



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

محمود احمدی<sup>۱\*</sup>، زهرا علی بخشی<sup>۱</sup> و منوچهر فرج زاده اصل<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران  
<sup>۲</sup>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، فرایندی 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 +MTE 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 تصحیحات تصاویر و تهیه نقشه‌های CLUL و ترسیم نمودار درصد مساحت منطقه‌ها مورد توجه قرار گرفت. محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی و منطقه‌های ساخته‌شده 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:** نتایج به نقشه کاربری زمین‌ها و پوشش زمین (CLUL)، 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 ساخته‌شده 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 IVDN و IVAS خطی نبوده و بر اساس برازش معادلات آماری در هر وضعیت، عامل‌های دیگری در کاهش یا افزایش TSL نقش دارند. در نمودار تابع چگالی نرمال، تغییرهای شاخص IVDN 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

\*Corresponding Author: Email Address: ma\_ahmadi@sbu.ac.ir

افزایش یافته است. در تحقیق حاضر و با بررسی تهران و اقمار، کاهش میزان TSL 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 IVDN یعنی سطح‌های بدون پوشش گیاهی را به خود اختصاص داده است.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به بررسی شاخص‌های IVDN، IVAS و IBDN، 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

در ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی بازی می‌کند. بلحاظ 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 اسکنر چند طیفی (MSS)، نقشه‌بردار موضوعی (TM) و نقشه‌بردار موضوعی پیشرفته (ETM+) داده‌های تصویرهای ماهواره‌ای را فراهم می‌کند که در تشخیص تغییرات 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<sup>۱</sup> (NDVI) برای تخمین بهره‌وری در نواحی نیمه‌خشک (Chen et al. 2004؛ Weng et al. 2004) و بعنوان پارامتر نمایشگر جزایر حرارتی شهری سطحی<sup>۲</sup> (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<sup>۳</sup> (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

آشکارسازی تغییر، فرایندی 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 تغییرات پوشش زمین برای ارزیابی وضعیت و تحول اکوسیستم‌هایی مانند محصول‌های جنگلی (Zhu et al. 2012؛ Cohen et al. 2010)، رفتار یخچال‌ها (Bolch, 2007؛ Junfeng et al. 2017)، توسعه شهری (Yang et al. 2003؛ Song et al. 2016)، 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 تغییرات محیطی شهری یا طبیعی (Kennedy؛ Liu and Cai, 2012؛ Dewi et al., 2016) 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 تغییرات 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 غیرقابل‌پیش‌بینی و ناگهانی بارش (Fensham et al., 2005) و چرا (Rahlao and Hoffman, 2008) دچار تغییر می‌شود. تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه نقش مهمی

۵۰° تا ۳۶° ۵۱' طول شرقی و ۳۵° ۲۳' تا ۳۵° ۴۹' عرض شمالی است. مجموع مساحت منطقه مورد مطالعه ۱۶۰۷۸۹/۷ 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.ir, 2018) بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن- گایگر، منطقه مورد مطالعه بعنوان منطقه نیمه‌خشک<sup>۶</sup> طبقه‌بندی می‌شود. شکل (۱) موقعیت و محدوده منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد.

توجه به رشد بی‌رویه جمعیت و ساخت‌وساز در آن‌ها بشدت وجود دارد. در تحقیق حاضر بمنظور بررسی و آشکارسازی تغییرات زمانی-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<sup>۴</sup> (SAVI) و شاخص تفاضل نرمال شده منطقه‌های مسکونی<sup>۵</sup> (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 تهران و برخی شهرستان‌های اطراف آن با مختصات ۵۷

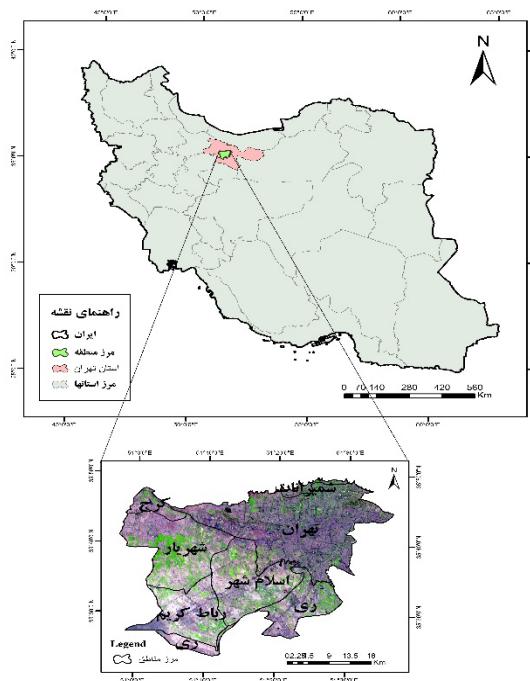


Fig. -۱ Geographical map of Ilam province, Iran

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

earthexplorer.usgs.gov با سیستم تصویر WGS-۱۹۸۴ zone N 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 آسمان صاف<sup>۷</sup> می‌باشد. برای ارزیابی صحت داده‌های دمای سطح زمین، از

## داده‌ها

استخراج و آماده‌سازی داده‌های تصویرها از طریق سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ و انتخاب ماه ژوئن بعنوان گرم‌ترین ماه منطقه مورد مطالعه می‌باشد. این تصویرها با مسیر ۱۶۴ و ردیف ۳۵ از سامانه سازمان زمین‌شناسی آمریکا به نشانی <http://>

داده‌های ۶ ایستگاه هواشناسی شامل مهرآباد، دوشان تپه، شهریار، ژئوفیزیک، فرودگاه امام و چیتگر استفاده شد.

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

### روش‌شناسی

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 گیاهی (پارکها، فضای سبز و جنگل)، منطقه‌های ساخته‌شده، آب و دیگر عوارض (منطقه‌های بایر و مزرعه‌ها) که به نمونه تعلیمی اختصاص یافت، نقشه‌های کاربری زمینها-پوشش زمین<sup>۸</sup> (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 ساخته‌شده: 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):  
در فرمول (۱) متغیر مقدار رادیانس طیفی بوده و در فرمول

(الف) انتخاب روزهای مورد بررسی و انجام تصحیحات: بمنظور بررسی تغییرات پوشش گیاهی در شهر تهران و اقمار آن، ابتدا ماه ژوئن بعنوان گرم‌ترین ماه منطقه برگزیده و تصویرهای ماهواره‌ای بر این مبنا استخراج شد. از آنجایی که تصویرهای دانلود شده از جنبه هندسی هم مختصات (Co-register) هستند، بنابراین تنها تصحیحات 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

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

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

و (Zha, Gao, 2003) NDBI از طریق فرمول‌های زیر محاسبه شد:

(۲) مقدار رفلکتانس بالای جو می‌باشد. سه شاخص NDVI (Rouse et al. 1973), SAVIHuete, 1988,

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، شهرری، 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 شاخص NDBI می‌باشد نشان داده شد.

### نتایج و بحث

نتایج بر اساس داده‌های موجود در دو فرایند 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

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

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

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

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

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

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 ۲۷۳/۱۵ کسر نمود تا دمای سطح زمین به سلسیوس به‌دست 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 ۰/۸ برای سنجنده ETM+ در ماه ژوئن، نشان داد که داده‌ها از دقت بالایی برخوردار هستند.

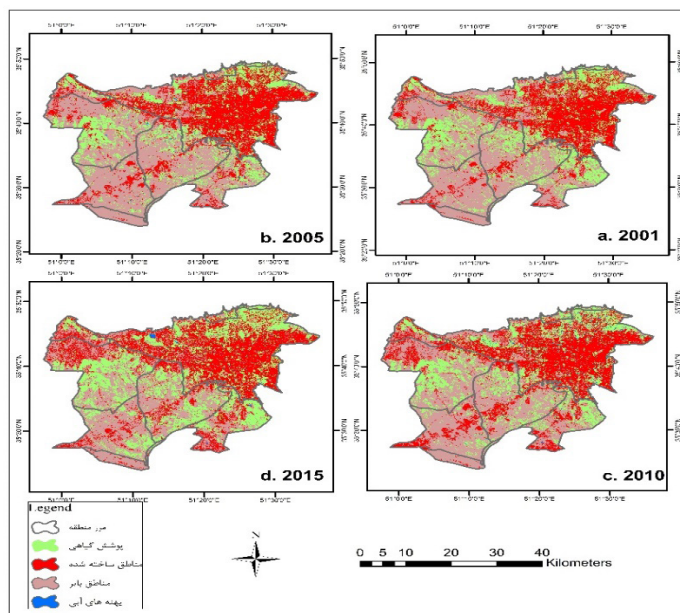
و) ترسیم نمودار درصد مساحت هر شاخص و نیز ترسیم نمودار پراکنش: با داشتن مقادیر پیکسل نقشه‌های NDVI، SAVI و NDBI، نمودار درصد مساحت هر یک از شاخص‌ها طی دوره زمانی ۱۵ ساله ترسیم شد. دو شاخص NDVI و SAVI شامل سه کلاس هستند که مقادیر کمتر از ۰/۱ (مناطق فاقد پوشش گیاهی)، ۰/۲ تا ۰/۵ (مناطق با پوشش گیاهی کم تراکم) و مقادیر بیشتر از ۰/۶ (مناطق با پوشش گیاهی متراکم) می‌باشند (usgs.gov, 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

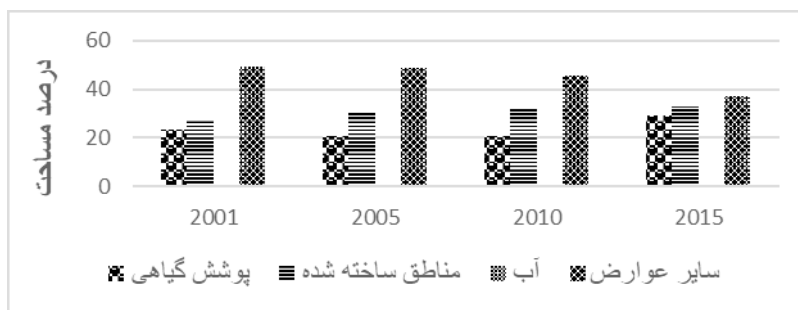
و اقمار آن، درصد مساحت دیگر عوارض کاهش یافته است. تحلیل دیگری که می‌توان در این رابطه انجام داد، بررسی سال به سال تغییرات پوشش گیاهی می‌باشد.

با توجه به کلاس پوشش گیاهی که در ترسیم نقشه‌های LULC منطقه معرفی شد و نیز برای بررسی دقیق این عارضه، از سه شاخص NDVI (شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی)، SAVI (شاخص پوشش گیاهی تعدیل‌کننده اثر خاک) و NDBI (شاخص تفاضل نرمال شده منطقه های ساخته‌شده) استفاده شد. مطابق شکل (۴) درصد مساحت در کلاس اول روبه کاهش و در دو کلاس دوم و سوم روبه افزایش است. اما این روند در هیچ‌کدام از کلاس‌ها از نظر آماری معنی‌دار نیست. سال

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 و 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 اقمار آن در برنامه‌ریزی منطقه‌ای شهر و افزایش پوشش گیاهی و فضای سبز اشاره کرد. درصد نواحی ساخته‌شده در سال‌های مورد مطالعه همواره روبه افزایش بوده است. میزان مساحتی که عوارض آبی به خود اختصاص داده‌اند در سال ۲۰۱۰ به میزان قابل‌توجهی افزایش یافته ولی پس از آن و در نقشه سال ۲۰۱۵ مجدداً کاهش یافته است. با توجه به افزایش پوشش گیاهی و نواحی ساخته‌شده شهر تهران



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

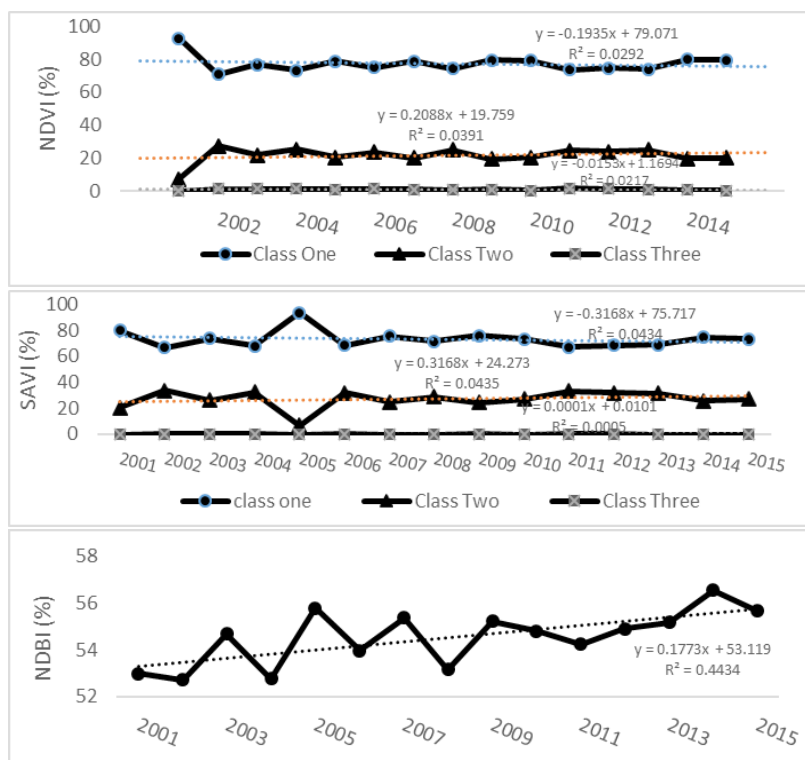


شکل ۳- درصد مساحت هر کلاس LULC برای ۴ سال در منطقه مورد مطالعه  
 Fig. 3- The area percentage of LULC classes for four courses in the study area



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 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.

۲۰۰۲ را می‌توان 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 داشته‌اند. 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 می‌شود. همانند شاخص NDVI، در این نمودار 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 شاخص، 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 شاخص 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



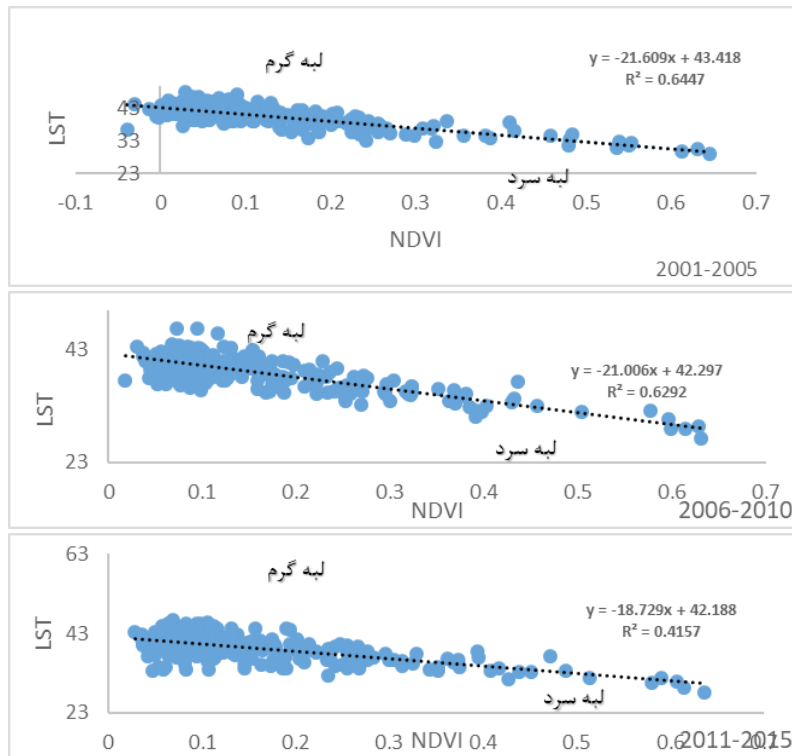
شکل ۴- درصد مساحت هر کلاس NDVI و SAVI طی دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ در منطقه مورد مطالعه  
Fig. 4- The area percentage of NDVI and SAVI classes, from 2001 to 2015 in the study area

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 شاخص‌های 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 شاخص‌های NDVI، SAVI و NDBI، در هر دوره نسبت به دوره دیگر داشته‌اند و اینکه در توزیع آن‌ها به لحاظ آماری چه تغییری ایجادشده، 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 (Babaeian *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 اقمرا)، 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 شاخص 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

برای بررسی رابطه LST و پوشش گیاهی مطالعات متعددی توسط محققان مانند Carlson *et al.* (1995)؛ Traci (2000)؛ Li *et al.* (2011)؛ Gillies *et al.* (1997)؛ Carlson و Arthur انجام شده است. بنابراین تلاش گردید این رابطه بین LST و شاخص‌های NDVI و SAVI طی سه دوره ۵ ساله نشان داده شود. در شکل (۵) نقطه‌های بر روی نمودار، محل تلاقی پیکسل‌های دمای سطحی و شاخص NDVI می‌باشد. یال گرم 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 اثرات 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 و Hope 1989)؛ (Price 1990)؛ Carlson و Gillies پیشنهاد دادند که شکل مثلثی 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





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

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 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 شاخص NDBI محدوده‌های 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.

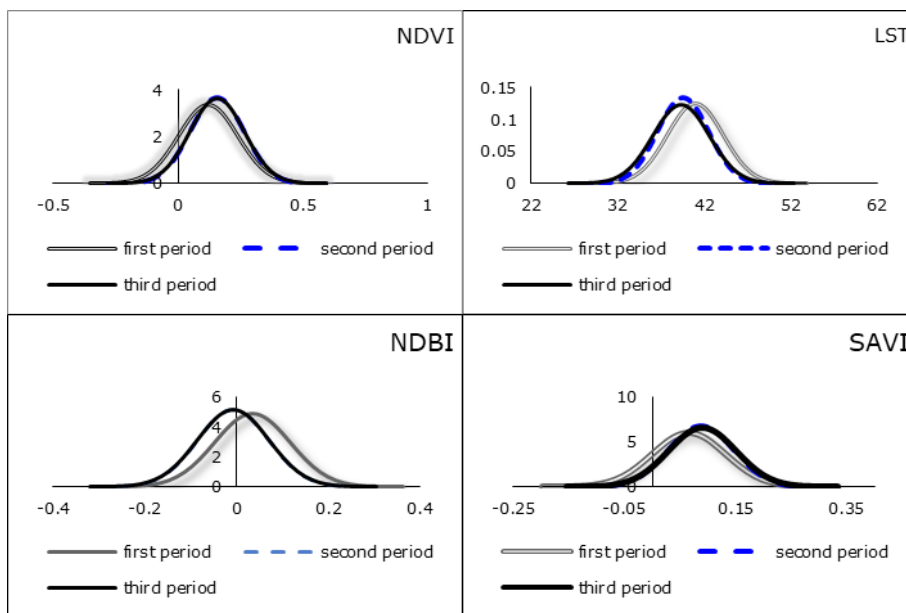
#### دگرگونی مکانی

از جنبه مکانی و مطابق بررسی‌های انجام‌شده، برای ۷ شهرستان منطقه مورد مطالعه بطور جداگانه نمودارهایی

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 شاخص NDBI (شاخص 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.

#### 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



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

نظر درصد مساحت نواحی ساخته شده (شاخص NDBI) تهران بیشترین درصد را به خود اختصاص داد، بطوری که در سال های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۹ دارای نیمی از مجموع مساحت عوارض در منطقه مورد مطالعه بود. در میان شهرستان های مورد بررسی، کرج و شمیرانات کمترین درصد نواحی ساخته شده را دارند که البته بخشی از شهرستان کرج در منطقه مورد مطالعه بررسی شده است.

### تحلیل منطقه‌ای دگرگونی مکانی پوشش گیاهی

جدول های (۲) و (۳) به ترتیب معادله خط و مقدار  $R^2$  نمودارهای ترسیم شده بخش قبل را نشان می‌دهد. در جدول (۲) شاخص های NDVI و SAVI هر دو پوشش گیاهی را در منطقه نشان می‌دهند ولی شاخص SAVI بدلیل حذف اثر های خاک در تحلیل از اعتبار بیشتری برخوردار است. شهرستان های کرج، ری و اسلامشهر افزایش سطح های بدون پوشش گیاهی و کاهش سطح های پوشش گیاهی را نشان می‌دهند. در شهرستان ری مقادیر بالای در  $R^2$  کلاس یک و دو شاخص SAVI بیانگر دقت بالای برآورد می‌باشد. در شمیرانات و شهریار روند افزایش سطح های بدون پوشش گیاهی و با پوشش گیاهی کم تراکم هر دو صعودی است ولی از دقت زیادی برخوردار نمی‌باشد. شهرستان رباط کریم و تهران روند کاهش سطح

برای شاخص های 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 شهرستان های منطقه مورد مطالعه دارد که در سال ۲۰۰۲ تا حدود ۳۶ درصد را از آن خود کرد. کمترین درصد سطح های پوشش گیاهی مربوط به شهرستان های کرج و شمیرانات است. در کلاس سه شهرستان شهریار بیشترین درصد مساحت پوشش گیاهی متراکم را داراست. بیشترین سطح کلاس یک شاخص SAVI یعنی سطح های بدون پوشش گیاهی متعلق به تهران می‌باشد. در اینجا نیز کمترین درصد سطح های 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 سال های اخیر تهران از آن‌ها پیشی گرفته است. بیشترین سطح پوشش گیاهی متراکم در این شاخص و در میان شهرستان های منطقه مورد مطالعه مربوط به اسلامشهر می‌باشد که البته در دوره آماری افت و خیزهای زیادی نیز داشته است. در این شاخص شمیرانات و تهران بدون پوشش گیاهی متراکم بوده‌اند. از

نواحی ساخته شده در شهرستان های شمیرانات، تهران، شهریار و رباط کریم روند صعودی دارد که البته مقادیر  $R^2$  در تهران و شهریار بسیار کم است. روند منفی شهرستان های دیگر به معنی نبود ساخت و ساز در آن ها نیست، بلکه در مقایسه با سرعت ساخت و ساز و مساحت نواحی ساخته شده که برخی شهرستان ها در کل منطقه مورد مطالعه به خود اختصاص می دهند، این شهرستان ها روند کندتری را در این رابطه طی می کنند و درصد

های بدون پوشش گیاهی و افزایش پوشش گیاهی کم تراکم را طی می کنند که افزایش سطح پوشش گیاهی در کلاس دو شاخص SAVI بیانگر این است که برآورد افزایش پوشش گیاهی در هر دو مکان از دقت بالایی برخوردار است. روند افزایشی پوشش گیاهی در منطقه، بدلیل مساحت بیشتر شهرستان های تهران و رباط کریم نسبت به کل مساحت منطقه می باشد و در نتایج نهایی نمود بیشتری می یابد. درصد سطوح

جدول ۲- معادله خط برای نمودارهای درصد مساحت سه کلاس شاخص 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

مناطق regions	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	$y = 0.0714x + 11.802$	$y = -0.2162x + 15.865$	$y = -0.33x + 9.2597$	$y = 0.0711x + 11.63$	$y = -0.2314x + 16.101$	$y = -0.8272x + 10.694$	$y = -0.0672x + 12.09$
رباط کریم Robot 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 شاخص 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

مناطق Regions	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
رباط کریم Robot karim	0.1964	0.343	0.7415	0.2542	0.7055	0.0196	0.3281

نواحی ساخته شده در رابطه با عوارض دیگر محاسبه می شود. نتایج گیری این پژوهش نشان داد با توجه به بررسی شاخص های NDVI، SAVI و NDBI، روند کلی مساحت پوشش گیاهی در کلان شهر تهران در حال افزایش است. با توجه به ۳ دوره ۵ ساله که در این تحقیق بررسی شد، این امر از دوره دوم (۲۰۱۰-۲۰۰۶) آغاز شده و با وجود فراز و فرود در سال های

نتایج گیری این پژوهش نشان داد با توجه به بررسی شاخص های

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 دو شاخص پوشش گیاهی و یک شاخص منطقه های مسکونی انجام شده است. از سوی دیگر نتایج تحقیق های 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 مشکل هایی که پیرو آن در بخش های انرژی، محیطی زیستی، سلامتی و غیره ایجاد خواهد شد، لازم است از روش های مقرون به صرفه و کارآمد برای کاهش دمای سطحی از جمله افزایش سطح های 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.

#### پی نوشت:

<sup>1</sup> Normal Difference Vegetation Index (NDVI)

<sup>2</sup> Surface Urban Heat Island

<sup>3</sup> Land Surface Temperature (LST)

<sup>4</sup> Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)

<sup>5</sup> Normalized Difference Built-up Index (NDBI)

<sup>6</sup> Bsk

<sup>7</sup> Clear Sky

<sup>8</sup> Land Use-Land Cover (LULC)

مختلف روند صعودی را طی کرده است. نواحی ساخته شده 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 مطالعه در سال های اخیر روند نزولی دارد که یکی از دلیل های آن می‌تواند افزایش سطح پوشش گیاهی ولی این رابطه در منطقه غیر خطی است که بیانگر وجود عواملی دیگر در کاهش دمای سطحی همچون کاهش سطوح زمین های بایر می‌باشد. با در نظر گرفتن مقادیر  $R^2$ ، پوشش گیاهی در شهرستان ری در حال نابودی می‌باشد. شهرستان های رباط کریم و تهران از این جهت وضعیت مناسبی دارند و با وجود افزایش سطح نواحی ساخته شده در این شهرستان ها، سطوح پوشش گیاهی در حال افزایش است. رشد افسار گسیخته شهرک های اقماری در استان تهران موجب تخصیص زمین های بایر و مزرعه ها و پوشش گیاهی به نواحی ساختمانی و مسکونی شده است که این امر جزایر حرارتی و شرایط نامساعد زندگی را تشدید می‌کند. تحقیقاتی که تا کنون بر روی پوشش گیاهی تهران صورت گرفته بطور عمده بصورت محدود و در قالب شهر یا منطقه هایی 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

#### 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., 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., Pirašteh S.,

2012. Land surface temperature assessment in semi-arid residential area of Tehran, Iran using Landsat imagery, 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, MK., Arašteh PD, 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 Soci-*

- ety. 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., 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., 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., Kato, K., 2004. Estimation of interannual variation in productivity of global vegetation using NDVI data, *International Journal of Remote Sensing*, 25, 3139-59.
- Cohen, W.B., Yang, Z., 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., Belward A., 2000. Global and regional land cover characterization from satellite data: An introduction to the Special Issue, *int. j. remote sensing*, 21, 1083–1092.
- Dewi, R., Bijker, W., Stein, A., Aris Marfai, M., 2016. Fuzzy classification for shoreline change monitoring in a part of the northern coastal area of java, Indonesia. *MDPI AG*, 190. doi: MDPI AG.
- Farina, A., 2012. Exploring the relationship between land surface temperature and vegetation abundance for urban heat island mitigation in Seville, Spain. *LUMA-GIS Thesis*.
- Fensham, R. J., Fairfax, R. J., 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., 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., 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., 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., 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, AR. 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>
- Ismaeil 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., 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., 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., 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 (IJASEAT)*, 4, 71-73.
- Li, J., Song, C., Cao, L., Zhu, F., Meng, X., 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., 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., 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).
- Rahlao, S.J., 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., 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., Deering, D.W., 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings of the Third ERTS Symposium*, Washington DC.
- 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., 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. 61-73.
- Schroeder, T.A., Wulder, M.A., Healey, S.P., 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.
- 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., Townshend, J., 2016. Characterizing the magnitude, timing and duration of urban growth from time series of Landsat-based estimates of impervious cover. *Elsevier BV*, 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*. 2016; 18 (Special Note No. 3 Design and Admin-

istration): 335-344. (In Persian with English abstract)

Tayyebi, A., Shafizadeh-Moghadam, H., 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., 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., Melillo, J.M., 1977. Human domination of earth ecosystems. *Science*. 277, 494.

Weng, Q., Lu, D., 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., 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., 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., 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., 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., Olofsson, P., 2012. Continuous monitoring of forest disturbance using all available Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*. 122, 75-91.





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

Mahmoud Ahmadi<sup>1\*</sup>, Zahra Alibakhshi<sup>1</sup>, Manouchehr Farajzade Asl<sup>1</sup>

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

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 method:** 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 continued in 2010 and 2015. In this study, the relationships between surface temperature and NDVI and SAVI

\*Corresponding Author: *Email Address*.ma\_ahmadi@sbu.ac.ir

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.

