



فصلنامه علوم محیطی، دوره هفدهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸

۱۳۳-۱۵۰

آشکارسازی تغییرات زمانی - مکانی پوشش گیاهی کلان شهر تهران و اقمار در ارتباط با دمای سطحی زمین

محمود احمدی^{۱*}، زهرا علی بخشی^۱ و منوچهر فرج زاده اصل^۲

^۱ گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
^۲ گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۳۱

احمدی، م.، ز. علی بخشی و م. فرج زاده اصل. ۱۳۹۸. آشکارسازی تغییرات زمانی - مکانی پوشش گیاهی کلان شهر تهران و اقمار در ارتباط با دمای سطحی زمین. فصلنامه علوم محیطی. ۱۷(۴): ۱۵۰-۱۳۳.

سابقه و هدف: آشکارسازی تغییر، فرآیندی برای یافتن منطقه‌های متناقض در تصویرهای زمانی متفاوت از ناحیه‌ای مشابه می‌باشد. پوشش گیاهی در جذب دوده‌ها و سرب هوا، جلوگیری از پخش مواد آلاینده در محیط‌های شهری و کمک به پاک‌سازی هوا و کاهش جزایر حرارتی، بسیار موثر است. بررسی کاهش یا افزایش پوشش گیاهی در تهران بعنوان کلان‌شهر و نیز شهرستان‌های حومه آن، با توجه به رشد بی‌رویه جمعیت و ساخت‌وساز به شدت ضرورت دارد. هدف از این پژوهش بررسی روند تغییرهای زمانی - مکانی پوشش گیاهی در تهران و اقمار و رابطه آن با دما در دوره‌های زمانی مختلف می‌باشد. نتایج این تحقیق می‌تواند در مطالعات مربوط به زیست پذیری شهری، کاهش اثرهای سوء جزایر حرارتی شهری و علوم محیطی مؤثر واقع شود.

مواد و روش‌ها: ابتدا استخراج و آماده سازی داده‌های تصاویر از طریق سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ انجام و ماه ژوئن بعنوان گرم‌ترین ماه منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. سپس گزینش روزهای مورد بررسی و انجام تصحیح‌های تصاویر و تهیه نقشه‌های LULC و ترسیم نمودار درصد مساحت منطقه‌ها مورد توجه قرار گرفت. محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی و منطقه‌های ساخته شده و محاسبه دمای سطح زمین همراه با ارزیابی صحت داده‌های دمای سطح زمین از مرحله‌های دیگر روش تحقیق بود. در نهایت ترسیم نمودار درصد مساحت هر شاخص و نیز ترسیم نمودار پراکنش و تابع گوسی با بررسی دگرگونی مکانی پوشش گیاهی انجام پذیرفت.

نتایج و بحث: با توجه به نقشه کاربری زمین‌ها و پوشش زمین (LULC)، برای سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ افزایش پوشش گیاهی در سال ۲۰۱۵ نسبت به دوره‌های قبل در منطقه مورد مطالعه مشهود است. رشد منطقه‌های ساخته شده در غرب منطقه به خوبی دیده می‌شود. در نمودار درصد مساحت هر کلاس کاربری زمین‌ها و تغییر آن در ۴ سال منتخب، از سال ۲۰۰۱ درصد پوشش گیاهی روبه کاهش رفته که تا سال ۲۰۰۵ و ۲۰۱۰ ادامه داشته، و در سال ۲۰۱۵ افزایش چشمگیر یافته است. از سوی دیگر روابط بین دمای سطحی و شاخص‌های NDVI و SAVI خطی نبوده و بر اساس برازش معادلات آماری در هر وضعیت، عامل‌های دیگری در کاهش یا افزایش LST نقش دارند. در نمودار تابع چگالی نرمال، تغییرهای شاخص NDVI در دوره دوم و سوم مشابه یکدیگر بوده و در این دو دوره نسبت به دوره اول، میانگین افزایش و همچنین با توجه به کاهش واریانس، ارتفاع منحنی افزایش یافته است. در تحقیق حاضر و با بررسی تهران و اقمار، کاهش میزان LST در دوره دوم و سوم یعنی از ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵ مشاهده می‌شود. از سوی دیگر مساحت پوشش گیاهی بطور کلی در منطقه روبه افزایش است. از جنبه مکانی و مطابق بررسی‌های انجام شده، تهران بیشترین درصد کلاس یک NDVI یعنی سطح‌های بدون پوشش گیاهی را به خود اختصاص داده است.

*Corresponding Author: Email Address: ma_ahmadi@sbu.ac.ir

نتیجه‌گیری: با توجه به بررسی شاخص‌های NDVI، SAVI و NDBI، روند کلی مساحت پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه در حال افزایش است. با در نظر گرفتن مقادیر R^2 ، پوشش گیاهی در شهرستان ری در حال نابودی می‌باشد. در شهرستان‌های رباط کریم و تهران سطح‌های پوشش گیاهی در حال افزایش است. رشد افسارگسیخته شهرک‌های اقماری در حومه تهران موجب تخصیص زمین‌های بایر و مزرعه‌ها و پوشش گیاهی به ناحیه‌های ساختمانی و مسکونی شده است که این امر جزایر حرارتی و شرایط نامساعد زندگی را تشدید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: پوشش گیاهی، دگرگونی زمانی-مکانی، تهران، دمای سطحی زمین.

مقدمه

تاریخی، آشکارسازی تغییر با استفاده از داده‌های لندست بنابر مبنای مقایسه تصاویر در دو زمان متفاوت و به صورت رویکرد دوسویه می‌باشد (Singh, 1989). این تصاویر در ماهواره‌های سری لندست، توسط سنجنده‌های اسکتر چند طیفی (MSS)، نقشه‌بردار موضوعی (TM) و نقشه‌بردار موضوعی پیشرفته (ETM+) داده‌های تصویرهای ماهواره‌ای را فراهم می‌کند که در تشخیص تغییرهای کاربری و پوشش زمین‌ها نقش بسزایی دارد (Defries and Belward, 2000). چارچوب کلی آشکارسازی تغییر در سنجش از دور شامل استخراج عارضه و تصمیم‌گیری می‌باشد (Yu et al. 2018). شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی^۱ (NDVI) برای تخمین بهره‌وری در نواحی نیمه‌خشک (Chen et al. 2004؛ Weng et al. 2004) و بعنوان پارامتر نمایشگر جزایر حرارتی شهری سطحی^۲ (SUHI) (Alavipanah et al., 2016) بکار می‌رود. افزون بر این پوشش گیاهی از طریق ایجاد توازن بوسیله تبخیر و تعرق و تولید سایه اثر خنک‌کنندگی دارد (Shakiba et al., 2009). در کلان‌شهر تهران همبستگی میان دمای سطحی زمین^۳ (LST) و NDVI منفی می‌باشد (Alavipanah et al., 2016؛ Bokaie et al., 2016؛ Tayyebi et al., 2018؛ Amanollahi et al., 2012). هرچه متوسط دمای سطحی تهران افزایش یابد شاخص NDVI در کاهش دمای سطحی عامل قویتری می‌شود (Tayyebi et al. 2018). با توجه به اثر پوشش گیاهی در جذب دوده‌ها و سرب هوا، جلوگیری از پخش مواد آلاینده در محیط‌های شهری و کمک به پاک‌سازی هوا و کاهش جزایر حرارتی، ضرورت بررسی کاهش یا افزایش پوشش گیاهی در تهران (بعنوان بزرگ‌ترین شهر و پایتخت ایران) و اقمار آن (با توجه به رشد بی‌رویه جمعیت و ساخت‌وساز در آن‌ها) بشدت وجود دارد. در تحقیق حاضر بمنظور بررسی و آشکارسازی تغییرات زمانی-

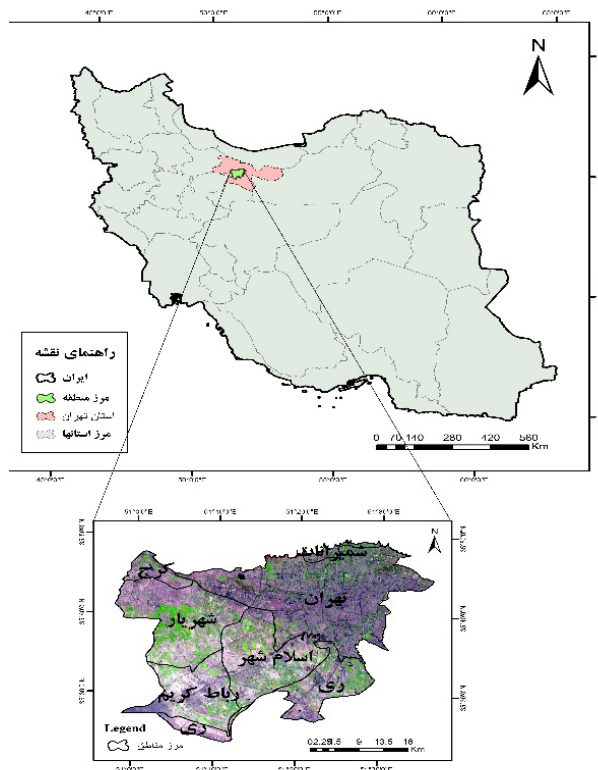
آشکارسازی تغییر، فرآیندی برای یافتن منطقه‌های متناقض در تصاویر زمانی متفاوت از ناحیه‌ای مشابه می‌باشد (Singh, 1988). مطالعات مختلف در رشته‌های علمی این موضوع را آشکار ساخته که بشر مکان‌های بسیار کمی را روی زمین دست‌نخورده باقی گذاشته است (Khan and Qasim, 2017). رصد شرایط و تغییرهای پوشش زمین برای ارزیابی وضعیت و تحول اکوسیستم‌هایی مانند محصول‌های جنگلی (Zhu et al., 2012; Cohen et al., 2010)، رفتار یخچال‌ها (Junfeng et al., 2017; Bolch, 2007)، توسعه شهری (Song et al. 2016; Yang et al. 2003)، آتش‌سوزی (Schroeder et al., 2011)، سیل و خشکسالی (Thomas et al., 2011)، بلایای طبیعی (Ma et al., 2016)، کشف تغییرات پوشش گیاهی (Schroeder et al., 2014) و آشکارسازی تغییرهای محیطی شهری یا طبیعی (Kennedy; Dewi et al., 2016; Liu and Cai, 2012) (et al., 2010) مهم می‌باشد. مشاهدات زمین برای ارزیابی تأثیر انسان در کاربری منبع‌های زمین از طریق فضا با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای بسیار مهم است (Rogan and Chen, 2004). رشد سریع جمعیت، افزایش فراوانی خشکسالی‌ها و گسترش سکونتگاه‌ها در ناحیه‌های خشک و نیمه‌خشک در میان مشهورترین محرک‌های تغییرهای کاربری زمین‌ها هستند (Vitousek et al., 1997). در مقابل، در این‌گونه منطقه‌ها، پوشش گیاهی توسط هردو عامل انسانی و طبیعی مانند رطوبت خاک (White et al., 2008)، توزیع غیرقابل پیش‌بینی و ناگهانی بارش (Fensham et al., 2005) و چرا (Rahlao and Hoffman, 2008) دچار تغییر می‌شود. تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه نقش مهمی در ارزیابی تغییرهای پوشش گیاهی بازی می‌کند. به لحاظ

تهران و برخی شهرستان‌های اطراف آن با مختصات $57^{\circ} 50'$ تا $36^{\circ} 51'$ طول شرقی و $23^{\circ} 35'$ تا $29^{\circ} 35'$ عرض شمالی است. مجموع مساحت منطقه مورد مطالعه $160789/7$ هکتار می‌باشد. شهرستان‌های این محدوده شامل تهران و بخش‌هایی از شهرستان‌های ری، شمیرانات، شهریار، اسلامشهر، رباط‌کریم و کرج است. در ناحیه‌های مختلف، کلان‌شهر تهران بدلیل موقعیت ویژه جغرافیایی، آب و هوای متفاوتی شکل گرفته است. هوای کلان‌شهر تهران در منطقه‌های کوهستانی دارای آب و هوای معتدل و در دشت، نیمه بیابانی است (Irimo, 2018) بر اساس

مکانی پوشش گیاهی در تهران و اقمار آن، از تصاویر سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ و استخراج و تحلیل شاخص‌های NDVI، شاخص پوشش گیاهی تعدیل‌شده خاک^۴ (SAVI) و شاخص تفاضل نرمال شده منطقه‌های مسکونی^۵ (NDBI) استفاده و نیز تحلیل دمای سطحی زمین با توجه به پوشش گیاهی انجام شد.

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

محدوده این تحقیق شامل حد نهایی بزرگراه‌های شهری



شکل ۱- موقعیت منطقه همراه با شهرهای مورد بررسی
Fig. 1- The geographical location of the study area

مورد مطالعه می‌باشد. این تصویرها با مسیر ۱۶۴ و ردیف ۳۵ از سامانه سازمان زمین‌شناسی آمریکا به نشانی <http://earthexplorer.usgs.gov> با سیستم تصویر ۱۹۸۴ WGS-84 zone ۳۹ گرفته شد. برای محاسبه دمای سطح زمین و متغیرهای بیوفیزیکی، از فایل فراداده‌ی تصویرها استفاده شد. فهرست روزهای مورد بررسی در جدول (۱) نشان داده شده است. روزهای منتخب در شرایط جوی

طبقه‌بندی اقلیمی کوپن- گایگر، منطقه مورد مطالعه بعنوان منطقه نیمه‌خشک^۶ طبقه‌بندی می‌شود. شکل (۱) موقعیت و محدوده منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد.

داده‌ها

استخراج و آماده سازی داده‌های تصویرها از طریق سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ و انتخاب ماه ژوئن بعنوان گرم‌ترین ماه منطقه

جدول ۱- فهرست روزهای مورد بررسی تصویرهای سنجنده ETM+ لندست ۷، مسیر: ۱۶۴، ردیف: ۳۵
 Table 1. The list of reviewed days in Landsat 7 ETM + imagery, Path: 164. Row: 35

زمان (گرینویچ) Time (Greenwich)	تاریخ (شمسی) Date (Solar)	تاریخ (میلادی) Date (AD)
06:57:48	1380.03.13	2001.06.03
06:56:41	1381.03.16	2002.06.06
06:56:30	1382.05.21	2003.08.12
06:57:09	1383.03.22	2004.06.11
06:57:30	1384.04.09	2005.06.30
06:58:09	1385.03.11	2006.06.01
06:58:20	1386.04.15	2007.07.06
06:57:55	1387.03.17	2008.06.06
06:58:22	1388.05.05	2009.07.27
07:00:14	1389.03.22	2010.06.12
07:01:41	1390.03.25	2011.06.15
07:02:22	1391.03.28	2012.06.17
07:03:48	1392.03.14	2013.06.04
07:05:32	1393.04.02	2014.06.23
07:07:41	1394.03.20	2015.06.10

گیاهی (پارک‌ها، فضای سبز و جنگل)، منطقه‌های ساخته شده، آب و دیگر عوارض (منطقه‌های بایر و مزرعه‌ها) که به نمونه تعلیمی اختصاص یافت، نقشه‌های کاربری زمین‌ها-پوشش زمین^۱ (LULC) تهیه شد. با توجه به درصد مساحتی که هر یک از کلاس‌ها به خود اختصاص داده است، نمودار ترسیم گردید. (ج) محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی و مناطق ساخته شده: به منظور تحلیل زمانی پوشش گیاهی در منطقه سه شاخص NDVI، SAVI و NDBI انتخاب و ابتدا از طریق فرمول‌های زیر تصحیحات اولیه انجام شد (NASA, 2016):

$$L\lambda = (Lmax - Lmin/Qcal\ max - Qcal\ min) \times (Qcal - Qcal\ min) + Lmin \quad (1)$$

$$Ref = \pi \times L\lambda \times d^2/ESUN_{\lambda} \times cos\theta_s \quad (2)$$

در فرمول (۱) متغیر مقدار رادیانس طیفی بوده و در فرمول (۲) مقدار Ref مقدار رفلکتانس بالای جو می‌باشد.

سه شاخص $NDVI$ (Rouse et al. 1973)، $SAVI$ (Huete, 1988) و $NDBI$ (Zha et al., 2003) از طریق فرمول‌های زیر محاسبه شد:

$$NDBI = SWIR1 - NIR/SWIR1 + NIR \quad (3)$$

$$SAVI = \frac{NIR-RED}{NIR-RED+L} \times (L + 1) \quad (4)$$

$$NDBI = SWIR1 - NIR/SWIR1 + NIR \quad (5)$$

آسمان صاف ۷ می‌باشد. برای ارزیابی صحت داده‌های دمای سطح زمین، از داده‌های ۶ ایستگاه هواشناسی شامل مهرآباد، دوشان تپه، شهریار، ژئوفیزیک، فرودگاه امام و چیتگر استفاده شد.

روش‌شناسی

الف) انتخاب روزهای مورد بررسی و انجام تصحیح‌ها: بمنظور بررسی تغییرات پوشش گیاهی در شهر تهران و اقماری آن، ابتدا ماه ژوئن بعنوان گرم‌ترین ماه منطقه برگزیده و تصویرهای ماهواره‌ای بر این مبنا استخراج شد. از آنجایی که تصویرهای داندلود شده از جنبه هندسی هم مختصات (Co-register) هستند، بنابراین تنها تصحیح‌های رادیومتریک بر تصویرها انجام شد. با توجه به اینکه هر ۱۶ روز یکبار از منطقه تصویربرداری می‌شود و بعضی از تصویرهای ماه ژوئن به دلیل ابری بودن حذف شد، ناگزیر از ماه جولای و (در صورت موجود نبودن آن) ماه اوت بعنوان ماه گرم درجه دو و سه منطقه استفاده شد.

ب) تهیه نقشه‌های LULC و ترسیم نمودار درصد مساحت: بر اساس دوره زمانی مورد مطالعه (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵) سه دوره ۵ ساله، انتخاب و برای محاسبات، ۴ سال از این بازه زمانی (سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵) بعنوان شروع و خاتمه هر دوره انتخاب شد و با استفاده از باندهای ۳، ۴ و ۵ نقشه‌های ترکیبی تهیه و سپس بر اساس ۴ کلاس پوشش

شهری، اسلامشهر و شمیرانات) ترسیم شد ولی بدلیل حجم بالای اشکال در این بخش آورده نشده و تنها توضیح‌های مربوطه بیان خواهد شد. سپس در دو جدول مجزا، معادله خط و مقدار R^2 هر نمودار که مربوط به سه کلاس شاخص‌های NDVI، SAVI و نیز سنجه NDBI می‌باشد نشان داده شد.

نتایج و بحث

نتایج بر اساس داده‌های موجود در دو فرآیند زمانی و مکانی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت.

دگرگونی زمانی

برای بررسی دگرگونی زمانی پوشش گیاهی، برای سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ در منطقه مورد مطالعه نقشه کاربری زمین‌ها و پوشش زمین (LULC) تهیه شد (شکل ۲). کلاس نقشه‌های LULC شامل ۴ کلاس پوشش گیاهی (پارک‌ها، فضای سبز و جنگل)، منطقه‌های ساخته‌شده، آب و دیگر عوارض (شامل منطقه‌های بایر و مزرعه‌ها) می‌باشد. بدون بررسی ظاهری و تنها از لحاظ بصری، افزایش پوشش گیاهی در سال ۲۰۱۵ نسبت به دوره‌های قبل کاملاً مشهود است. از سوی دیگر رشد منطقه‌های ساخته‌شده در غرب منطقه بخوبی دیده می‌شود. در این بخش صنایع و انبارهای بزرگ تهران مستقر شده است. به عقیده (Sadeghinia et al., 2012) جزیره حرارتی تهران به سمت غرب و جنوب غرب گسترش یافته و هرچند نتایج ایشان برای شهر تهران بوده است ولی رشد منطقه‌های ساخته‌شده در جنوب غربی منطقه مورد مطالعه در بخش اقماری شهر تهران نیز مشاهده می‌شود. برای بررسی دقیق‌تر هر یک از کلاس‌های نقشه LULC، نمودار مساحت هر کلاس کاربری زمین‌ها در ابتدا و انتهای هر دوره ترسیم شد. در شکل (۳)، درصد مساحت هر کلاس کاربری زمین‌ها و تغییر آن در هر ۴ سال را نمایش می‌دهد. از سال ۲۰۰۱ درصد پوشش گیاهی روبه کاهش رفته که تا سال ۲۰۰۵ و ۲۰۱۰ ادامه داشته، ولی در سال ۲۰۱۵ افزایش چشمگیر یافته است. در اینجا لازم است به نقش شهرداری‌های تهران و اعمار آن در برنامه‌ریزی منطقه‌ای شهر و افزایش پوشش

(د) محاسبه دمای سطح زمین (LST): برای این کار ابتدا دمای روشنایی از طریق فرمول زیر محاسبه شد (NASA, 2016):

$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_1} + 1\right)} \quad (6)$$

دمای روشنایی محاسبه‌شده از این رابطه برای جسم سیاه می‌باشد. بهمین دلیل مقدار گسیل مندی برای تبدیل دمای روشنایی به دمای جنبشی سطح ضروری است و دقت LST استخراج‌شده به این امر بستگی دارد. بر این اساس باید تصحیح گسیلمندی دمای سطح زمین انجام گیرد (Farina, 2012). پس از آن نیز باید حاصل را از $273/15$ کسر نمود تا دمای سطح زمین به سلسیوس به دست آید.

(ه) ارزیابی صحت داده‌های دمای سطح زمین: از تصاویر ماهواره لندست حاصل‌شده با دمای حاصل از ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه بر اساس دیاگرام تیلور انجام شد و با میانگین $0/8$ برای سنجنده ETM+ در ماه ژوئن، نشان داد که داده‌ها از دقت بالایی برخوردار هستند.

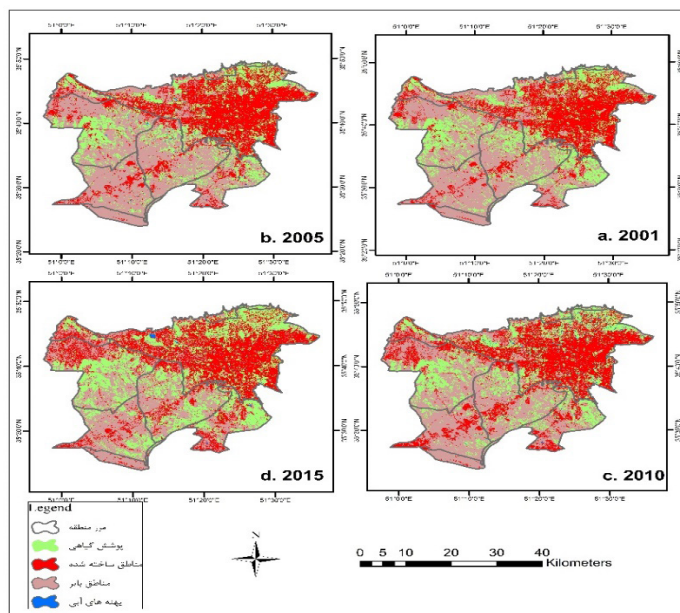
(و) ترسیم نمودار درصد مساحت هر شاخص و نیز ترسیم نمودار پراکنش: با داشتن مقادیر پیکسل نقشه‌های NDVI، SAVI و NDBI، نمودار درصد مساحت هر یک از شاخص‌ها طی دوره زمانی ۱۵ ساله ترسیم شد. دو شاخص NDVI و SAVI شامل سه کلاس هستند که مقادیر کمتر از $0/1$ (مناطق فاقد پوشش گیاهی)، $0/2$ تا $0/5$ (مناطق با پوشش گیاهی کم تراکم) و مقادیر بیشتر از $0/6$ (مناطق با پوشش گیاهی متراکم) می‌باشند (Usqgs, 2018). در گام بعد به منظور نشان دادن رابطه بین LST و شاخص‌های NDVI، SAVI و NDBI، نمودار پراکنش ترسیم شد. این نمودارها به صورت سه دوره ۵ ساله می‌باشد.

(ز) ترسیم نمودار تابع گوسی: نمودار تابع چگالی نرمال (تابع گوسی) بعنوان مهم‌ترین توزیع آماری برای توصیف متغیرهای کمی تصادفی برای سه شاخص NDVI، SAVI و NDBI و نیز LST و برای سه دوره ۵ ساله ترسیم شد. این نمودار، توزیع داده‌ها را برای هر پارامتر و تغییر آن را نسبت به دو دوره دیگر بخوبی نشان می‌دهد.

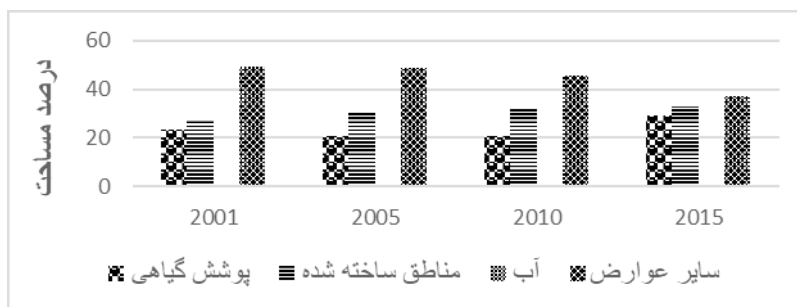
(ح) بررسی دگرگونی مکانی پوشش گیاهی: در این بخش درصد مساحت کلاس‌های شاخص NDVI، SAVI و NDBI محاسبه و نمودارهای مربوطه برای هر ۷ شهرستان موجود در منطقه مورد مطالعه (تهران، شهریار، کرج، رباط‌کریم،

گیاهی)، SAVI (سنجه پوشش گیاهی تعدیل کننده اثر خاک) و NDBI (سنجه تفاضل نرمال شده منطقه های ساخته شده) استفاده شد. مطابق شکل (۴) درصد مساحت در کلاس اول رو به کاهش و در دو کلاس دوم و سوم روبه افزایش است. ولی این روند در هیچ کدام از کلاس ها از نظر آماری معنی دار نیست. سال ۲۰۰۲ را می توان سال آغاز افزایش مساحت پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه دانست. از آن پس مساحت پوشش گیاهی و نیز مساحت بخش بدون پوشش گیاهی تغییرات نسبی داشته اند. در طول دوره آماری کمترین مساحت پوشش گیاهی مربوط به سال ۲۰۰۱ است. در همین شکل، درصد مساحت سه کلاس SAVI در طول دوره آماری در منطقه مشاهده می شود. همانند سنجه NDVI، در این نمودار

گیاهی و فضای سبز اشاره کرد. درصد نواحی ساخته شده در سال های مورد مطالعه همواره روبه افزایش بوده است. میزان مساحتی که عوارض آبی به خود اختصاص داده اند در سال ۲۰۱۰ به میزان قابل توجهی افزایش یافته ولی پس از آن و در نقشه سال ۲۰۱۵ مجدداً کاهش یافته است. با توجه به افزایش پوشش گیاهی و نواحی ساخته شده شهر تهران و اقمار آن، درصد مساحت دیگر عوارض کاهش یافته است. تحلیل دیگری که می توان در این رابطه انجام داد، بررسی سال به سال تغییرات پوشش گیاهی می باشد. با توجه به کلاس پوشش گیاهی که در ترسیم نقشه های LULC منطقه معرفی شد و نیز برای بررسی دقیق این عارضه، از سه سنجه NDVI (سنجه تفاضل نرمال شده پوشش



شکل ۲- نقشه های کاربری زمین ها و پوشش زمین (LULC) برای ۴ سال در منطقه مورد مطالعه
 Fig. 2- The maps of Land Use and Land Cover (LULC) for four years in the study area

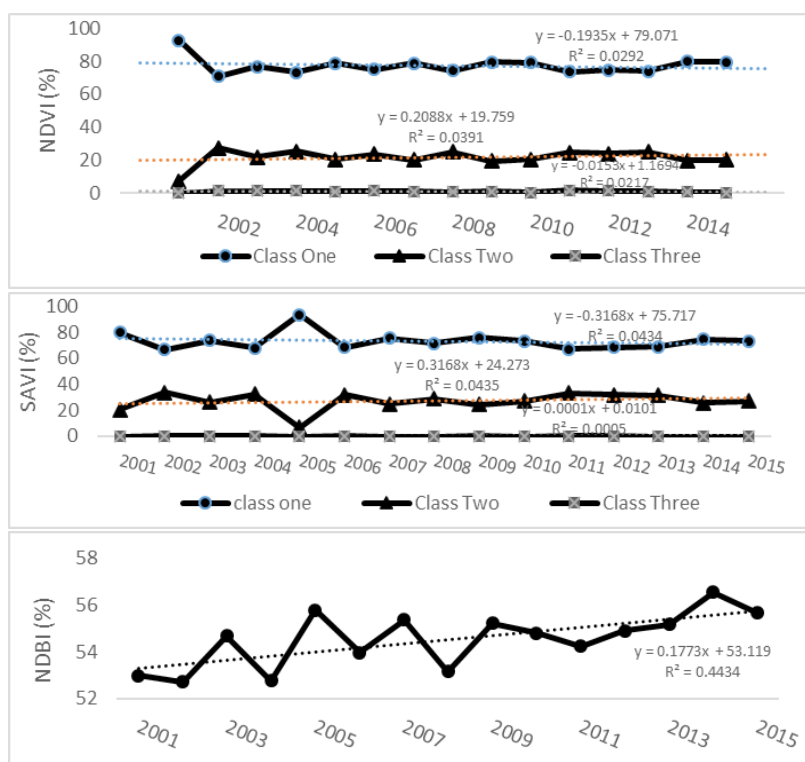


شکل ۳- درصد مساحت هر کلاس LULC برای ۴ سال در منطقه مورد مطالعه
 Fig. 3- The area percentage of LULC classes for four years in the study area

و وابسته رابطه خطی نداشته و عامل‌های دیگری می‌تواند در کاهش یا افزایش تغییرات متغیر وابسته نقش داشته باشد. در اینجا زمان، بعنوان متغیر مستقل می‌باشد که با توجه به مقدار ناچیز R^2 بیانگر وجود عامل‌های تعیین‌کننده دیگری در کاهش یا افزایش مساحت کلاس‌های پوشش گیاهی است. این عامل‌ها می‌تواند منشأ انسانی یا طبیعی داشته باشد. با توجه به اینکه پوشش گیاهی قدرت خنک‌کنندگی داشته و در کاهش دمای محیط نقش دارد و از سوی دیگر افزایش منطقه‌های ساخته‌شده بدلیل افزایش زاویه تابش خورشید و تراکم جمعیت در واحد سطح در افزایش دمای سطح زمین نقش بسزایی دارد، می‌توان توسط نمودار پراکندگی این روابط را بطور دقیق‌تر بررسی نمود.

برای بررسی رابطه LST و پوشش گیاهی مطالعات متعددی توسط محققان مانند Carlson *et al.* (1995); Carlson and Traci Arthur (2000); Gillies *et al.* (1997); Li *et al.* (2011) انجام شده است. بنابراین تلاش گردید این رابطه بین LST و سنجه‌های NDVI و SAVI طی سه دوره ۵ ساله نشان داده شود. در شکل (۵) نقطه‌های بر روی نمودار، محل تلاقی پیکسل‌های دمای سطحی و سنجه NDVI می‌باشد. یال گرم

نیز درصد مساحتی که کلاس اول به خود اختصاص داده، رو به کاهش و در دو کلاس دوم و سوم به افزایش است ولی روندها در این نمودار نیز از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. در این سنجه، بیشترین میزان کاهش پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۵ رقم خورده است. در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۱ تهران و اقمار آن دارای بیشترین مساحت پوشش گیاهی بوده‌اند. در مجموع بخش بدون پوشش گیاهی دارای بیشترین مساحت در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. نمودار سوم، درصد مساحت نواحی ساخته‌شده تهران و اقمار را توسط سنجه NDBI نشان می‌دهد. در این نمودار نیز در سال‌های ابتدایی که بصورت متناوب افزایش یا کاهش درصد مساحت رخ داده، از سال ۲۰۱۲ به بعد، درصد مساحت ناحیه‌های ساخته‌شده در منطقه شکل صعودی پیدا می‌کند. مقدار R^2 بیانگر این است که چه مقدار از تغییرات متغیر وابسته بوسیله متغیر مستقل تبیین می‌شود و مابقی تغییرات متغیر وابسته مربوط به دیگر عوامل است. این تخمین مشخص می‌کند که چگونه یک مقدار معین توسط یک نمودار و یا مدل معین پیش‌بینی شود. مقادیر R^2 کوچک در نمودارهای SAVI و NDVI لزوماً به معنی نبود رابطه نیست، بلکه نشان می‌دهد متغیر مستقل

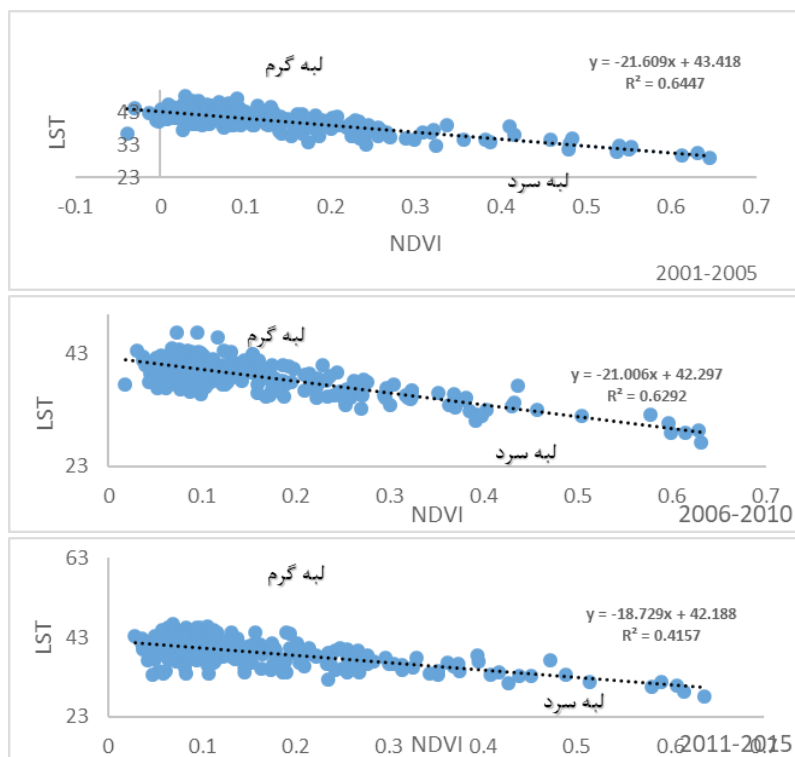


شکل ۴- درصد مساحت هر کلاس NDVI و SAVI طی دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ در منطقه مورد مطالعه
 Fig. 4- The area percentage of NDVI and SAVI classes, from 2001 to 2015 in the study area

SAVI و NDBI، در هر دوره نسبت به دوره دیگر داشته‌اند و اینکه در توزیع آن‌ها به لحاظ آماری چه تغییری ایجاد شده، می‌تواند در تکمیل تغییرات زمانی پوشش گیاهی نقش بسزایی داشته باشد.

تابع چگالی نرمال (تابع گوسی) بطور گسترده در آمار استفاده می‌شود، بطوری که مهم‌ترین توزیع آماری برای توصیف متغیرهای کمی تصادفی می‌باشد. این توزیع بطور معمول با میانگین و انحراف معیار توصیف می‌شود (Khtan, 2016). از آنجا که مساحت تابع چگالی نرمال واحد بوده و تابعی از مقدار میانگین و واریانس می‌باشد (Babacian *et al.*, 2014)؛ (Ahmadi and Dadashiroudbari, 2017)، در شکل (۶) در دوره دوم (۲۰۱۰-۲۰۰۶) نسبت به دوره اول (۲۰۰۵-۲۰۰۱) میانگین دمای سطح زمین (LST) کاهش یافته و از طرفی با توجه به کاهش واریانس یا پهن‌شدگی تابع گوس، ارتفاع منحنی (چگالی) در این دوره افزایش یافته است. Tayyebi *et al.* (2018) در بررسی کلان‌شهر تهران به این نتیجه رسیدند که از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۱ میزان LST رو به افزایش بوده است، ولی در تحقیق حاضر و با بررسی کلان‌شهر تهران (تهران و اقماری)، کاهش میزان LST در دوره دوم و سوم یعنی از ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵ مشاهده می‌شود. در دوره سوم (۲۰۱۵-۲۰۱۱) نسبت به دوره قبل میانگین اندکی کاهش یافته ولی با توجه به افزایش واریانس، ارتفاع منحنی کاهش یافته است. در نمودار تغییرات سنجه NDVI، دوره دوم و سوم مشابه یکدیگر بوده و در این دو دوره نسبت به دوره اول، میانگین افزایش یافته و همچنین با توجه به کاهش واریانس، ارتفاع منحنی افزایش یافته است. در نمودار تغییرات شاخص SAVI، دوره دوم و سوم تا حدودی مشابه یکدیگر بوده و در این دو دوره نسبت به دوره اول میانگین افزایش یافته و این افزایش در دوره سوم کمی بیشتر بوده است. با توجه به کاهش واریانس، ارتفاع منحنی (چگالی) در این دو دوره نسبت به دوره اول افزایش یافته است. در نمودار تغییرات سنجه NDBI (سنجه تفاضل نرمال شده منطقه‌های ساخته‌شده)، دوره دوم و سوم بطور کامل مشابه یکدیگر بوده و از طرفی با توجه به کاهش واریانس، ارتفاع منحنی افزایش پیدا کرده است. فراوانی مقادیر کوچک‌تر از میانگین بیشتر از فراوانی مقادیر بزرگ‌تر از میانگین است.

و یال سرد در اشکال مشخص شده است. پیکسل‌های یال گرم در مقایسه با یال سرد شرایط گرم‌تر و خشک‌تر هستند. در این شکل در دوره سوم نسبت به دوره اول نقطه‌ها، پراکندگی بیشتری پیدا کرده و کاهش مقدار R^2 در دوره سوم بیانگر رابطه غیرخطی LST و NDVI می‌باشد. در این شکل، کمترین مقادیر NDVI در دوره اول کمتر از صفر بوده و در دوره‌های دوم و سوم مقادیر پیکسل‌ها بالاتر از صفر می‌باشند. تجمع پیکسل‌های دوره اول بیشتر در محدوده اعداد ۳۸ تا ۴۸ می‌باشد که در دو دوره بعد پراکندگی نقطه‌ها تا حدود ۳۳ درجه مشاهده می‌شود. بدلیل حجم زیاد تصاویر از بیان اشکالی که رابطه بین LST و شاخص‌های SAVI و NDBI را نمایش می‌داد صرف‌نظر شد. در رابطه LST و SAVI، با حذف اثرهای خاک، این افزایش پراکندگی در دوره‌های دوم و سوم به روشنی دیده می‌شود. با افزایش پراکندگی نقطه‌ها پیکسل‌ها شیب منفی یال گرم نیز افزایش یافته که Li *et al.* (2011) این وضعیت را بیانگر افزایش پوشش گیاهی در منطقه و تأثیر خنک‌کنندگی آن می‌دانند. میزان R^2 در دوره اول تا سوم به ترتیب ۰/۶۰۹۲، ۰/۶۰۵۱ و ۰/۳۹۶۶ می‌باشد. رابطه مثبت LST و NDBI نیز از دوره اول تا دوره سوم همراه با کاهش میزان R^2 بیانگر رابطه غیرخطی میان دما و منطقه‌های ساخته‌شده است. این مقدار از دوره اول تا سوم به ترتیب برابر با ۰/۶۷۷۹، ۰/۶۵۹۴ و ۰/۴۸۲۶ می‌باشد. پراکندگی بیشتر پیکسل‌ها در دوره سوم نسبت به دو دوره پیشین رخ داده است. همان‌طور که در پژوهش‌های پیشین (Goward and Hope (1989)، (Price (1990)، (Gillies and Carlson (1995) پیشنهاد دادند که شکل مثلی نمودار پراکندگی بیانگر ویژگی‌های فیزیکی اعمال شده توسط محدودیت‌ها بر روی توزیع حجم آب خاک و مقدار پوشش گیاهی می‌باشد، در واقع با کاهش این محدودیت‌ها شکل نمودار به حالت دایره‌ای نزدیک‌تر خواهد شد. از سوی دیگر (Guo *et al.* (2015) به این نتیجه رسیدند که رابطه بین LST و NDVI همیشه خطی نیست و می‌تواند غیرخطی هم باشد، در اینجا نیز بر اساس اشکال ترسیم‌شده، روابط بین دمای سطحی و سنجه‌های NDVI و SAVI خطی نبوده و بر اساس برازش معادلات آماری در هر وضعیت، عامل‌های دیگری در کاهش یا افزایش LST نقش دارند. تغییراتی که LST و سنجه‌های NDVI،



شکل ۵- رابطه LST و شاخص NDVI در سه دوره زمانی مختلف
 Fig. 5- The relationship between LST and NDVI indices in three different periods

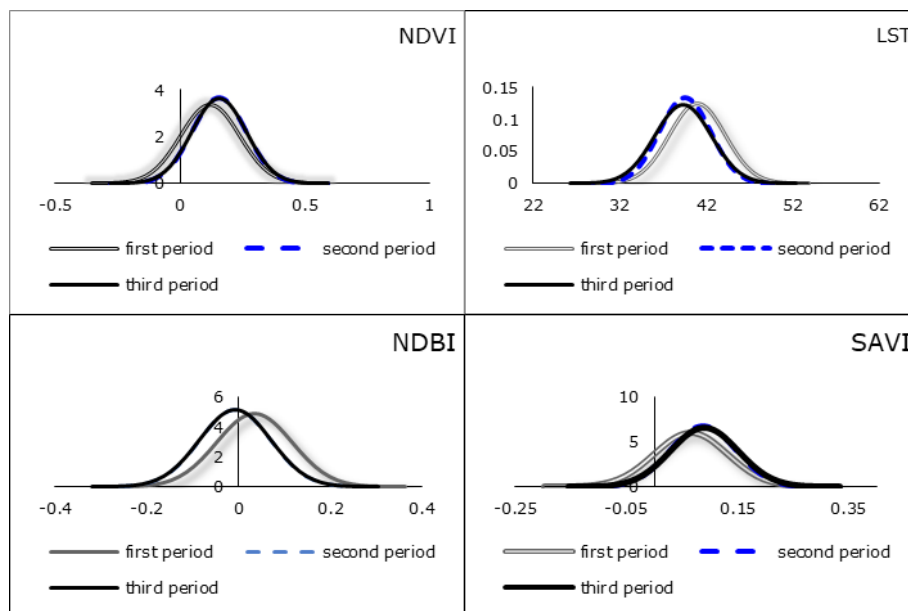
و متراکم می‌باشد. سال ۲۰۰۵ کاهش پوشش گیاهی کم تراکم در منطقه مورد مطالعه رخ داده که در شاخص SAVI بسیار مشهود است. از سوی دیگر، با توجه به اینکه سنجه NDBI محدوده اعدادی را در برمی‌گیرد که به طرف مقادیر منفی نشانگر پوشش گیاهی می‌باشد، در نمودار تابع چگالی نرمال، گرایش دوره‌های دوم و سوم به طرف مقادیر کمتر از میانگین و منفی بیانگر افزایش سطح پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه است.

دگرگونی مکانی

از جنبه مکانی و مطابق بررسی‌های انجام‌شده، برای ۷ شهرستان منطقه مورد مطالعه بطور جداگانه نمودارهایی برای سنجه‌های NDVI، SAVI و NDBI ترسیم شد که بدلیل حجم بالای نمودارها به توضیحات اکتفا می‌شود. تهران بیشترین درصد کلاس یک NDVI یعنی سطوح بدون پوشش گیاهی را به خود اختصاص داده است. در کلاس دو، تهران بیشترین درصد سطوح پوشش گیاهی را در بین شهرستان‌های منطقه مورد مطالعه دارد که در

تحلیل منطقه‌ای دگرگونی زمانی پوشش گیاهی

دمای سطحی زمین در دوره آماری و در منطقه مورد مطالعه رو به کاهش بوده و از سوی دیگر مساحت پوشش گیاهی بطور کلی در منطقه روبه افزایش است. از طرفی نمودارهای تابع چگالی نرمال نشان دادند که با گذشت زمان رابطه پوشش گیاهی با دما ضعیفتر شده و به دلیل وجود عوامل تأثیرگذار دیگر، این رابطه معکوس، خطی نیست. با توجه به تأثیرگذاری چند عامل در دمای سطحی از یک سو و بر اساس نقشه‌های ترکیبی، افزایش مساحت پوشش گیاهی و نیز افزایش منطقه‌های ساخته‌شده در مقابل کاهش سطح دیگر عوارض از سوی دیگر، می‌توان گفت کاهش مساحت نواحی بایر و مزرعه‌ها همراه با افزایش پوشش گیاهی، با وجود افزایش نواحی ساخته‌شده، کاهش نسبی دمای سطحی را در پی داشته است. افزایش یا کاهش پوشش گیاهی در هر سال نسبت به سال قبل از آن تغییرات جزئی داشته و در مجموع درصد نواحی بدون پوشش گیاهی در کلان‌شهر تهران بیشتر از نواحی با پوشش گیاهی کم تراکم



شکل ۶- تابع چگالی نرمال را برای ۴ پارامتر LST، NDVI، SAVI و NDBI
 Fig. 6- The normal density function for four parameters LST, NDVI, SAVI, and NDBI

را دارند که البته بخشی از شهرستان کرج در منطقه مورد مطالعه بررسی شده است.

تحلیل منطقه‌ای دگرگونی مکانی پوشش گیاهی

جدول‌های (۲) و (۳) به ترتیب معادله خط و مقدار R^2 نمودارهای ترسیم‌شده بخش قبل را نشان می‌دهد. در جدول (۲) سنجه‌های NDVI و SAVI هر دو پوشش گیاهی را در منطقه نشان می‌دهند ولی شاخص SAVI بدلیل حذف اثرهای خاک در تحلیل از اعتبار بیشتری برخوردار است. شهرستان‌های کرج، ری و اسلامشهر افزایش سطح‌های بدون پوشش گیاهی و کاهش سطح‌های پوشش گیاهی را نشان می‌دهند. در شهرستان ری مقادیر بالای R^2 کلاس یک و دو سنجه SAVI بیانگر دقت بالای برآورد می‌باشد. در شمیرانات و شهریار روند افزایش سطح‌های بدون پوشش گیاهی و با پوشش گیاهی کم تراکم هر دو صعودی است ولی از دقت زیادی برخوردار نمی‌باشد. شهرستان رباط‌کریم و تهران روند کاهش سطح‌های بدون پوشش گیاهی و افزایش پوشش گیاهی کم تراکم را طی می‌کنند که افزایش سطح پوشش گیاهی در کلاس دو سنجه SAVI بیانگر این است که برآورد افزایش پوشش گیاهی در هر دو مکان از دقت بالایی برخوردار است. روند افزایشی پوشش

سال ۲۰۰۲ تا حدود ۳۶ درصد را از آن خود کرد. کمترین درصد سطح‌های پوشش گیاهی مربوط به شهرستان‌های کرج و شمیرانات است. در کلاس سه شهرستان شهریار بیشترین درصد مساحت پوشش گیاهی متراکم را داراست. بیشترین سطح کلاس یک سنجه SAVI یعنی سطح‌های بدون پوشش گیاهی متعلق به تهران می‌باشد. در اینجا نیز کمترین درصد سطح‌های پوشش گیاهی مربوط به کرج و شمیرانات است. سه شهرستان تهران، شهریار و اسلامشهر بیشترین درصد مساحت پوشش گیاهی را به خود اختصاص داده‌اند. پوشش گیاهی از اوایل دوره مورد بررسی در شهریار بیشترین مقدار بوده ولی در سال‌های اخیر تهران از آن‌ها پیشی گرفته است. بیشترین سطح پوشش گیاهی متراکم در این سنجه و در میان شهرستان‌های منطقه مورد مطالعه مربوط به اسلامشهر می‌باشد که البته در دوره آماری افت و خیزهای زیادی نیز داشته است. در این سنجه شمیرانات و تهران بدون پوشش گیاهی متراکم بوده‌اند. از نظر درصد مساحت نواحی ساخته‌شده (سنجه NDBI) تهران بیشترین درصد را به خود اختصاص داد. بطوری که در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۹ دارای نیمی از مجموع مساحت عوارض در منطقه مورد مطالعه بود. در میان شهرستان‌های مورد بررسی، کرج و شمیرانات کمترین درصد نواحی ساخته‌شده

معنی نبود ساخت‌وساز در آن‌ها نیست، بلکه در مقایسه با سرعت ساخت‌وساز و مساحت نواحی ساخته‌شده که برخی شهرستان‌ها در کل منطقه مورد مطالعه به خود اختصاص می‌دهند، این شهرستان‌ها روند کندتری را در این رابطه طی می‌کنند و درصد نواحی ساخته‌شده در رابطه با عوارض دیگر محاسبه می‌شود.

گیاهی در منطقه، بدلیل مساحت بیشتر شهرستان‌های تهران و رباط‌کریم نسبت به کل مساحت منطقه می‌باشد و در نتایج نهایی نمود بیشتری می‌یابد. درصد سطوح نواحی ساخته‌شده در شهرستان‌های شمیرانات، تهران، شهریار و رباط‌کریم روند صعودی دارد که البته مقادیر R^2 در تهران و شهریار بسیار کم است. روند منفی شهرستان‌های دیگر به

جدول ۲- معادله خط برای نمودارهای درصد مساحت سه کلاس سنج NDVI و SAVI در ۷ شهرستان منطقه
Table 2- The linear equation for percentage graphs of the three classes of the NDVI and SAVI indices in seven cities of the study area

منطقه‌ها Regiones	NDVI- Class 1	NDVI- Class 2	NDVI- Class 3	SAVI- Class 1	SAVI- Class 2	SAVI- Class 3	NDBI
کرج Karaj	$y = 0.0018x + 3.2897$	$y = -0.0451x + 3.1272$	$y = -0.1569x + 3.2743$	$y = 0.0179x + 3.247$	$y = -0.0547x + 2.9919$	$y = 0.0009x + 0.0528$	$y = -0.0251x + 2.2541$
شمیرانات Shemiranat	$y = 0.0127x + 0.8423$	$y = 0.0057x + 2.4035$	$y = -0.0206x + 1.9565$	$y = -0.0029x + 1.001$	$y = -0.0065x + 2.2717$	-	$y = 0.0162x + 1.8875$
تهران Tehran	$y = -0.0434x + 37.295$	$y = 0.2527x + 28.862$	$y = -0.1781x + 13.925$	$y = -0.065x + 39.751$	$y = 0.4318x + 21.538$	-	$y = 0.0597x + 46.47$
شهریار Shahriyar	$y = 0.0083x + 16.7$	$y = 0.027x + 23.082$	$y = -0.4566x + 57.174$	$y = 0.0008x + 16.259$	$y = -0.3298x + 28.147$	$y = -0.1053x + 5.3729$	$y = 0.003x + 12.92$
اسلامشهر Eslamshahr	$y = 0.1481x + 13.991$	$y = -0.15x + 21.036$	$y = 0.304x + 15.924$	$y = 0.0349x + 13.876$	$y = -0.066x + 22.858$	$y = -2.8246x + 84.164$	$y = -0.115x + 16.987$
ری Rey	$y = 0.0714x + 11.802$	$y = -0.2162x + 15.865$	$y = -0.33x + 9.2597$	$y = 0.0711x + 11.63$	$y = -0.2314x + 16.101$	$y = -0.8272x + 10.694$	$y = -0.0672x + 12.09$
رباط‌کریم Robat Karim	$y = -0.1988x + 16.081$	$y = 0.1258x + 5.6253$	$y = 0.8383x - 1.5135$	$y = -0.0568x + 14.237$	$y = 0.2566x + 6.0932$	$y = 0.542x + 5.4304$	$y = 0.1284x + 7.3917$

جدول ۳- مقادیر R^2 برای نمودارهای درصد مساحت سه کلاس سنج NDVI و SAVI در ۷ شهرستان منطقه
Table 3- R^2 values for the percentage graphs of three classes of NDVI and SAVI indices in seven cities of the study area

منطقه‌ها Regiones	NDVI- Class 1	NDVI- Class 2	NDVI- Class 3	SAVI- Class 1	SAVI- Class 2	SAVI- Class 3	NDBI
کرج Karaj	0.0024	0.3156	0.2912	0.2766	0.4784	0.0006	0.3076
شمیرانات Shemiranat	0.1149	0.0093	0.0202	0.0185	0.0465	-	0.2273
تهران Tehran	0.0612	0.1145	0.0625	0.069	0.5475	-	0.0081
شهریار Shahriyar	0.0542	0.0017	0.062	0.0002	0.1815	0.005	0.0002
اسلامشهر Eslamshahr	0.1981	0.1504	0.0952	0.0231	0.0304	0.098	0.0858
ری Rey	0.5936	0.5069	0.2676	0.5598	0.8747	0.1229	0.1904
رباط‌کریم Robat Karim	0.1964	0.343	0.7415	0.2542	0.7055	0.0196	0.3281

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد با توجه به بررسی سنج‌های NDVI، SAVI و NDBI، روند کلی مساحت پوشش گیاهی در کلان‌شهر تهران در حال افزایش است. با توجه به ۳ دوره ۵ ساله که در این تحقیق بررسی شد، این امر از دوره دوم

با وجود فراز و فرود در سال‌های مختلف روند صعودی را طی کرده است. نواحی ساخته‌شده در منطقه نیز سیر صعودی دارد ولی گاهی به نسبت افزایش یا کاهش حجم پوشش گیاهی، درصد آن در مجموع منطقه دچار تغییر شده است. از سوی دیگر میانگین دمای منطقه مورد

دو شاخص پوشش گیاهی و یک شاخص منطقه‌های مسکونی انجام شده است. از سوی دیگر نتایج تحقیق‌های بیان شده گویای کاهش حجم پوشش گیاهی در شهر تهران است، ولی نتایج این تحقیق نشان داد در این شهر حجم پوشش گیاهی رو به افزایش می‌باشد. در مجموع با توجه به گرمایش جهانی و مشکل‌هایی که پیرو آن در بخش‌های انرژی، محیطی زیستی، سلامتی و غیره ایجاد خواهد شد، لازم است از روش‌های مقرون به صرفه و کارآمد برای کاهش دمای سطحی از جمله افزایش سطح‌های پوشش گیاهی در سطح شهر استفاده کرد. توجه به این نکته نیز ضروری است که نتایج تحقیق حاضر روی تهران و اقمار و بر اساس محدوده‌ای که برای پژوهش انتخاب شده، بیان شده است.

پی‌نوشت‌ها

¹ Normal Difference Vegetation Index (NDVI)

² Surface Urban Heat Island

³ Land Surface Temperature (LST)

⁴ Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)

⁵ Normalized Difference Built-up Index (NDBI)

⁶ Bsk

⁷ Clear Sky

⁸ Land Use-Land Cover (LULC)

مطالعه در سال‌های اخیر روند نزولی دارد که یکی از دلایل‌های آن می‌تواند افزایش سطح پوشش گیاهی ولی این رابطه در منطقه غیرخطی است که بیانگر وجود عواملی دیگر در کاهش دمای سطحی همچون کاهش سطوح زمین‌های بایر می‌باشد. با در نظر گرفتن مقادیر R^2 ، پوشش گیاهی در شهرستان ری در حال نابودی می‌باشد. شهرستان‌های رباط کریم و تهران از این جهت وضعیت مناسبی دارند و با وجود افزایش سطح نواحی ساخته شده در این شهرستان‌ها، سطوح پوشش گیاهی در حال افزایش است. رشد افسارگسیخته شهرک‌های اقماری در استان تهران موجب تخصیص زمین‌های بایر و مزرعه‌ها و پوشش گیاهی به نواحی ساختمانی و مسکونی شده است که این امر جزایر حرارتی و شرایط نامساعد زندگی را تشدید می‌کند. تحقیق‌هایی که تا کنون بر روی پوشش گیاهی تهران صورت گرفته بطور عمده بصورت محدود و در قالب شهر یا منطقه‌هایی از تهران بوده (Soroudi and Jozi, 2011, 2013, 2016; Ismaeilzadeh and Shafiee Sabet, 2013) و یا روند پوشش گیاهی داخل و خارج شهر تهران را بدون تفکیک مکانی و تنها با توجه به یک شاخص (NDVI) مورد بررسی قرار داده‌اند (Tayyebi *et al.* 2018) ولی در تحقیق حاضر بررسی جامع شهر تهران و اقمار آن و تفکیک بررسی پوشش گیاهی در هر شهرستان و توسط

منابع

Ahmadi, M. and Dadashiroudbari A., 2017. The Identification of urban thermal islands based on an environmental approach, case study: Isfahan province. *Geography and Environmental Planning*. 28, 1-20. (In Persian with English abstract).

Alavipanah, S.K., Rezaei, A., Azadighatar, S. and Azghandi, H.J., 2016. Investigation of incontinuous levels of normalized vegetation difference as display parameters of urban thermal isles using satellite images. *Geography and Planning*. 55, 183-208. (In Persian with English abstract).

Amanollahi, J., Abdullah, A., Ramli, M. and Pirasteh S., 2012. Land surface temperature assessment in semi-arid residential area of Tehran, Iran using Landsat imagery. *World Applied Sciences Journal*. 20, 319-326.

Babayan, I., Rezaei pour, A. and Ahangarzadeh, Z., 2014. Simulation of climatic comfort profile in khorasan razavi province under climate change scenarios. *Geographical Study of Drought Areas*. 5, 95-112. (In Persian with English abstract).

Bokaie, M., Zarkesh, M.K., Arasteh, P.D. and Hosseini, A., 2016. Assessment of urban heat island based on the relationship between land surface temperature and land use/ land cover in Tehran. *Sustainable Cities and Society*. 23, 94-104.

Bolch, T., 2007. Climate change and glacier retreat in northern tien shan (kazakhstan/kyrgyzstan) using remote sensing data. *Global and Planetary Change*. 56, 1-12.

- Price, C.J., 1990. Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 5, 940-8.
- Carlson, T.N., Capehart, W.J. and Gillies, R.R., 1995. New look at the simplified method for remote sensing of daily evapotranspiration. *Remote Sensing of Environment*. 54, 161-7.
- Carlson, T.N. and Traci Arthur, S., 2000. The impact of land use — land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: a satellite perspective. *Global and Planetary Change*. 25, 49-65.
- Chen, Z.M., Babiker, I.S., Chen, Z.X., Komaki, K., Mohamed, M.A.A. and Kato, K., 2004. Estimation of inter-annual variation in productivity of global vegetation using NDVI data. *International Journal of Remote Sensing*. 25, 3139-59.
- Cohen, W.B., Yang, Z. and Kennedy, R., 2010. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 2. TimeSync — Tools for calibration and validation. *Remote Sensing of Environment*. 114, 2911-24.
- Defries, R.S. and Belward A., 2000. Global and regional land cover characterization from satellite data: An introduction to the Special Issue. *International Journal of Remote Sensing*. 21, 1083–1092.
- Dewi, R., Bijker, W., Stein, A. and Aris Marfai, M., 2016. Fuzzy classification for shoreline change monitoring in a part of the northern coastal area of java, Indonesia. *Remote sensing*. 8(3), 190.
- Farina, A., 2012. Exploring the relationship between land surface temperature and vegetation abundance for urban heat island mitigation in Seville, Spain. LUMA-GIS M.S. Thesis. Lund University, Sweden.
- Fensham, R.J., Fairfax, R.J. and Archer, S.R., 2005. Rainfall, land use and woody vegetation cover change in semi-arid Australian savanna. *Journal of Ecology*. 93, 596-606.
- Gillies, R.R. and Carlson, T.N., 1995. Thermal remote sensing of surface soil water content with partial vegetation cover for incorporation into climate models. *Journal of Applied Meteorology*. 34, 745-56.
- Gillies, R.R., Kustas, W.P. and Humes, K.S., 1997. A verification of the 'triangle' method for obtaining surface soil water content and energy fluxes from remote measurements of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and surface. *International Journal of Remote Sensing*. 18, 3145-66.
- Goward, S.N. and Hope, A.S., 1989. Evapotranspiration from combined reflected solar and emitted terrestrial radiation: Preliminary FIFE results from AVHRR data. *Advances in Space Research*. 9, 239-49.
- Guo, G., Wu, Z., Xiao, R., Chen, Y., Liu, X. and Zhang, X., 2015. Impacts of urban biophysical composition on land surface temperature in urban heat island clusters. *Landscape and Urban Planning*. 135, 1-10.
- Huete, A.R., 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*. 25, 295-309.
- Irimo, 2018. Available online at: <http://www.irimo.ir/far/services/climate/799>.
- Ismail Zadeh, H. and Shafiee Sabet, N., 2013. Study of land use changes and unsustainable in the northern ecosystem of Tehran (Case study: Darakeh-Velenjak basin). *Researches of land knowledge*. 4 (3), 83-102. (In Persian with English abstract)
- Junfeng, W., Shiyin, L., Wanqin, G., Xiaojun, Y., Junli, X. and Weijia, B., 2017. Surface-area changes of glaciers in the Tibetan Plateau interior area since the 1970s using recent Landsat images and historical maps. *Annals of Glaciology*. 55, 213-22.
- Kennedy, R.E., Yang, Z. and Cohen, W.B., 2010. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly

- Landsat time series: 1. LandTrendr — Temporal segmentation algorithms. *Remote Sensing of Environment*. 114, 2897-910.
- Khan, S. and Qasim, S., 2017. Spatial and temporal dynamics of land cover and land use in district pishin through GIS. *Science. Technology and Development*. 36, 6-10.
- Khtan, A., 2016. Estimate the Mean Daily Temperature from Mean Monthly (Using Gaussian Function), *International Journal of Advances in Science. Engineering and Technology*. 4, 71-73.
- Li, J., Song, C., Cao, L., Zhu, F., Meng, X. and Wu, J., 2011. Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: A case study of Shanghai, China. *Remote Sensing of Environment*. 115(12), 3249-63.
- Liu, D. and Cai, S., 2012. A spatial-temporal modeling approach to reconstructing land-cover change trajectories from multi-temporal satellite imagery. *Annals of the Association of American Geographers*. 102, 1329-1347.
- Ma, Y., Chen, F., Liu, J., He, Y., Duan, J. and Li, X., 2016. An automatic procedure for early disaster change mapping based on optical remote sensing. *Remote Sensing*. 8, 272.
- NASA (National Aeronautics and Space Administration), 2016. *Landsat 7 Science Data Users Handbook*, U.S. Geological Survey (USGS). Available online at: <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov>.
- Rahlao, S.J. and Hoffman, M.T., 2008. Long-term vegetation change in the Succulent Karoo, South Africa following 67 years of rest from grazing. *Journal of Arid Environments*. 72, 808-19.
- Rogan, J. and Chen, D., 2004. Remote sensing technology for mapping and monitoring land-cover and land-use change. *Progress in planning*. 61, 301-25.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W., 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA special publication*. 351, 309.
- Sadeghinia, A., Alijani, B. and Ziaian, P., 2012. Spatial analysis - temporal analysis of thermal island of Tehran metropolitan area using remote sensing and geographic information system. *Geography and environmental hazards*. 4, 1-18. (In Persian with English abstract)
- Schroeder, T.P., Healey, S.G., Moisen, G., Frescino, T.B., Cohen, W. and Huang, C., 2014. Improving estimates of forest disturbance by combining observations from Landsat time series with U.S. forest service forest inventory and analysis data. *Remote Sensing of Environment*. 154, 61-73.
- Schroeder, T.A., Wulder, M.A., Healey, S.P. and Moisen, G.G., 2011. Mapping wildfire and clear cut harvest disturbances in boreal forests with Landsat time series data. *Remote Sensing of Environment*. 115, 1421-33.
- Shakiba, A., Ziaian Firoozabadi, P., Ashourlou, D. and Namdari, S., 2009. Analysis of the relationship between land use and land cover and thermal islands of Tehran, using ETM + data. *Remote sensing Journal Iran GIS*. 36-36. (In Persian with English abstract).
- Singh, A., 1988. Digital change detection techniques using remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*. 10(6), 989-1003.
- Singh, A., 1989. Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing*. 10, 989-1003.
- Song, X.P., Sexton, J., Huang, C., Channan, S. and Townshend, J., 2016. Characterizing the magnitude, timing and duration of urban growth from time series of Landsat-based estimates of impervious cover. *Remote Sensing of Environment*. 175, 1-13.
- Soroudi, M. and Jozi, S.A., 2011. Prognosis of vegetation change using the Markov model (case study: district 4 of Tehran municipality). *Remote Sensing and Geographic*

- Information System in Natural Resources. 6, 83-96. (In Persian with English abstract).
- Soroudi, M. and Jozi, S.A., 2013. Remote sensing and implementation of the Markov model for the study of urban green spaces (case study: District 1 of Tehran Municipality). *Ecology*. 65, 113-122. (In Persian with English abstract).
- Soroudi, M. and Jozi, S.A., 2016. Study of quality changes of green space in Tehran from 1990 to 2006 (case study: District 5 of Tehran Municipality). *Quarterly Journal of Environmental Science and Technology*. 18 (Special Note No. 3 Design and Administration), 335-344. (In Persian with English abstract).
- Tayyebi, A., Shafizadeh-Moghadam, H. and Tayyebi, A.H., 2018. Analyzing long-term spatio-temporal patterns of land surface temperature in response to rapid urbanization in the mega-city of Tehran. *Land Use Policy*. 71, 459-69.
- Thomas, R.F., Kingsford, R.T., Lu, Y. and Hunter, S.J., 2011. Landsat mapping of annual inundation (1979–2006) of the Macquarie Marshes in semi-arid Australia. *International Journal of Remote Sensing*. 32, 4545-69.
- USGS, 2018. U.S. Geological Survey. Available online at <http://earthexplorer.usgs.gov>.
- Vitousek, P.M., Mooney, H.A., Lubchenco, J. and Melillo, J.M., 1977. Human domination of earth ecosystems. *Science*. 277, 494.
- Weng, Q., Lu, D. and Schubring, J., 2004. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*. 89, 467-83.
- White, J.D., Gutzwiller, K.J., Barrow, W.C., Randall, L.J. and Swint, P., 2008. Modeling mechanisms of vegetation change due to fire in a semi-arid ecosystem. *Ecological Modelling*. 214, 181-200.
- Yang, L., Xian, G., Klaver, J.M. and Deal, B., 2003. Urban land-cover change detection through sub-pixel imperviousness mapping using remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 69, 1003-10.
- Yu, H., Yang, W., Hua, G., Ru, H. and Huang, P., 2017. Change detection using high resolution remote sensing images based on active learning and Markov random fields. *Remote Sensing*. 9, 1233.
- Zha, Y., Gao, J. and Ni, S., 2003. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 24, 583-94.
- Zhu, Z., Woodcock, C.E. and Olofsson, P., 2012. Continuous monitoring of forest disturbance using all available Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*. 122, 75-91.





Environmental Sciences Vol.17/ No.4 /winter 2020

133-150

Detection of spatio-temporal changes in the vegetation of Tehran and satellite cities in association with land surface temperature

Mahmoud Ahmadi^{1*}, Zahra Alibakhshi¹ and Manouchehr Farajzade Asl¹

¹ Department of Natural Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University

² Department of Natural Geography, Faculty of Humanities Sciences, Tarbiat Modares University

Received: 2018.09.06 Accepted: 2019.05.21

Ahmadi, M., Alibakhshi, Z. and Farajzade Asl, M., 2020. Detection of spatio-temporal changes in the vegetation of Tehran and satellite cities in association with land surface temperature. *Environmental Sciences*. 17(4): 133-150.

Introduction: Change detection is a process to find the paradoxical regions in different temporal imageries of a similar area. Vegetation is very effective at the absorption of grime and lead, prevention of the spread of contaminations in urban environments, clearing the air, and reduction of heat islands. The need to investigate the decrease or increase in vegetation is extremely important in Tehran as a metropolis, as well as its satellite counties because of the increase in population and construction. The purpose of this research was to investigate the spatiotemporal changes in the vegetation of Tehran and its satellite cities in association with temperature during different temporal periods. The results of this research can be useful in studies concerning urban viability, reducing the effects of urban heat islands, and environmental sciences.

Material and methods: Initially, the extraction and preparation of data were carried out using the ETM+ sensor of Landsat 7 satellite from 2001 to 2015, with June being selected as the hottest month of the study area. Then, the selection of days to be studied and correcting imagery, preparing LULC maps and plotting the area percentage was done. The computation of vegetation indices and built-up areas and the calculation of land surface temperature along with the assessment of the accuracy of surface temperature data were other stages of the research methodology. Finally, the area percentage of each index, as well as the scatter plot and Gaussian function chart were produced and the spatial variation of vegetation was studied.

Results and discussion: According to the land use and land cover map (LULC) in 2001, 2005, 2010, and 2015, the vegetation significantly increased in 2015 compared to previous courses. The development of the residential area in the west region was higher than in other regions. In the charts of the area percentage for each land use class and its change over the four selected years, the vegetation percentage has been decreased since 2001, which

*Corresponding Author. *Email Address:* ma_ahmadi@sbu.ac.ir

continued in 2010 and 2015. In this study, the relationships between surface temperature and NDVI and SAVI indices were not linear, which showed that there is another controlling factor. In the normal density function chart, which is usually described by mean and standard deviation, variations of NDVI and SAVI indices were similar in the second and third periods, and the mean increased in these two periods compared to the first period, and the height of curve increased due to the reduction of variance. In this study, the results showed a decrease in the value of LST in the second and third periods from 2006 to 2015. On the other hand, the vegetation area was increasing in the region. From a spatial point of view, Tehran has the highest percentage of class one of NDVI that have no vegetation surfaces.

Conclusion: Regarding the study of NDVI, SAVI and NDBI indices, the overall trend of vegetation cover in the study area was increasing. Considering the values of R^2 , the vegetation in Ray County was defunct. In the cities of Robat Karim and Tehran, vegetation cover was increasing. The high growth of satellite towns in the surroundings of Tehran has led to the allocation of land and fields and vegetation to residential areas, which exacerbate the heat islands and the unfavorable conditions of life.

Keywords: Vegetation, Spatio-temporal changes, Tehran, Land surface temperature.

