی، محاسبه می‌شود:

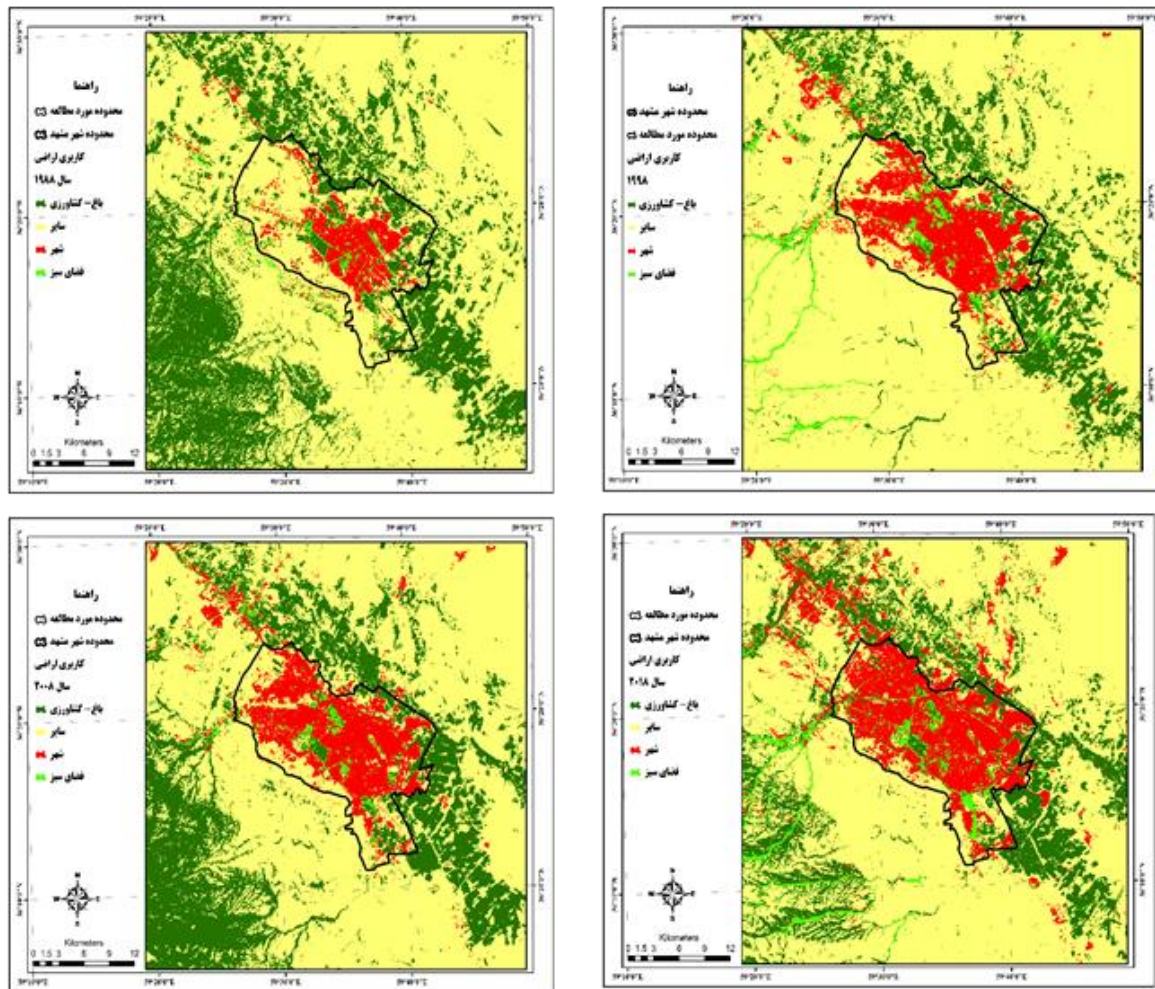
$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X)(y_i - Y)}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n (x_i - X))^2 (\sum_{i=1}^n (y_i - Y))^2}}$$

ضریب همبستگی (r) دارای مقادیری بین -۱ تا +۱ است. منفی و مثبت بودن به معنی ارتباط منفی و مثبت هستند و صفر به معنی عدم ارتباط است. X و Y مقادیر میانگین متغیرهای X و Y هستند. xi و yi مقادیر متغیرهای i=1,....., n هستند.

نتایج و بحث

طبقه‌بندی کاربری اراضی و تغییرات: نتایج طبقه‌بندی نظارت شده در شکل ۲ ارائه شده است. طبقات پوشش زمین شامل چهار کاربری مناطق شهری، کشاورزی-باغ و فضای سبز شهری و سایر (سایت‌های در حال ساخت و ساز، مناطق آبی و زمین‌های بایر) هستند. مساحت طبقات حاصل از طبقه‌بندی به صورت کیلومتر مربع و درصد در جدول ۳ گزارش شده است. برای تأیید صحت طبقه‌بندی تصویر، ارزیابی صحت انجام و ضریب کاپا تعیین خواهد شد. مقادیر ارزیابی صحت (برای هر کلاس طبقه‌بندی شده) و ضریب کاپا در جدول ۲ نشان داده شده است. مقادیر صحت کلی نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی عبارتند از: ۸۷/۲۹٪ برای سال ۱۹۸۸،

۸۷/۰۸٪ برای سال ۱۹۹۸، ۸۸/۰۲٪ برای ۲۰۰۸ و ۸۷/۵۱٪ برای ۲۰۱۸. مقادیر شاخص‌های کاپا برای نقشه‌های ۱۹۸۸، ۱۹۹۸، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ عبارتند از: ۷۸، ۷۹، ۸۱ و ۸۰ درصد. برای تمام سال‌هایی که مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند، این داده‌ها دارای صحت خوبی هستند (بیش از ۸۰) و بنابراین برای تشخیص گسترش شهری مناسب هستند (Lucas et al., 1994; Gholamali Fard et al., 2016; Dadashpour et al., 2016). جدول ۳ ارزیابی کلی پوشش زمین از سال ۱۹۸۸ تا سال ۲۰۱۸ را نشان می‌دهد. در سال‌های ۱۹۸۸ و ۱۹۹۸ طبقه فضای سبز شهری، به ترتیب تقریباً ۱/۲۸ و ۲/۵۵ درصد از مساحت را به خود اختصاص داده و سپس در سال ۲۰۰۸ فضای سبز شهری به ۱/۷۵ رسیده و در نهایت در سال ۲۰۱۸، میزان ۳/۳۹ درصد از مساحت را به خود اختصاص داده است. این افزایش نرخ رشد در فضای سبز شهری از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸ به دلیل آگاهی مردم از تأثیر مثبت فضای سبز شهری در تعدیل آب و هوای شهرها است. کاربری کشاورزی-باغ از ۲۶/۶۹ درصد در سال ۱۹۸۸ به ۱۳/۴۰ درصد در سال ۱۹۹۸ رسیده است. کاربری کشاورزی-باغ در سال ۲۰۰۸، به ۲۱/۸۸ درصد رسیده است، چرا که مردم بعد از سال ۱۹۹۸ مجدداً به زمین‌های کشاورزی وابسته بودند. این مساحت در سال ۲۰۱۸ به ۱۷/۳۱ درصد رسیده است که نشان می‌دهد مساحت اراضی کشاورزی اطراف مشهد تبدیل به مناطق حومه شهری می‌شوند. این کاهش کاربری کشاورزی-باغ به دلیل فروش آن‌ها و ساخت و ساز ساختمان‌های جدید صورت گرفته است. مناطق ساخته شده در سال‌های ۱۹۸۸ و ۱۹۹۸، تقریباً ۵/۲۳ و ۷/۷۲ درصد از مساحت را به خود اختصاص داده است که یک رشد ۲/۱۹ درصدی بین سال‌های ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۸ را نشان می‌دهد. در صورتی که مناطق ساخته شده در سال ۲۰۰۸ این مقدار به ۱۲/۷۳ رسیده و در نهایت در سال ۲۰۱۸، ۱۷/۴۲ درصد از مساحت را به خود اختصاص داده است. مناطق بایر در طبقه سایر از ۶۶/۸ درصد در سال ۱۹۸۸ به ۷۶/۳۳ درصد در سال



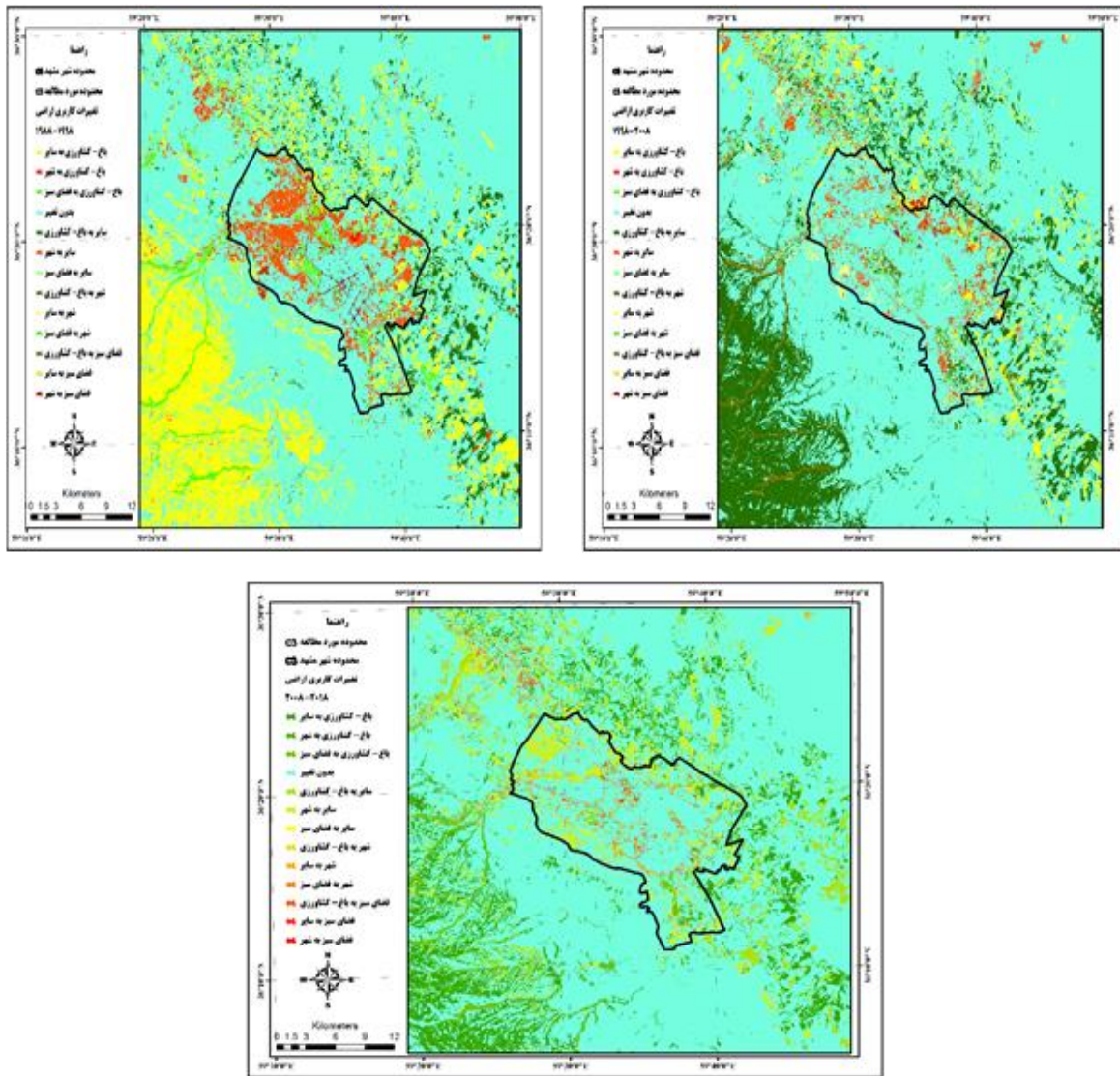
شکل ۲- نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۹۸، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸.

می‌دهد که مقادیر درجه حرارت بالا است. برای هر طبقه پوشش اراضی، دمای سطح زمین (LST)، حداقل (MIN)، حداکثر (MAX)، میانگین (MEAN) و انحراف استاندارد (STDEV) محاسبه شدند. این مقادیر مطابق با هرسناریوی تحلیل شده در جدول ۵ ارائه شده است. کمترین مقدار انحراف معیار مربوط به کاربری سایر (۱/۸) و کاربری شهری (۱/۵۵) است. بالاترین مقدار انحراف معیار برای طبقه کشاورزی-باغ (۳/۵۶) به دست آمد. کوچکترین مقادیر در طبقه فضای سبز (۲/۸۶)، شهری (۱/۵۵)، کشاورزی-باغ (۲/۹۷) و طبقه سایر (۱/۸) دیده شد، در حالی که بالاترین ارزش‌ها در طبقه فضای سبز (۳/۴)، شهری (۲/۶۱)، کشاورزی-باغ (۳/۵۶) و طبقه سایر (۲)، به دست آمد. رابطه بین دمای سطح و چهار طبقه پوشش اراضی در شکل ۵ نشان داده شده است.

۱۹۹۸ رسیده است، چرا که مردم بعد از سال ۱۹۸۸ برای ساخت و ساز از زمین‌های بایر استفاده کرده‌اند. پس از سال ۱۹۹۸ مناطق بایر کاهش یافته و به ۶۳/۶۳ درصد در سال ۲۰۰۸ و ۶۱/۸۷ درصد در سال ۲۰۱۸ رسیده است (شکل ۳). جدول ۴ تغییرات کاربری اراضی بر اساس الگوریتم شبکه عصبی را نشان می‌دهد.

تأثیر تغییرات کاربری اراضی و شهرنشینی روی دمای سطح زمین:

رابطه بین انواع کاربری‌ها و دمای سطح زمین: به منظور تعیین رابطه بین انواع طبقات پوشش اراضی و دمای سطح زمین، ابتدا لازم است تا درجه حرارت در هر طبقه از اراضی مورد مطالعه قرار گیرد و سپس نقشه‌های تغییر سطح پوشش اراضی با نقشه دمای سطح زمین روی هم‌گذاری شوند. توزیع مکانی دمای سطح زمین در شکل ۴ مناطقی را نشان



شکل ۳- نقشه تغییرات کاربری اراضی در دوره ۱۹۸۸-۲۰۱۸.

جدول ۲- مقادیر دقت تولید کننده، کاربر، ضریب کاپا و دقت کلی طبقه بندی شبکه عصبی.

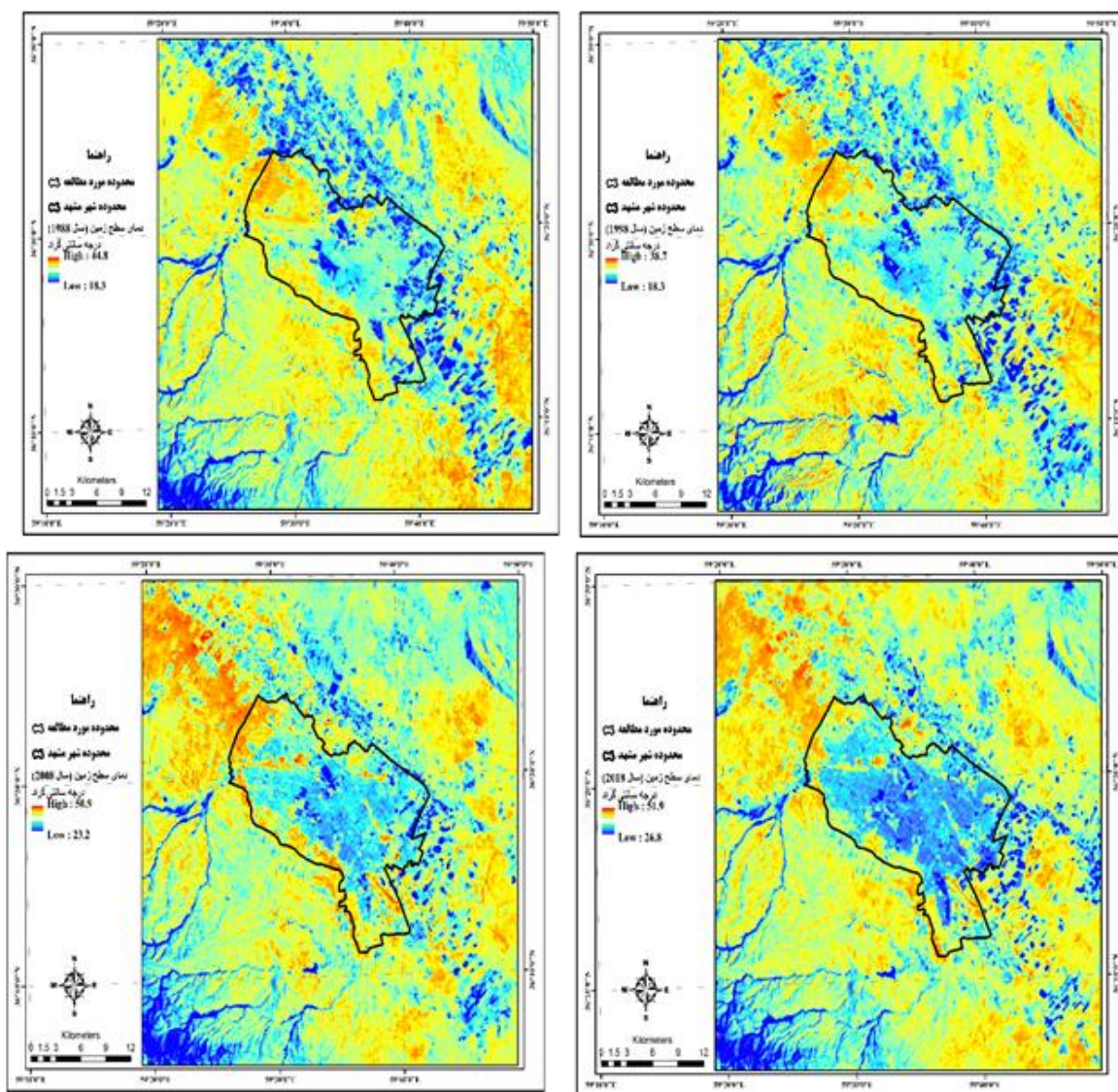
سال کاربری اراضی	۱۹۸۸		۱۹۹۸		۲۰۰۸		۲۰۱۸	
	دقت کاربر	دقت تولید کننده	دقت کاربر	دقت تولید کننده	دقت کاربر	دقت تولید کننده	دقت کاربر	دقت تولید کننده
مناطق مسکونی	۸۹/۱۲	۶۹/۱۰	۷۳/۸۵	۸۸/۴۸	۹۳/۰۵	۸۱/۵۹	۹۰/۳۶	۸۸/۹۹
فضای سبز شهری	۶۸/۷۲	۲۶/۲۱	۵۰/۱۶	۷۲/۸۵	۶۹/۸۶	۵۰/۹۸	۶۳/۵۷	۶۶/۷۳
سایر	۸۸/۶۹	۹۷/۲۴	۹۵/۷۸	۹۱/۷۹	۸۷/۳۸	۹۷/۷۵	۹۳/۲۲	۹۳/۴۴
باغ - کشاورزی	۸۵/۶۰	۸۶/۴۳	۹۱/۴۲	۸۱/۱۰	۸۹/۶۳	۸۵/۹۹	۸۲/۰۵	۸۱/۲۴
ضریب کاپا	۰/۷۸		۰/۷۹		۰/۸۱		۰/۸۰	
صحت کلی	۸۷/۲۹		۸۷/۰۸		۸۸/۰۲		۸۷/۵۱	

جدول ۳- مساحت کاربری‌ها.

سال	۱۹۸۸	۱۹۹۸	۲۰۰۸	۲۰۱۸	جمع کل
کاربری اراضی	مساحت (km ²) %	مساحت (km ²) %	مساحت (km ²) %	مساحت (km ²) %	مساحت (km ²) %
باغ - کشاورزی	۳۷۰/۰۱	۲۶/۶۹	۲۷۱/۸۶	۱۳/۴۰	۳۰۳/۳۵
سایر	۹۲۵/۹۹	۶۶/۸۰	۱۵۴/۸۱	۷۶/۳۳	۸۸۲/۱۰
شهری	۷۲/۴۸	۵/۲۳	۱۵۶/۶۷	۷/۷۲	۱۷۶/۵۰
فضای سبز	۱۷/۷۳	۱/۲۸	۵۱/۶۷	۲/۵۵	۲۴/۲۶

جدول ۴- بررسی تغییرات کاربری اراضی با الگوریتم شبکه عصبی.

تغییرات کاربری اراضی	۱۹۸۸-۱۹۹۸	۱۹۹۸-۲۰۰۸	۲۰۰۸-۲۰۱۸
	Km ² %	Km ² %	Km ² %
باغ - کشاورزی به سایر	۳۸۷/۲۶	۱۹/۰۹	۸۰/۶۰
باغ - کشاورزی به شهر	۸/۵۸	۰/۴۲	۴/۱۶
باغ - کشاورزی به فضای سبز	۳۸/۲۸	۱/۸۹	۴/۳۹
بدون تغییر	۱۴۰۳/۳۶	۶۹/۱۶	۱۵۰۵/۴۴
سایر به باغ - کشاورزی	۹۰/۷۵	۴/۴۷	۳۲۵/۴۶
سایر به شهر	۷۵/۰۷	۳/۷۰	۴۰/۸۱
سایر به فضای سبز	۶/۰۹	۰/۳۰	۴/۵۰
شهر به سایر	۴/۸۳	۰/۲۴	۱۶/۶۹
شهری به باغ - کشاورزی	۰/۱۲	۰/۰۱	۲/۰۷
شهری به فضای سبز	۱/۵۸	۰/۰۸	۵/۱۵
فضای سبز به باغ - کشاورزی	۰/۳۰	۰/۰۱	۳۰/۰۲
فضای سبز به سایر	۶/۲۴	۰/۳۱	۴/۸۰
فضای سبز به شهر	۶/۵۷	۰/۳۲	۴/۹۵



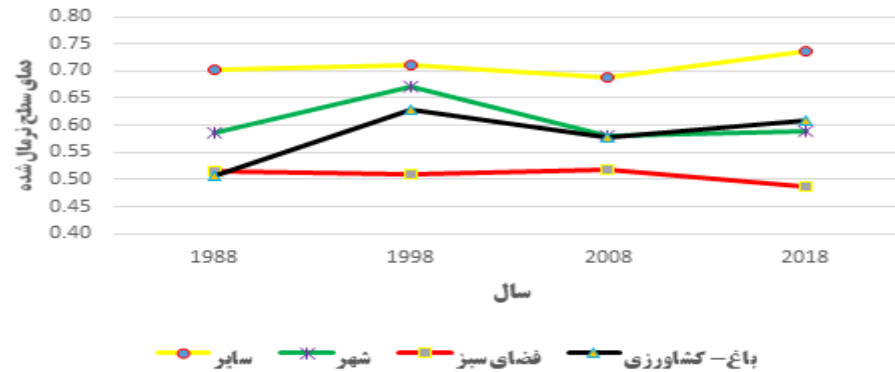
شکل ۴- نقشه دمای سطح زمین شهر مشهد در دوره ۱۹۸۸-۲۰۱۸.

برای هر سال ضریب همبستگی برای هر طبقه از کاربری اراضی محاسبه شد. مقادیر ضریب همبستگی پیرسون در شکل ۷، یک همبستگی منفی بین دمای سطح زمین با مقادیر NDVI برای بعضی انواع کاربری اراضی در تمام سالها را نشان می‌دهد. برای فضای سبز شهری ضریب همبستگی با دمای سطح زمین مثبت به دست آمد (بین ۰/۰۹۴ در سال ۱۹۹۸ و ۰/۲۱۸۵ در سال ۲۰۱۸). بیشترین همبستگی منفی برای طبقه سایر (۰/۰۳۱) در سال ۲۰۰۸ به دست آمد. کمترین همبستگی منفی برای طبقه مناطق ساخته شده یا شهری (۰/۰۲۴) در سال ۲۰۰۸ به دست آمد.

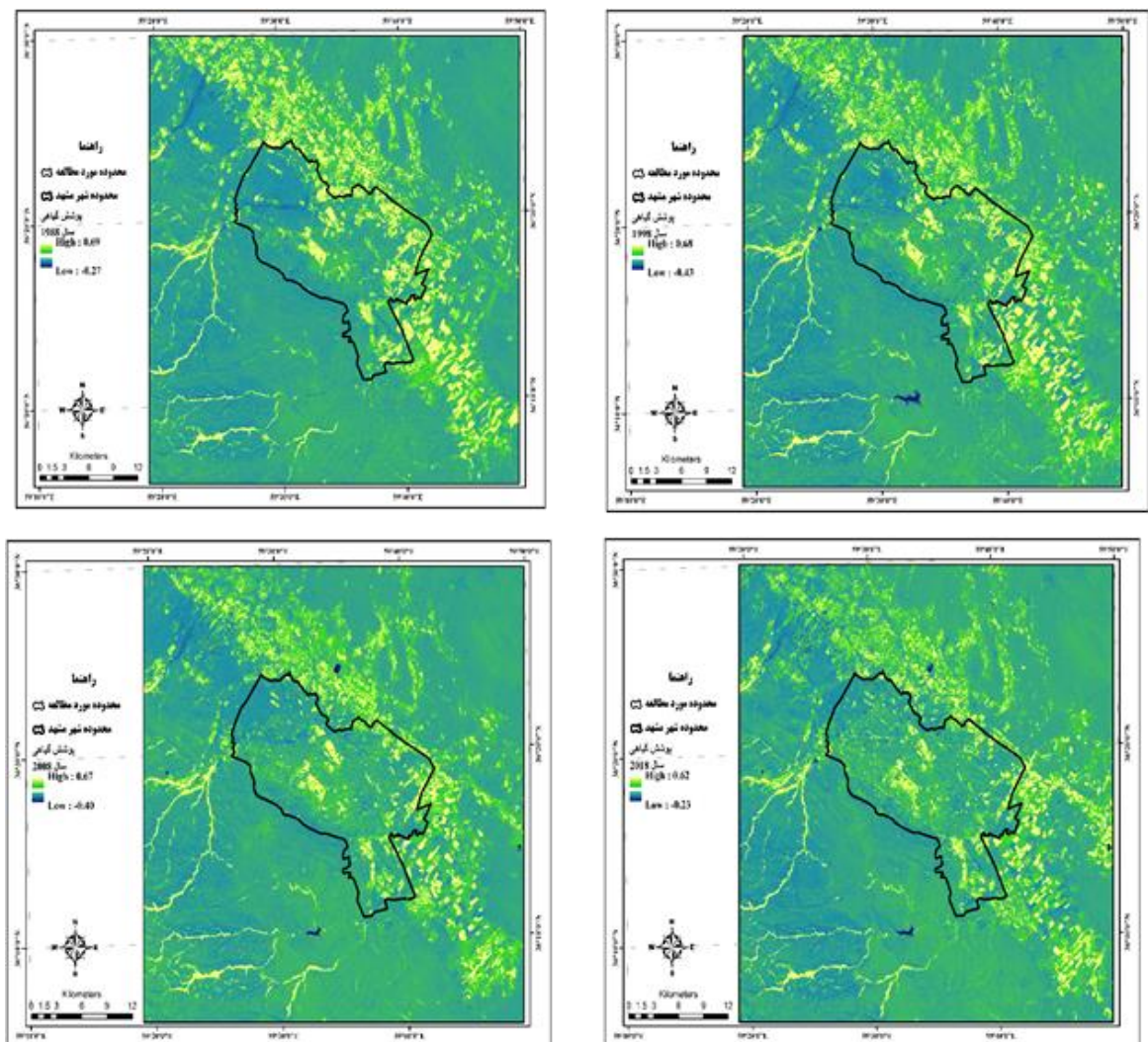
بر اساس نتایج، تغییر طبقات در طی زمان در مشاهده می‌شود. رشد صعودی دمای سطح زمین نشان‌دهنده گسترش اثرات جزایر حرارتی و تقویت گرمای شهری به دلیل تغییر پوشش اراضی و افزایش مناطق ساخته شده است. این پدیده از سال ۱۹۹۸ (شکل ۵) از زمان تبدیل زمین‌های کشاورزی به زمین‌های ساخته شده افزایش یافت. از همپوشانی نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی با نقشه دمای سطح زمین مشخص گردید که تبدیل کاربری هابه مناطق ساخته شده باعث بیشترین رشد حرارت شده است. رابطه بین NDVI و LST: رابطه بین دمای سطح زمین و NDVI (شکل ۶ و ۴) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

جدول ۵- درجه حرارت سطح زمین، در طبقات مختلف LULC، حداقل مقادیر (MIN)، حداکثر (MAX)، میانگین (MEAN) و انحراف استاندارد (STDEV) الگوریتم شبکه عصبی.

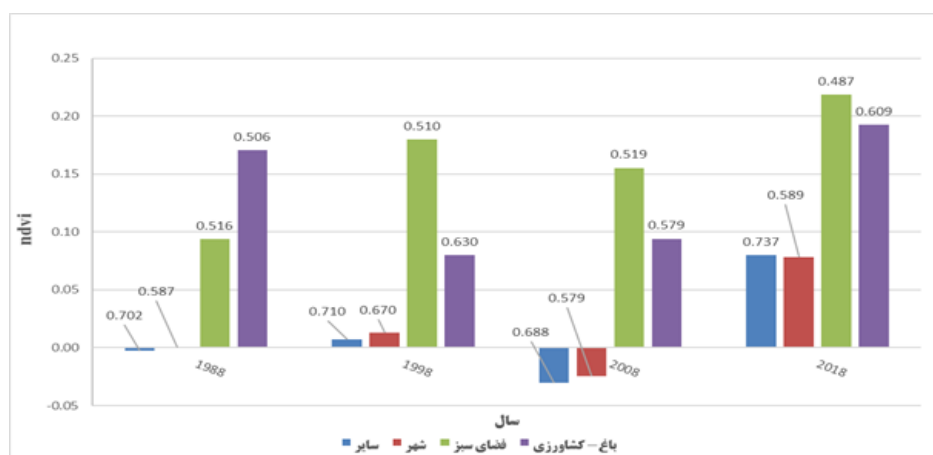
سال	۱۹۸۸				۱۹۹۸				۲۰۰۸				۲۰۱۸			
	MIN	MAX	MEAN	STD	MIN	MAX	MEAN	STD	MIN	MAX	MEAN	STD	MIN	MAX	MEAN	STD
کاربری اراضی	پارامترهای آماری (دما)															
باغ - کشاورزی	۳۳/۵۳	۴۳/۳۴	۲۱/۹۴	۲/۹۷	۳۱/۴۰	۳۸/۳۹	۱۹/۲۸	۳/۰۰	۳۹/۳۲	۴۷/۷۶	۲۳/۲۵	۳/۲۶	۴۲/۰۹	۴۹/۸۹	۲۹/۱۷	۳/۵۶
سایر	۳۸/۰۱	۴۴/۸۳	۲۵/۸۳	۲/۰۰	۳۳/۰۳	۳۸/۷۸	۱۸/۸۳	۱/۸۰	۴۲/۳۵	۵۱/۰۰	۲۴/۹۷	۱/۸۰	۴۵/۲۹	۵۱/۶۳	۳۰/۶۰	۱/۹۵
شهری	۳۵/۳۸	۴۲/۲۱	۲۴/۵۵	۱/۸۷	۳۲/۰۶	۳۸/۷۸	۲۰/۱۸	۱/۹۲	۳۹/۳۲	۵۰/۲۹	۲۶/۶۷	۲/۶۱	۴۱/۵۸	۵۱/۹۰	۲۹/۴۹	۱/۵۵
فضای سبز	۳۳/۷۶	۴۳/۳۴	۲۴/۱۱	۳/۴۰	۲۸/۸۱	۳۸/۳۹	۱۸/۳۸	۲/۸۶	۳۷/۶۶	۴۶/۳۰	۲۴/۹۷	۳/۰۶	۳۹/۰۱	۴۸/۵۱	۲۶/۸۰	۳/۱۳



شکل ۵- رابطه بین دمای سطح زمین نرمال شده (۱-+) با انواع طبقات کاربری اراضی در دوره ۲۰۱۸-۱۹۸۸.



شکل ۶- طبقات شاخص پوشش گیاهی (NDVI) دوره ۲۰۱۸-۱۹۸۸ (طبقات سال ۱۹۸۸ (بالا سمت چپ)، ۱۹۹۸ (بالا سمت راست)، ۲۰۰۸ (پایین سمت راست) و ۲۰۱۶ (پایین سمت چپ)).



شکل ۷- رابطه بین دمای سطح زمین (LST) و شاخص پوشش گیاهی (NDVI)، که عملکرد ضرایب همبستگی پیرسون بررسی شده است.

جدول ۶- تغییرات پوشش گیاهی براساس کاربری اراضی الگوریتم شبکه عصبی.

سال	۱۹۸۸	۱۹۹۸	۲۰۰۸	۲۰۱۸												
پارامترهای آماری (NDVI)																
کاربری اراضی	MIN	MAX	MEAN	STD	MIN	MAX	MEAN	STD	MIN	MAX	MEAN	STD	MIN	MAX	MEAN	STD
باغ - کشاورزی	-۰/۲۷۸۷	۰/۶۹۵۱	۰/۱۷۰۷	-۰/۱۶۲۲	-۰/۶۸۳	۰/۱۹۳	-۰/۱۴۶	-۰/۱۱۴	-۰/۶۷۱	۰/۰۹۴	-۰/۱۲۹	-۰/۴۰۸	-۰/۱۱۳۸	۰/۱۹۲۴	۰/۶۲۲۳	-۰/۲۲۵۷
سایر	-۰/۱۹۰۵	۰/۶۰۲۳	-	-۰/۰۳۹۶	-۰/۵۱۹	۰/۰۰۴	-۰/۰۴۲	-۰/۳۷۱	-۰/۴۹۳	۰/۰۳۱	-۰/۰۲۷	-۰/۳۳۳	۰/۰۲۶۹	۰/۰۸۰۱	۰/۵۲۶۵	-۰/۱۰۵۷
شهری	-۰/۱۶۲۸	۰/۴۶۱۱	۰/۰۰۰۱	-۰/۰۴۸۵	-۰/۴۴۱	۰/۰۱۰	-۰/۰۴۸	-۰/۲۷۳	-۰/۴۲۰	۰/۰۲۴	-۰/۰۴۰	-۰/۱۷۵	۰/۰۳۶۹	۰/۰۷۸۳	۰/۵۱۱۵	-۰/۰۵۸۹
فضای سبز	-۰/۱۷۸۱	-۰/۵۵۷۴	۰/۰۰۹۴	-۰/۱۴۵۳	-۰/۶۰۵	۰/۲۶۰	-۰/۱۴۸	-۰/۱۶۵	-۰/۵۷۶	۰/۱۵۵	-۰/۱۲۷	-۰/۳۰۹	۰/۱۱۱۴	۰/۲۱۸۵	۰/۵۶۸۴	-۰/۱۳۲۳

وجود علایمی از تغییرات دما در هر طبقه کاربری اراضی در منطقه حاکی از این است که هر یک از آن‌ها در حفظ و گسترش پدیده جزایر حرارتی شهری چه سهمی داشته‌اند. افزایش در مقادیر دمای سطح زمین نشان‌دهنده گسترش مناطق تحت تأثیر جزایر حرارتی در شهر مشهد است. از تجزیه و تحلیل شاخص NDVI این نتیجه به دست می‌آید که پوشش گیاهی شهری در حال کاهش است. برای مناطق فضای سبز شهری ضریب همبستگی مثبت به دست آمد (بین ۰/۰۹۴ در سال ۱۹۹۸ و ۰/۲۱۸۵ در سال ۲۰۱۸)، زیرا طبقه فضای سبز شهری کمترین مقادیر را برای هر دو LST دارند. کمترین همبستگی منفی برای طبقه مناطق ساخته شده یا شهری (۰/۰۲۴ در سال ۲۰۰۸) به دست آمد.

یک رابطه منفی بین NDVI و LST برای مناطق پوشیده از پوشش گیاهی به دست آمد، زیرا LST به شدت تحت تأثیر LCLU و پوشش گیاهی است. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از داده‌های ماهواره‌ای چندزمانه و ترکیب روش‌های معمول بررسی جزایر حرارتی (بررسی تغییرات توزیع زمانی-مکانی جزایر حرارتی شهری نسبت به تغییرات گسترش شهری، رابطه جزایر حرارتی با پوشش گیاهی و کاربری و پوشش اراضی) می‌تواند دیدی همه‌جانبه از نحوه شکل‌گیری و گسترش جزایر حرارتی شهری به دست دهد. همچنین نتایج این پژوهش، برنامه‌ریزی درست برای استفاده از اراضی را برای کاهش دما در مناطق شهری را فراهم می‌کند.

رابطه بین LST و NDVI نشان می‌دهد که در مناطقی که پوشش گیاهی تراکم زیادی دارد، درجه حرارت سطح زمین پایین‌تر است؛ چرا که در آن‌ها تبخیر و تعرق افزایش می‌یابد و در نتیجه دمای سطح کاهش پیدا می‌کند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، تجزیه و تحلیل مبتنی بر داده‌های سنجش از دور برای بررسی تغییرات کاربری اراضی به روش شبکه عصبی و تأثیر آن‌ها بر دمای سطح زمین در طی دوره ۲۰۱۸-۱۹۸۸ در شهر مشهد انجام شد. طبقه‌بندی نظارت شده منطقه مورد مطالعه در ۴ طبقه شامل کاربری ساخته شده (مناطق شهری)، فضای سبز شهری، کشاورزی باغ و مناطق بایر با دقتی بیش از ۸۰٪ تهیه شد. برای دوره تحلیل شده، تغییر قابل توجهی از کاربری اراضی و همچنین یک پویایی و وابستگی متقابل برای مناطق کشاورزی-باغ و مناطق ساخته شده شهری دیده شد. این تغییرات حاکی از کاهش ۹/۳۸ درصدی مناطق کشاورزی-باغ، ۴/۹۳ درصدی برای سایر مناطق و افزایش ۱۲/۱۹ درصدی مساحت ساخته شده شهری و مناطق مسکونی و ۲/۱۱ درصدی برای فضای سبز شهری است. از کاهش سطح مناطق کشاورزی-باغ می‌توان دریافت که این مناطق تبدیل به مناطق ساخته شده شهری و مناطق مسکونی شده‌اند. همچنین در این مطالعه مشخص شد که تغییرات کاربری و پوشش اراضی به دلیل فعالیت‌های انسان ساخت منجر به تغییر در LST شده است.

References

Adams, M.P., Smith, P.L., 2014. A systematic approach to model the influence of the type and density of vegetation cover on urban heat using remote sensing. *Landscape and Urban Planning* 132, 47-54.

Bogoliubova, A., Tymków, P., 2014. Accuracy assessment of automatic image processing for land cover classification of St. Petersburg protected area. *Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terrarum* 13, 5-22.

Dadashpour, H., Jahanzad, N., 2016. Prediction of land use changes in Mashhad urban using automatic cells and artificial neural network algorithm. *Scientific Quarterly-Spatial Planning Research (Geography)* 6(1), 20.

Dai, X., Zhongyang, G., Zhang, L., Li, D., 2010. Spatiotemporal exploratory analysis of urban surface temperature field in Shanghai, China. *Stochastic Environmental Research & Risk Assessment* 24, 247-257.

Gholamali Fard, M., Fatehi, M., Bidel, H.,

- Ghafouri, B., 2016. Analysis of dependence of land use changes in Mashhad city with topographical parameters in GIS environment. *Environmental science and technology*. 19th period Number 5, 299-315.
- Grigoraş, G., Urişescu, B., 2019. Land Use/Land Cover changes dynamics and their effects on Surface Urban Heat Island in Bucharest, Romania. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 80, 115-126 .
- Grigoraş, G., Urişescu, B., 2019. Land Use/Land Cover changes dynamics and their effects on Surface Urban Heat Island in Bucharest, Romania. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 80, 115-126 .
- Iping, A., Kidston-Lattari, J., Simpson-Young, A., Duncan, E., & McManus, P. 2019. (Re) presenting urban heat islands in Australian cities: A study of media reporting and implications for urban heat and climate change debates. *Urban Climate* 27, 420-429 .
- Iping, A., Kidston-Lattari, J., Simpson-Young, A., Duncan, E., McManus, P., 2019. (Re) presenting urban heat islands in Australian cities: A study of media reporting and implications for urban heat and climate change debates. *Urban Climate* 27, 420-429.
- Jalan, S., Sharma, K., 2014 .Spatio-temporal assessment of land use/land cover dynamics and urban heat island of Jaipur city using satellite data. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 40(8), 767 .
- Jalan, S., Sharma, K., 2014. Spatio-temporal assessment of land use/land cover dynamics and urban heat island of Jaipur city using satellite data. *The International Archives of Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 40(8), 767.
- Khosravi, Y., Heidari, M.A., Tavakoli, A., Zamani, A., 2016. Analysis of the relationship between surface temperature changes And Spatial pattern of land use changes (Case study: Zanjan city). *The Journal of Spatial Planning* 21(3), ۱۴۴-۱۱۹.
- Lu, D., Song, K., Zang, S., Jia, M., Du, J., Ren, C., 2015. The effect of urban expansion on urban surface temperature in Shenyang, China: an analysis with landsat imagery. *Environmental Modelling Assessment* 20, 197-210.
- Lucas, I.F., Frans, J.M., Wel, V.D., 1994. Accuracy assessment of satellite derived landcover data: a review. *Photogramm. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 60, 410-432.
- Niazi, Y., Ekhtesasi, M, R., Malekinejad, H., Hosseini, Z., Morshedi, J., 2010. Comparison of two methods of maximum Likelihood classification and artificial neural network in land use map extraction Case study: Ilam dam basin. *Geography and Development* 20(8), 119-132. (In Persian)
- Otukei, J.R., Blaschke, T., 2010. Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 12, S27-S31 .
- Otukei, J.R., Blaschke, T., 2010. Land cover change assessment using decision trees, support vector machines and maximum likelihood classification algorithms. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 12, S27-S31.
- Wang, W ,Liu, K., Tang, R., Wang, S., 2019. Remote sensing image-based analysis of the urban heat island effect in Shenzhen, China. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 110. 168-17.