



## بررسی روند پویایی پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست در کلانشهر تهران

زینب نجفی<sup>۱</sup>، علی اصغر درویش‌صفت<sup>۲\*</sup>، پرویز فاتحی<sup>۳</sup> و پدram عطارد<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی جنگل، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران  
<sup>۲</sup> استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران  
<sup>۳</sup> استادیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۰۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۷)

### چکیده

مطالعه روند تغییرات پوشش‌های گیاهی شهری با توجه به عملکردهای مختلف محیط زیستی، اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی آنها به‌منظور مدیریت پایدار شهرها ضروری است. در این پژوهش به بررسی روند تغییرات سبزیگی پوشش گیاهی کلانشهر تهران با استفاده از شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) حاصل از داده‌های ماهواره‌ی لندست‌های ۵ و ۸ در زمان حداکثر سبزیگی پوشش گیاهی با به‌کارگیری روش‌های پارامتری (رگرسیون حداقل مربعات) و ناپارامتری (تیل-سن و من-کندال) طی دوره ۱۳۸۷-۱۳۹۸ پرداخته شده است. به‌دلیل موجود نبودن داده‌های لندست برای سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱، از محصول MOD13Q1 NDVI به‌عنوان داده جایگزین استفاده شد. همچنین مشخصه‌های اقلیمی از داده‌های چهار ایستگاه هواشناسی سینوپتیک شهر تهران استخراج شد. رابطه میان تغییرات NDVI و مشخصه‌های اقلیمی میانگین دما و مجموع بارش یک ماه قبل و یک سال قبل از تاریخ حداکثر NDVI بررسی شد. نتایج بررسی روند تغییرات NDVI حاکی از روند افزایشی جزئی پوشش گیاهی کلانشهر تهران بود، اما آزمون من-کندال نشان داد که روند مثبت مشاهده‌شده معنی‌دار نیست ( $\alpha = 0.05$ ). بررسی روندها به تفکیک در مناطق ۲۲گانه تهران نیز نشان داد که در پنج منطقه روند معنی‌دار کاهشی وجود دارد و در بقیه مناطق روند معنی‌دار مشاهده نشد. تحلیل همبستگی میان تغییرات NDVI و داده‌های اقلیمی دما و بارش به‌ترتیب همبستگی منفی و مثبت نشان داد. ارزش‌های NDVI و داده‌های اقلیمی یک ماه قبل، همبستگی بیشتری از داده‌های اقلیمی یک سال قبل داشت.

واژه‌های کلیدی: پوشش گیاهی شهری، تغییرات سبزیگی، روند، سری زمانی، من-کندال

### مقدمه

اختلال ایجاد کند. از این‌رو مطالعه پویایی پوشش گیاهی در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی امروزه به یکی از مباحث مهم محیط زیستی تبدیل شده است (Rannow & Neubert, 2014). در این میان بررسی تغییرات پوشش‌های گیاهی شهری با توجه به عملکردهای مختلف محیط زیستی، اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی آنها به‌منظور مدیریت پایدار

پوشش‌های گیاهی همانند دیگر اجزای اکوسیستم تحت تأثیر متقابل با عوامل زیستی (جانوران، انسان و گیاهان) و غیرزیستی (اتمسفر، اقلیم، توپوگرافی و خاک) محیط اطراف خود در طول زمان دارای تغییرند (de Jong et al., 2012). تغییرات پوشش گیاهی ممکن است در شرایط و عملکرد اکوسیستم‌ها

سبز، شاخص سطح برگ و الگوهای فنولوژیکی از آن استفاده کرده‌اند. براساس نتایج به‌دست‌آمده، رابطه میان NDVI و تولیدات گیاهی به‌خوبی اثبات شده است، زیرا ساختار مزوفیلی برگ‌های سبز سالم به‌شدت سبب بازتاب در طول موج NIR شده و کلروفیل و رنگدانه‌های دیگر سبب جذب زیاد در طول موج قرمز می‌شوند. این شاخص قادر به حذف بخش بزرگی از نویزهای ناشی از تغییر زاویه خورشیدی، توپوگرافی، ابرها یا سایه‌ها و شرایط اتمسفری است؛ اما در مواردی که پوشش گیاهی ناچیز باشد، شاخص NDVI به زمینه خاک حساس است (Matsushita et al., 2007). همچنین در پوشش‌های گیاهی خیلی متراکم مانند جنگل‌های گرمسیری می‌تواند اشباع شود و در واقع ارزش‌های واقعی را نشان ندهد (Gu et al., 2013). با ایجاد یک سری زمانی از شاخص NDVI و بررسی آن می‌توان به روند تغییرات فعالیت پوشش گیاهی دست یافت. تغییرات مثبت در این شاخص به‌عنوان روند افزایش سبزی‌نگی (Greening) و تغییرات منفی نشان‌دهنده روند کاهش سبزی‌نگی پوشش گیاهی (Browning) است (de Jong et al., 2012). تاکنون سری‌های زمانی NDVI متعددی براساس داده‌های سنجنده‌های مختلف تهیه شده که در مطالعاتی مانند مطالعات جهانی پاسخ پوشش گیاهی به تغییر اقلیم، مطالعه فنولوژی پوشش گیاهی و پیش‌بینی محصول استفاده شده‌اند که از مهم‌ترین آنها می‌توان به مجموعه داده‌های NDVI سنجنده MODIS<sup>۱</sup> ماهواره‌های Terra با اندازه تفکیک مکانی ۲۵۰ متر و تفکیک زمانی شانزده‌روزه، داده‌های NDVI سنجنده Vegetation ماهواره SPOT<sup>۲</sup> با اندازه تفکیک مکانی یک کیلومتر و تفکیک زمانی ده‌روزه و مجموعه داده‌های NDVI برپایه تصاویر سنجنده AVHRR<sup>۴</sup> ماهواره NOAA<sup>۵</sup> با اندازه تفکیک زمانی چهارده‌روزه و

شهرها ضرورت دارد. در طول تاریخ، اقلیم کره زمین همواره در حال تغییر بوده، اما با شروع انقلاب صنعتی و به‌واسطه افزایش استفاده از سوخت‌های فسیلی و جنگل‌زدایی این تغییرات فزاینده بوده است (Cutforth et al., 1999). افزون‌بر این، توسعه شهرنشینی و ایجاد کلانشهرها موجب تغییرات کاربری، ایجاد فضاهای سبز شهری و آبیاری آنها شده که تغییرات زیادی را در اکوسیستم‌های مناطق به‌همراه داشته است. شواهد آشکاری درباره وجود رابطه نزدیک میان تغییرات پوشش‌های گیاهی و تغییرات اقلیمی گزارش شده است (Zhong et al., 2010). بر این اساس نشان دادن پویایی پوشش گیاهی و تجزیه و تحلیل رابطه آنها با تغییرات اقلیمی، اهمیت خاصی در پژوهش‌های مربوط به تغییرات جهانی اکوسیستم یافته است (Pettorelli et al., 2005).

بررسی تغییرات پوشش گیاهی با روش‌های سنتی با توجه به وسعت زیاد و محدودیت دسترسی، به‌طور معمول زمان‌بر بوده و مستلزم هزینه‌های بسیار است. همچنین نبود اطلاعات مکان‌دار دقیق پوشش گیاهی از گذشته و مشکلات تهیه مستمر آن سبب شده است تا متخصصان در پی یافتن روش‌های سریع، دقیق و مقرون به صرفه‌تر باشند. فناوری استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای ممکن است بر روش‌های دیگر برتری داشته باشد (Aronoff, 2005). به‌منظور بارزسازی اطلاعات مربوط به پوشش گیاهی با نسبت‌گیری بازتاب در طول موج‌های قرمز و مادون قرمز نزدیک شاخص‌هایی تعریف و محاسبه می‌شود. شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده<sup>۱</sup> (NDVI) از مهم‌ترین این شاخص‌هاست که ارتباط نزدیکی با مقدار پوشش گیاهی و ظرفیت فتوسنتزی دارد. بنابراین هر گونه تغییر در این شاخص نشان‌دهنده تغییر در فعالیت سبزی‌نگی (Greenness) پوشش گیاهی خواهد بود (Pettorelli et al., 2005). NDVI نشانگر خوبی از توانایی پوشش گیاهی در جذب تابش فعال فتوسنتزی است و محققان به‌طور گسترده برای تخمین زیتوده

1. Normalized Difference Vegetation Index
2. Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer
3. Satellite Pour l'Observation de la Terre
4. Advanced Very High Resolution Radiometer
5. National Oceanic & Atmospheric Administration

این‌رو توجه به کاربری پوشش گیاهی و تأثیر انکارناپذیر آن بر سلامت جسمی، روانی و اجتماعی شهروندان بیش از پیش ضروری است. در مطالعه‌های گذشته تنها به بررسی تغییرات سطح پوشش گیاهی در تعدادی از مناطق شهر تهران به‌صورت موردی پرداخته شده است که از آن جمله می‌توان به پژوهش Soroudi & Jozi و Jozi & Nikourazm (2015) (2011) اشاره کرد. اما تاکنون به تغییرات پوشش گیاهی به‌لحاظ مقدار سبزیگی و بدون در نظر گرفتن مساحت آنها توجه قرار نشده است. بنابراین بررسی مقدار کل سبزیگی پوشش گیاهی و بررسی روند تغییرات آن در طی زمان به‌منظور دستیابی به اطلاعات پایه‌ای برای مدیریت پایدار شهری موضوعی حیاتی است. ممکن است شرایط اکولوژیکی و مدیریتی در هر یک از مناطق ۲۲گانه کلانشهر تهران با یکدیگر متفاوت باشد و این تفاوت‌ها به تفاوت در روند تغییرات پوشش گیاهی آنها منجر شود. بر این اساس هدف اصلی تحقیق، تحلیل روند حداکثر میانگین NDVI در سطح کلانشهر تهران و همچنین به تفکیک در مناطق ۲۲گانه آن در طی دوره ۱۳۹۸-۱۳۸۷ بوده است. همچنین همبستگی میان حداکثر میانگین NDVI و پارامترهای اقلیمی دما و بارش نیز بررسی شدند.

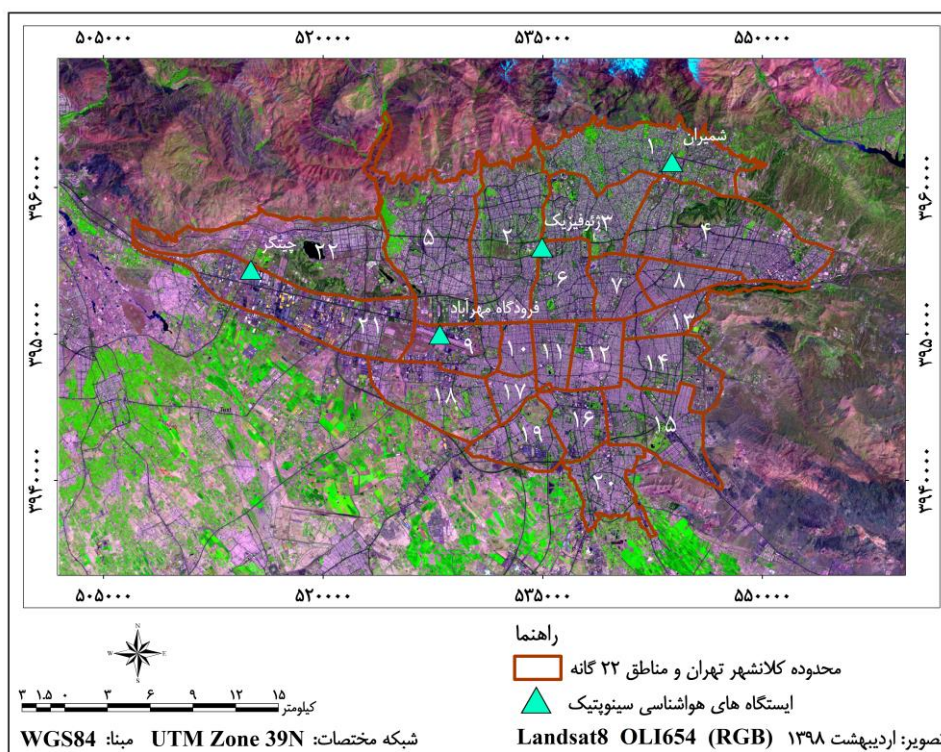
## مواد و روش‌ها

### منطقه پژوهش

کلانشهر تهران با مساحت حدود ۸۰۰ کیلومتر مربع در دامنه جنوبی رشته‌کوه البرز قرار گرفته است (شکل ۱) که از نظر سیاسی به ۲۲ منطقه و ۱۱۵ ناحیه تقسیم می‌شود (Tehran Municipality Information and Communication Technology Organization, 2018). فراوانی جمعیت، ترافیک سنگین درون‌شهری و دیگر فعالیت‌های انسانی مانند کارخانه‌ها و مراکز صنعتی سبب شده‌اند که شهر تهران به‌عنوان یکی از آلوده‌ترین شهرهای جهان محسوب شده و از نظر محیط زیستی نگرانی‌های زیادی به‌همراه داشته باشد.

تفکیک مکانی هشت کیلومتر اشاره کرد که اطلاعات مفیدی را برای بررسی تغییرات روند طولانی‌مدت پوشش گیاهی در مقیاس‌های مکانی بزرگ مانند قاره‌ها فراهم می‌کنند (de Jong et al., 2012). اما با توجه به اندازه تفکیک مکانی بزرگ آنها، کارایی این داده‌ها در مناطق کوچک و ناهمگن مانند شهرها اندک است (Zhu et al., 2016). سری ماهواره‌های لندست از سال ۱۹۷۲ تا حال حاضر (۲۰۲۰) طولانی‌ترین بایگانی تاریخی از تصاویر سنجنش از دوری را به‌صورت رایگان ارائه می‌دهند. این داده‌ها با وضوح مکانی به‌نسبت خوب ۳۰ متری (از لندست ۴ به بعد) با فواصل زمانی شانزده‌روزه در اختیار هستند که در پژوهش‌های مختلفی مانند پایش تغییرات زیست‌محیطی، پایش جنگل‌ها و فعالیت‌های کشاورزی استفاده می‌شوند (Nasiri & Darvishsefat, 2018). در سال‌های اخیر تحقیقات متعددی در زمینه بررسی پویایی پوشش گیاهی با استفاده از سری‌های زمانی NDVI تصاویر ماهواره‌ای و رابطه آن با مشخصه‌های اقلیمی به‌عنوان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر تغییرات پوشش گیاهی انجام گرفته که بیشتر در مقیاس‌های کلان انجام گرفته‌اند. از تحقیقات داخلی می‌توان پژوهش Kiapasha et al. (2017) در جنگل‌های هیرکانی و Masihpour et al. (2019) در جنگل‌های زاگرس را نام برد. در هر دو تحقیق به روند افزایش تدریجی و اندک سبزشدگی پوشش گیاهی اشاره شده است. روند تغییرات پوشش گیاهی در دیگر نقاط جهان نیز بررسی شده است که در بیشتر این تحقیقات روند افزایش فعالیت پوشش گیاهی گزارش شده است (Sun et al., 2015; Yin et al., 2016; Chu et al., 2019).

کلانشهر تهران به‌دلیل موقعیت سیاسی خود به‌عنوان پایتخت کشور و داشتن امکانات و ارائه خدمات ویژه، با رشد بی‌رویه جمعیت و مشکلات ناشی از آن در طی سال‌های اخیر مواجه بوده است. از



شکل ۱- موقعیت منطقه پژوهش (کلانشهر تهران و مناطق ۲۲ گانه آن) در تصویر ماهواره‌ای سنجنده OLI لندست ۸

### شیوه اجرای پژوهش

تصاویر چندطیفی با سطح تصحیحات استاندارد یک (L1) سنجنده OLI لندست ۸ و سنجنده TM لندست ۵ به شماره گذر ۱۶۴ و ردیف ۳۵ مربوط به تاریخ‌هایی که احتمال وجود حداکثر مقدار سبزی‌نگی پوشش گیاهی وجود دارد (نیمه دوم فروردین - نیمه اول تیر) در طی دوره زمانی ۱۳۸۷-۱۳۹۸ از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS)<sup>۱</sup> و در مجموع به تعداد ۳۱ تصویر دریافت شدند. در انتخاب تصاویر سعی شد که تصاویر بدون ابر یا با حداکثر پوشش ابر ۱۰ درصد باشند.

هیچ تصویری از لندست ۵ برای سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ از منطقه در سایت یادشده موجود نبود و تصاویر لندست ۷ نیز در تاریخ‌های مذکور دارای خطای SLC<sup>۱</sup> بودند. بنابراین در این تاریخ‌ها از داده‌های NDVI نسخه شش محصول MOD13Q1 سنجنده MODIS ماهواره Terra استفاده شد. این

تصاویر در سیستم تصویر سینوسی<sup>۳</sup>، که در آن کره زمین به ۴۶۰ بخش ده‌درجه‌ای تقسیم شده، به‌عنوان یک محصول سطح سه از آرشیو سازمان ناسا با تفکیک مکانی ۲۵۰ متر و ترکیب زمانی شانزده‌روزه قابل تهیه هستند. داده‌های محصول MOD13Q1 به جهت به حداقل رساندن تأثیرات ابرها، اتمسفر و زاویه تابش خورشیدی با استفاده از روش حداکثر ارزش‌های ترکیبی<sup>۴</sup> (MVC) از تصاویر روزانه تهیه می‌شوند (Zewdie et al., 2017).

داده‌های اقلیمی دما و بارش روزانه و ماهانه چهار ایستگاه هواشناسی سینوپتیک (فرودگاه مهرآباد، چیتگر، شمیران و ژئوفیزیک) در کلانشهر تهران در طی دوره ۱۳۸۷-۱۳۹۸ نیز از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد.

1. United States Geological Survey  
 2. Scan Line Corrector  
 3. Sinusoidal  
 4. Maximum Value Composite

پیکسل، تاریخ و ساعت تصویربرداری که از متادیتای تصویر در دسترس اند برای برآورد موقعیت خورشید نسبت به سطح زمین استفاده شد. برای تخمین مقدار بخار آب از مدل اتمسفری MLS<sup>۱</sup> استفاده شد و برآورد مقدار آئروسول با به کارگیری مدل urban با قابلیت دید ۴۰ کیلومتر انجام گرفت.

### روش تحلیل

**بررسی همبستگی داده‌های MODIS و لندست**  
به منظور استفاده از داده‌های MODIS-NDVI به عنوان داده مکمل لندست، باید این داده‌ها سازگار شوند، چراکه طول موج و حساسیت باندهای طیفی، اندازه تفکیک مکانی و زمانی و دیگر ویژگی‌های سنجنده‌ها متفاوت است. بدین منظور همبستگی بین داده‌های NDVI حاصل از تصاویر لندست و NDVI محصول MOD13Q1 در تاریخ‌هایی که دو داده کمترین فاصله زمانی را داشتند بررسی شدند (جدول ۱). مدل خطی حاصل روی داده‌های NDVI تصاویر MODIS اجرا و داده‌های NDVI برای زمان‌های مورد نظر شبیه‌سازی شدند.

### محاسبه شاخص گیاهی NDVI

شاخص NDVI با استفاده از باندهای چهار (قرمز) و پنج (مادون قرمز نزدیک) سنجنده OLI لندست ۸ در طی دوره ۱۳۹۸-۱۳۹۲ و باندهای سه (قرمز، Red) و چهار (مادون قرمز نزدیک، NIR) سنجنده TM لندست ۵ در دوره ۱۳۸۹-۱۳۸۷ با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد. در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ از شاخص NDVI شبیه‌سازی شده استفاده شد.

$$\text{رابطه ۱} \quad \text{NDVI} = \frac{\text{NIR-Red}}{\text{NIR+Red}}$$

تعیین تاریخ حداکثر سبزی‌نگی پوشش گیاهی در

### هر سال

برای بررسی روند پویایی پوشش گیاهی کلانشهر تهران در طی دوره ۱۳۹۸-۱۳۸۷، پس از تهیه شاخص NDVI، ابتدا میانگین NDVI پیکسل‌های واقع

### پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای

کیفیت هندسی تصاویر ماهواره‌ای با روی هم گذاری لایه راه‌های منطقه استخراج شده از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای و کیفیت رادیومتری تصاویر نیز با نمایش تک‌باندها و ترکیبات رنگی مختلف روی صفحه نمایش بررسی شد. پدیده‌هایی مانند ابر و آب، اثر منفی بر ارزش‌های NDVI دارند. از این‌رو ماسکی از این قسمت‌ها تهیه و روی همه تصاویر اعمال شد. این ماسک که در حدود ۷ درصد منطقه را می‌پوشاند، نواحی ابری و پهنه‌های آبی را در بر می‌گرفت.

### تصحیح اتمسفری

نوع خاصی از خطاهای رادیومتری در اثر جذب و پخش انرژی الکترومغناطیسی تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند ذرات و گازهای موجود در اتمسفر روی می‌دهند. این خطاها سبب تغییر یا از بین رفتن بخشی از اطلاعات می‌شوند. این مسئله به‌ویژه در استفاده از داده‌های ماهواره‌ای چندزمانه باید در نظر گرفته شود (Aronoff, 2005). در این تحقیق از روش تصحیح اتمسفری FLAASH<sup>۱</sup> که از متداول‌ترین روش‌های فیزیک‌مبناست، استفاده شد. این روش بر پایه کد انتقال تابش اتمسفری<sup>۲</sup> MODTRAN<sup>۳</sup> بنا نهاده شده است و محدوده طیف مرئی تا مادون قرمز کوتاه (۲/۵-۴ میکرومتر) را پشتیبانی می‌کند (Rudjord & Trier, 2012). برای اجرای الگوریتم FLAASH ابتدا ارزش‌های رقومی (Digital Number) داده‌های چندطیفی به ارزش‌های رادیانس تبدیل و به‌عنوان ورودی تصحیح اتمسفری به کار گرفته شدند. طول و عرض جغرافیایی منطقه، ارتفاع سنجنده، ارتفاع متوسط منطقه (در این تحقیق ۱۴۰۰ متر)، اندازه

1. Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes
2. Atmospheric Radiative Transfer Code
3. Moderate-Resolution Atmospheric Transmittance and Radiance Code
4. Mid Latitude Summer

نهایت آزمون روند روی ۱۲ تصویر انتخاب شده (بالاترین در هر سال) در طی دوازده سال انجام گرفت.

در کلانشهر تهران در هم G تاریخها محاسبه شد. سپس از میان تصاویر میانگین NDVI تهیه شده هر سال، تصویر دارای بیشترین میانگین NDVI انتخاب شد. در

جدول ۱- تاریخ تصاویر استفاده شده MOD13Q1 و لندست برای بررسی همبستگی

لندست	MODIS
۱۳۸۷/۰۴/۱۰	۱۳۸۷/۰۴/۰۶
۱۳۹۲/۰۲/۲۱	۱۳۹۲/۰۲/۱۹
۱۳۹۵/۰۳/۳۱	۱۳۹۵/۰۴/۰۴
۱۳۹۶/۰۳/۱	۱۳۹۶/۰۳/۰۴
۱۳۹۶/۰۳/۱۷	۱۳۹۶/۰۳/۲۰
۱۳۹۷/۰۴/۵	۱۳۹۷/۰۴/۰۵
۱۳۹۸/۰۳/۲۳	۱۳۹۸/۰۳/۲۰

روش تیل- سن یک روش ناپارامتریک است که به منظور تعیین مقدار شیب روند استفاده می شود. برخلاف روش های پارامتریک، این روش نیازمند شرط توزیع نرمال داده ها نیست و در مورد سری های زمانی کوتاه قابلیت بیشتری نشان داده است (Yang et al., 2019).

در این روش ابتدا شیب هر یک از جفت داده ها ( $Q_k$ ) با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می شود:

$$Q_k = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad k = 1, \dots, N \quad \text{رابطه ۳}$$

در این رابطه،  $x_j$  و  $x_k$  به ترتیب داده های مشاهده ای در زمان های  $j$  و  $k$  بوده و  $j$  یک واحد زمانی بعد از زمان  $k$  است. با محاسبه این رابطه، یک سری زمانی از شیب های محاسبه شده بین هر جفت داده مشاهده ای به دست می آید که از محاسبه میانه این سری زمانی با استفاده از رابطه ۴ شیب خط روند ( $Q_{med}$ ) حاصل می شود. در صورتی که  $Q_{med}$  مثبت باشد، نشان دهنده روند افزایشی و اگر منفی باشد نشان دهنده روند کاهشی است (Zewdie et al., 2017).

$$Q_{med} = \begin{cases} Q_{\lfloor \frac{N+1}{2} \rfloor} & \text{اگر } N \text{ فرد باشد} \\ 1/2(Q_{\lfloor \frac{N}{2} \rfloor} + Q_{\lfloor \frac{N+2}{2} \rfloor}) & \text{اگر } N \text{ زوج باشد} \end{cases} \quad \text{رابطه ۴}$$

### بررسی روند تغییرات درازمدت NDVI

ارزیابی روند تغییرات سبزینگی پوشش گیاهی در سطح کل کلانشهر تهران با استفاده از روش های پارامتری رگرسیونی حداقل مربعات معمولی<sup>۱</sup> (OLS) و ناپارامتری تیل- سن<sup>۲</sup> در طی دوره ۱۳۸۷-۱۳۹۸ انجام گرفت. سپس معنی داری روند با آزمون من- کندال<sup>۳</sup> تجزیه و تحلیل شد. این ارزیابی به تفکیک در مناطق ۲۲ گانه تهران نیز با روش های یاد شده انجام گرفت.

یکی از ساده ترین و متداول ترین روش های تحلیل سری های زمانی، روش رگرسیون خطی حداقل مربعات معمولی (OLS) است.

$$Y = a + bX \quad \text{رابطه ۲}$$

$X$  متغیر مستقل (زمان)،  $Y$  متغیر وابسته (NDVI) است.  $a$  و  $b$  ضرایب رابطه رگرسیونی هستند و به گونه ای محاسبه می شوند که خط برازش شده کمترین فاصله را از پراکنش نقاط داشته باشد (Bihanta & Zare Chahouki, 2011).

1. Ordinary Least Square Linear Regression
2. Theil-Sen
3. Mann-Kendall

**همبستگی میان تغییرات NDVI کلانشهر تهران و مشخصه‌های اقلیمی دما و بارش**

همبستگی میان حداکثر میانگین NDVI کلانشهر تهران در هر سال و مشخصه‌های اقلیمی دما و بارش در طی دوره ۱۳۸۷-۱۳۹۸ بررسی شد. به دلیل امکان تأثیر مشخصه‌های اقلیمی با یک تأخیر زمانی بر پوشش گیاهی ( Rahimzadeh Bajgiran et al., 2008)، همبستگی میانگین NDVI با میانگین دما و مجموع بارش یک ماه قبل از تاریخ‌های حداکثر میانگین NDVI در هر سال و میانگین دما و مجموع بارش یک سال قبل از تاریخ‌های حداکثر میانگین NDVI در هر سال بررسی شد.

**نتایج**

**همبستگی داده‌های MODIS و لندست**

مقایسه هندسه تصاویر با لایه جاده‌های استخراج‌شده از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ نشان از صحت هندسی این تصاویر بوده است. بررسی همبستگی میان ارزش‌های NDVI داده‌های لندست و محصول MOD13Q1 سنجنده MODIS نشان‌دهنده رابطه قوی میان آنها بود ( $R^2 = 0.91$ ). در این رابطه  $y$  متغیر وابسته (داده‌های NDVI لندست)،  $x$  متغیر مستقل (داده‌های NDVI MODIS) است. بنابراین می‌توان مدل برآورد شده را برای تعدیل داده‌های MODIS و استفاده از آنها در مواردی که داده لندست مناسب وجود ندارد برای تکمیل سری زمانی NDVI استفاده کرد.

**روند تغییرات درازمدت حداکثر NDVI کلانشهر تهران**

بررسی روند تغییرات حداکثر میانگین NDVI شهر تهران در دوره ۱۳۸۷-۱۳۹۸ با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری انجام گرفت. روندهای حاصل از این دو روش در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تغییرات NDVI

روش من- کندال نوعی روش ناپارامتریک است که به‌طور گسترده در تحلیل روند سری‌های زمانی استفاده می‌شود. مزایای روش تیل- سن در این روش نیز وجود دارد. این روش برای آزمون معنی‌داری روند تغییرات در سری زمانی به کار می‌رود. مراحل اجرای این روش به شرح زیر است:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad \text{رابطه ۵}$$

$n$  تعداد مشاهدات سری،  $x_i$  و  $x_j$  به ترتیب مقادیر مشاهدات در زمان  $t_i$  و  $t_j$  و تابع علامت  $\text{sgn}$  به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{اگر } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{اگر } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{اگر } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۶}$$

سپس واریانس  $S$  با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{var}(S) = \begin{cases} \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} & n > 10 \\ \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} & n < 10 \end{cases} \quad \text{رابطه ۷}$$

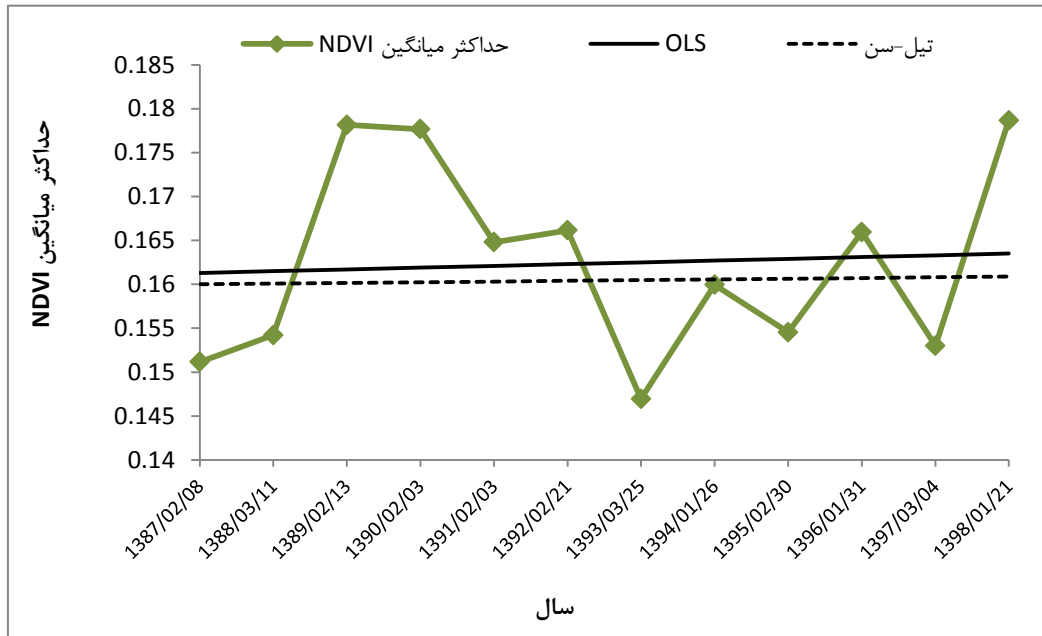
در این رابطه  $m$  مجموع تکرار مقادیر،  $t_i$  مقادیر تکرار شده است. در نهایت آماره  $Z$  استاندارد به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Z_S = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{اگر } S > 0 \\ 0 & \text{اگر } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{اگر } S < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۸}$$

در صورتی که  $Z_S$  مثبت باشد، روند افزایشی و اگر منفی باشد، روند کاهشی است. برای بررسی معنی‌داری روند سری زمانی آماره  $Z_S$  با  $Z$  جدول توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری  $\alpha$  مقایسه می‌شود (Zewdie et al., 2017).

است. بررسی معنی‌داری روند با استفاده از آزمون معنی‌داری من-کندال حاکی از نبود روند معنی‌دار در تغییرات NDVI شهر تهران بود ( $\alpha = 0/05$ ).

شهر تهران در طی دوره مطالعه در هر دو روش رگرسیون حداقل مربعات و تیل-سن به ترتیب با شیب‌های ۰/۰۰۰۰۲ و ۰/۰۰۰۰۸ روند افزایشی داشته



شکل ۲- روند تغییرات درازمدت NDVI کلانشهر تهران در دوره ۲۰۱۹-۲۰۰۸ با استفاده از روش‌های OLS و تیل-سن

افزایشی باشد.

### روند تغییرات درازمدت NDVI در مناطق ۲۲ گانه

#### کلانشهر تهران

بررسی روند تغییرات حداکثر میانگین NDVI در سطح مناطق ۲۲ گانه کلانشهر تهران نشان داد که نتایج هر دو روش رگرسیون حداقل مربعات و تیل-سن یکسان بود، به طوری که از میان مناطق ۲۲ گانه، چهار منطقه ۱۳، ۱۹، ۲۱ و ۲۲ روند افزایشی و بقیه مناطق روند کاهشی داشتند. بررسی معنی‌داری این روندها با استفاده از آزمون معنی‌داری من-کندال در سطح معنی‌داری ۵ درصد نشان داد که تغییرات NDVI تنها در مناطق ۷، ۸، ۱۰، ۱۱ و ۱۷ از روند معنی‌دار برخوردار است (شکل ۳). اما میانگین شیب چهار منطقه دارای روند افزایشی NDVI بیشتر از میانگین شیب مناطق با روند کاهشی NDVI بود که این موضوع موجب شده روند کلی کلانشهر تهران

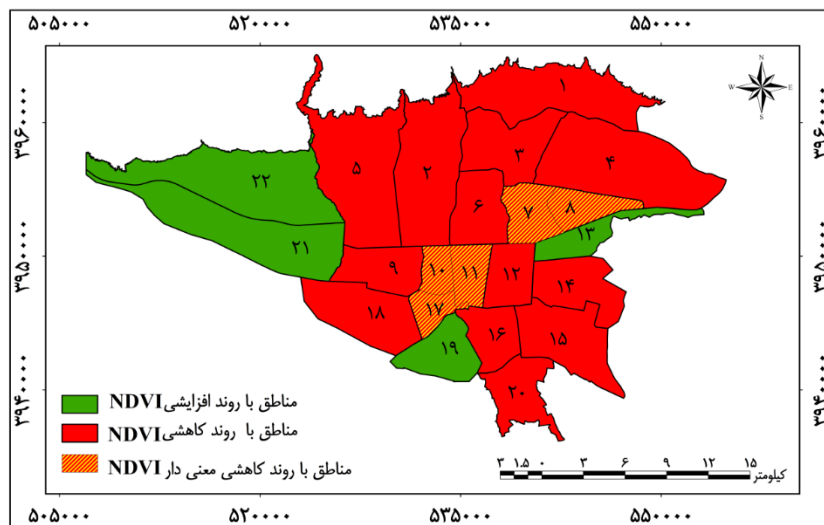
### همبستگی میان تغییرات NDVI و داده‌های

#### اقلیمی دما و بارش

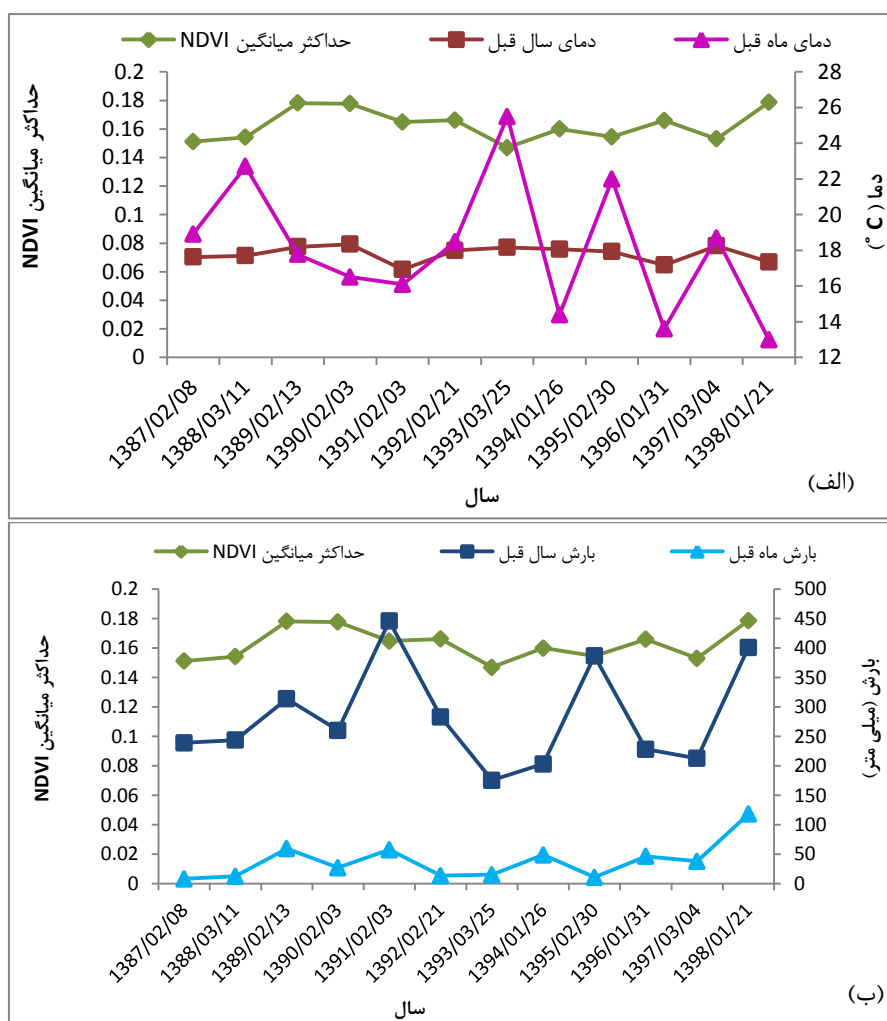
همبستگی میان داده‌های اقلیمی دما و بارش به عنوان مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر پوشش گیاهی و حداکثر میانگین NDVI در طی دوره ۱۳۹۸-۱۳۸۷ تجزیه و تحلیل شد. تغییرات NDVI و داده‌های اقلیمی یک ماه قبل، از همبستگی بیشتری نسبت به داده‌های اقلیمی یک سال قبل برخوردار بود (معنی‌دار در سطح  $\alpha = 0/05$ ). به طوری که NDVI با دما همبستگی منفی داشت، در حالی که میان تغییرات NDVI و بارش همبستگی مثبت مشاهده شد (شکل ۴).

ضرایب حاصل از بررسی همبستگی‌ها در جدول ۲ آورده شده است.





شکل ۳- نتایج بررسی روندهای افزایشی و کاهش و معنی‌داری آنها در هر یک از مناطق ۲۲گانه کلانشهر تهران



شکل ۴- نمودار تغییرات NDVI و میانگین دمای ماهانه و سالانه (الف) و مجموع بارش ماهانه و سالانه (ب)

در طی دوره ۲۰۰۸-۲۰۱۹

جدول ۲- ضرایب همبستگی میان میانگین NDVI کلانشهر تهران و داده‌های متوسط دما و مجموع بارش ماهانه و سالانه

سال قبل		ماه قبل		همبستگی میانگین NDVI با داده‌های اقلیمی
r	سطح معنی‌داری	r	سطح معنی‌داری	
-۰/۰۹	۰/۳۶۵	-۰/۶۸	*۰/۰۱۳	دما (درجه سانتی‌گراد)
۰/۴۵	۰/۲۳۰	۰/۶۵	*۰/۰۲	بارش (میلی‌متر)

\* معنی‌دار در سطح اطمینان ۰/۰۵٪

## بحث

در سال‌های اخیر پژوهش‌های متعددی در زمینه پویایی پوشش گیاهی با استفاده از سری‌های زمانی NDVI تصاویر ماهواره‌ای و رابطه آن با مشخصه‌های اقلیمی به‌مثابه مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر تغییرات پوشش گیاهی انجام گرفته که بیشتر در مقیاس کلان بوده‌اند. با توجه به گرمایش زمین و تغییرات اقلیمی رخ داده در دو دهه اخیر، این‌گونه تحقیقات رشد زیادی یافته و در نواحی رویشی مختلف جهان نتایج متفاوتی کسب شده است. بررسی منابع نشان داد که تاکنون پژوهشی براساس کل پوشش گیاهی یک منطقه، مثلاً مجموع و یا میانگین NDVI در یک شهر صورت نگرفته است، بلکه بصورت جهانی (de Jong et al., 2012) و فرالستانی (Kiapasha et al., 2017) و بصورت پیکسل به پیکسل انجام شده است. اندازه تفکیک مکانی بزرگ سری‌های زمانی آماده و ارزشمند MODIS و NOAA، موجب نامناسب شدن کاربرد آنها در مناطق کوچک و ناهمگن مانند شهرها شود (Zhu et al., 2016) و لذا باید بطور موردی از مجموعه داده‌های تاریخی لندست، سری زمانی تولید شود که کاری تخصصی و زمانبر است. کار با داده‌های لندست در این تحقیق نشان داد که این تصاویر برای چنین پژوهش‌هایی در سطحی کوچک‌تر مانند شهرها بسیار باثبات و ارزشمندند و در نبود داده لندست، می‌توان از داده MODIS به دلیل همبستگی بالا با داده لندست ( $R^2 = 0/91$ ) به منظور تکمیل سری زمانی استفاده کرد. از این‌رو با اینکه شاخص گیاهی

NDVI حاصل از سنجنده‌های مختلف با یکدیگر تفاوت دارند، ولی با توجه به وجود رابطه خطی به‌نسبت قوی میان آنها می‌توانند با یکدیگر سازگار شده و در پژوهش‌ها به‌کار گرفته شوند. این نتایج با یافته‌های (Rahimpour et al., 2017) و (Mao et al., 2012) نیز مطابقت دارد.

نتایج بررسی روند تغییرات درازمدت پوشش گیاهی با استفاده از میانگین شاخص NDVI حاصل از ماهواره‌های لندست در کلانشهر تهران، در کل حاکی از روند افزایشی غیر معنی‌دار در طی دوره ۱۳۹۸-۱۳۸۷ است. شایان ذکر است که بررسی آمار تغییرات سطح فضای سبز شهر تهران در طی دوره (۱۳۹۸-۱۳۸۷) نشان از افزایش مساحت پوشش گیاهی در این شهر دارد (Tehran Municipality Information and Communication Technology Organization, 2018). بنابراین از امکان تأثیرگذاری فاکتور افزایش مساحت به‌عنوان عامل دخالت انسان در روند افزایشی NDVI منطقه نیز نمی‌توان چشم پوشید و باید در پژوهش‌های بعدی به آن پرداخته شود. در این تحقیق سعی شد در هر سال تصویر دارای حداکثر مقدار NDVI برای بررسی روند استفاده شود که در مجموع تصاویر ماه اردیبهشت از مقدار سبزی‌نگی بیشتری برخوردار بود. نکته مثبت این است که در این محدوده زمانی هنوز آبیاری‌های دستی فضای سبز شروع نشده است، ولی به‌دلیل موجود نبودن تصویر مناسب در برخی از سال‌ها در این محدوده زمانی، تصاویر از تاریخی

بارش یک ماه قبل از تاریخ تصویر است. هر چند پوشش‌های گیاهی شهری آبیاری می‌شوند، اما با توجه به اینکه زمان مطالعه فصل بهار و به‌خصوص اردیبهشت بود که آبیاری توسط انسان کمتر انجام می‌گیرد، رشد و فعالیت گیاهان بیشتر تحت تأثیر شرایط آب‌وهوا بوده است. بنابراین می‌توان گفت که پویایی پوشش گیاهی شهر تهران از مشخصه‌های اقلیمی یک ماه قبل پیروی می‌کند و تغییرات اقلیمی می‌تواند بر تغییرات سبزی‌نگی پوشش گیاهی تأثیر بگذارد. وجود رابطه قوی میان تغییرات شاخص NDVI و مشخصه‌های اقلیمی در پژوهش‌های دیگری نیز اثبات شده است که از آن جمله می‌توان به پژوهش Sun et al. (2015) اشاره کرد. آنان به تحقیق درباره پویایی پوشش گیاهی و بررسی رابطه آن با تغییرات اقلیمی با استفاده از شاخص گیاهی NDVI و داده‌های اقلیمی دما و بارش از سال ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۶ در شمال چین پرداختند. اجرای این رویکرد در کلان شهرها با تهیه سری زمانی در بازه زمانی بیشتر و لحاظ نمودن تغییرات فیزکی پوشش گیاهی و دخالت‌های انسانی توصیه می‌شوند.

نزدیک انتخاب شدند. بنابراین ممکن است در این موارد کم بودن مقدار NDVI دلیل بر کم بودن مقدار سبزی‌نگی واقعی در آن سال‌ها نباشد. همچنین وجود گردوغبار احتمالی در اواخر بهار و نشست آن روی پوشش‌های گیاهی مانع عمل فتوسنتز مناسب گیاهان می‌شود. این مطلب می‌تواند بر نتایج تأثیرگذار باشد که باید در تحقیقات بعدی مدنظر قرار گیرد (Mohammadi et al., 2016). در ایران مطالعه‌ای در این زمینه در مناطق شهری صورت نگرفته که بتوان نتایج را مقایسه کرد. علی‌رغم روند افزایشی مقدار کل پوشش گیاهی کلانشهر تهران، بررسی روندها به تفکیک در هر یک از مناطق ۲۲گانه نشان داد که در ۱۸ منطقه از تهران روندها کاهشی بوده که در پنج منطقه معنی‌دار نیز بوده است. نبود روندهای یکسان در همه مناطق ممکن است ناشی از نبود توازن در پراکنش فضا‌های سبز در کلانشهر تهران نیز باشد. در بسیاری از تحقیقات انجام شده، نتایج حاکی از روند افزایشی پویایی پوشش گیاهی در ایران و کشورهای دیگر است و تغییرات مهمی در فرایندهای فنولوژیک گزارش شده است. بررسی تأثیر داده‌های اقلیمی نشان داد که وضعیت پوشش گیاهی تحت تأثیر مقدار دما و

## References

- Aronoff, S. (2005). *Remote Sensing for GIS Managers* (A. A. Darvishsefat, M. Pir Bavaghar & M. Rajab Pourrahmati, Trans.). Redlands: ESRI Press.
- Bihanta, M.R., & Zare Chahouki, M.A. (2011). *Principles of Statistics for the Natural Resources Science*. University of Tehran Press.
- Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y., & Qiu, G. (2007). Sensitivity of the enhanced vegetation index (EVI) and normalized difference vegetation index (NDVI) to topographic effects: a case study in high-density cypress forest. *Sensors*, 7(11), 2636-2651.
- Chu, H., Venevsky, S., Wu, C., & Wang, M. (2019). NDVI-based vegetation dynamics and its response to climate changes at Amur-Heilongjiang River Basin from 1982 to 2015. *Science of the Total Environment*, 650, 2051-2062.
- Cutforth, H.W., McConkey, B.G., Woodvine, R.J., Smith, D.G., Jefferson, P.G., & Akinremi, O.O. (1999). Climate change in the semiarid prairie of southwestern Saskatchewan: late winter-early spring. *Canadian Journal of Plant Science*, 79(3), 343-350.

- de Jong, R., Verbesselt, J., Schaepman, M.E., & de Bruin, S. (2012). Trend changes in global greening and browning: contribution of short-term trends to longer-term change. *Global Change Biology*, 18(2), 642-655.
- Gu, Y., Wylie, B. K., Howard, D. M., Phuyal, K. P., & Ji, L. (2013). NDVI saturation adjustment: A new approach for improving cropland performance estimates in the Greater Platte River Basin, USA. *Ecological Indicators*, 30, 1-6.
- Jozi, S.A., & Nikourazm, Y. (2015). The investigation of changes in green space by using Markov and NDVI index model and Explaining the Strategies by SWOT model Case study: Zone 18, 19, & 21 in Tehran. *Researches Biannual Journal of Urban Ecology*, 1(11), 53-72.
- Kiapasha, K., Darvishsefat, A.A., Zargham, N., Attarod, P., Nadi, M., & Schaepman, M.E. (2017). Greening trend in the Hyrcanian forests using NOAA NDVI time series during 1981-2012. *Forest and Wood Products*, 70 (3), 409-420.
- Mao, D., Wang, Z., Luo, L., & Ren, C. (2012). Integrating AVHRR and MODIS data to monitor NDVI changes and their relationships with climatic parameters in Northeast China, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18, 528-536.
- Masihpour, M., Darvishsefat, A.A., & Rahmani, R. (2019). Long-term trend analysis of vegetation changes using MODIS-NDVI time series during 2000-2017 (Case study: Kurdistan province). *Forest and Wood Product*, 72 (3), 193-204.
- Mohammadi, F., Kamali, S., & Eskandari, M. (2016). Tracing of dust sources in different levels of Tehran's atmosphere using HYSPLIT model. *Geography and Environmental Hazards*, 4(16), 39- 54.
- Nasiri, V., & Darvishsefat, A.A. (2018). Change Detection and Analysis of Land Use Land Cover Changes Using Ecological Landscape Metrics (Case study: Arasbaran region, 1990-2014). *Wood & Forest Science and Technology*, 25 (4), 1-17.
- Pettorelli, N., Vik, J.O., Mysterud, A., Gaillard, J.M., Tucker, C.J., & Stenseth, N.C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in ecology & evolution*, 20(9), 503-510.
- Rahimpour, M., Karimi, N., Roozbahani, R., & Rezaei, A.A. (2017). A Combination of OLI and MODIS sensors to generate surface reflectance data on a daily scale with a spatial resolution of 30 m in different land cover type. *Remote Sensing & GIS*, 9 (3), 71-90.
- Rahimzadeh Bajgirani, P., Darvishsefat, A., Khalili, A., & Makhdoum M.F. (2008). Using AVHRR based vegetation indices for drought monitoring in the Northwest of Iran. *Journal of Arid Environments*, 72, 1086-1096.
- Rannow, S., & Neubert, M. (2014). Managing protected areas in central and eastern Europe under climate change. *Global Change Biology*, 18(2), 642-655.
- Rudjord, O., & Trier, O.D. (2012). *Evaluation of FLAASH atmospheric correction*. Norwegian Computer Centre, Norwegian, 24p.
- Soroudi, M., & Jozi, S.A. (2011). Prediction of vegetation changes using a Markov model (Case study: District 4 of Tehran municipality). *Applied RS & GIS Techniques in Natural Resource Science*, 2(2), 83-95.
- Sun, Y., Yang, Y., Zhang, Y., & Wang, Z. (2015). Assessing vegetation dynamics and their relationships with climatic variability in northern China. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 87, 79-86.
- Tehran Municipality Information and Communication Technology Organization. (2018). *Statistical Yearbook of Tehran Municipality*.
- Yang, Q., Huang, X., & Tang, Q. (2019). The footprint of urban heat island effect in 302 Chinese cities: Temporal trends and associated factors. *Science of The Total Environment*, 655, 652-662.

Yin, G., Hu, Z., Chen, X., & Tiyip, T. (2016). Vegetation dynamics and its response to climate change in Central Asia. *Journal of Arid Land*, 8(3), 375-388.

Zewdie, W., Csaplovics, E., & Inostroza, L. (2017). Monitoring ecosystem dynamics in northwestern Ethiopia using NDVI and climate variables to assess long term trends in dryland vegetation variability. *Applied geography*, 79, 167-178.

Zhong, L., Ma, Y., Salama, M.S., & Su, Z. (2010). Assessment of vegetation dynamics and their response to variations in precipitation and temperature in the Tibetan Plateau. *Climatic Change*, 103(3-4), 519-535.

Zhu, Z., Fu, Y., Woodcock, C. E., Olofsson, P., Vogelmann, J. E., Holden, C., Wang, M., Dai, S., & Yu, Y. (2016). Including land cover change in analysis of greenness trends using all available Landsat 5, 7, and 8 images: A case study from Guangzhou, China (2000–2014). *Remote Sensing of Environment*, 185, 243-257.



*Research Article*

## Time series analysis of vegetation dynamic trend using Landsat data in Tehran Megacity

Z. Najafi<sup>1</sup>, A.A. Darvishsefat<sup>2\*</sup>, P. Fatehi<sup>3</sup>, and P. Attarod<sup>2</sup>

<sup>1</sup>MSc. Graduate of Forest Sciences and Engineering, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran.

<sup>2</sup>Prof., Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran.

<sup>3</sup>Assistant Prof., Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran.

(Received: 27 February 2020, Accepted: 6 June 2020)

### Abstract

Urban vegetation monitoring can play a vital role in sustainable city management because of their diverse environmental, social, cultural, and economic functions. In this study, the vegetation trend was assessed using the Normalized Vegetation Difference Index (NDVI) obtained from the Landsat 5 and 8 at a maximum vegetation greenness time by applying a parametric approach (i.e. Ordinary Least Square Linear Regression) and a non-parametric approach (i.e. Theil-Sen and Mann-Kendall) over Tehran city during 2008 - 2019. The MOD13Q1 NDVI product was used as a complementary data due to the lack of appropriate Landsat data for 2011 and 2012. The data collected from four synoptic meteorological stations located in Tehran were used to extract the mean temperature and the total precipitation parameters. The relationship between NDVI variations and climatic characteristics, i.e. the mean temperature and total precipitation of one month before and one year before the maximum NDVI values were analyzed. The NDVI trend analysis showed a slight increase in Tehran vegetation conditions during 12 years, however, the result of the Mann-Kendall test was not statistically significant ( $\alpha = 0.05$ ). Trend analysis for 22 individual districts showed a significant negative trend for five districts, and the remaining districts showed a non-significant trend. The NDVI was negatively correlated with temperature, and there was a positive correlation between NDVI and precipitation. The NDVI variations showed a more similar trend to the climate data of one month before NDVI data-set than one year.

**Keywords:** Change of greenness, Mann- Kendall, Time Series, Trend, Urban vegetation.