

بررسی نوسانات درجه حرارت سطح زمین به کمک سری‌های زمانی تصاویر سنجنده مودیس از ماهواره Terra و Aqua تحت شرایط اقلیمی (منطقه مورد مطالعه: استان تهران)

ارمغان اردلانی^۱، بهزاد رایگانی^{۲*}، حمید گشتاسب^۳، باقر نظامی^۴، علی جهانی^۵

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد علوم و مهندسی محیط زیست، ارزیابی و آمایش سرزمین، دانشکده محیط زیست، کرج

۲ و ۵- دانشیار، گروه ارزیابی و مخاطرات محیط زیست، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، تهران

۳- دانشیار، گروه محیط زیست طبیعی و تنوع زیستی، دانشکده محیط زیست، کرج

۴- دانشیار، گروه تنوع زیستی و ایمنی زیستی، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، تهران

چکیده

تجزیه و تحلیل داده‌های سری زمانی درجه حرارت سطح زمین (LST)، به طور قابل توجهی درک ما را از تغییرات بلندمدت اقلیمی بهبود می‌بخشد. هدف از تحقیق حاضر بررسی روند تغییرات دما در استان تهران با استفاده از تصاویر سری زمانی سنجنده MODIS ماهواره Terra (از سال ۲۰۰۲) و ماهواره Aqua (از سال ۲۰۰۳) تا پایان سال ۲۰۱۸ می‌باشد. روند تغییرات دمایی تصاویر دریافت شده با استفاده از تحلیلگر ETM نرم‌افزار TerrSET و معنی‌داری آنها با روش‌های پارامتری ضریب همبستگی و ناپارامتری آزمون معنی‌داری من-کندال (در سطح ۱٪) مشخص گردید. این روش‌ها برای شناسایی روند تغییرات متغیرهای حداقل، میان و حداقل دما به صورت ماهانه و سالانه استفاده شد. سپس اعتبارسنجی تصاویر ماهواره‌ای به کمک تحلیل روند داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک استان تهران با استفاده از روش‌های رگرسیونی صورت پذیرفت. همچنین روند تغییرات دمایی بدست آمده از ماهواره ترا با روند تغییرات دمایی بدست آمده از ماهواره آکوآ توسط شاخص کاپا و سری‌های زمانی این دو ماهواره توسط آنالیز Linear Modeling و ضریب همبستگی R مقایسه شد. براساس نتایج، نشانه‌های تغییر اقلیم در استان تهران، به ویژه از نظر دما، قابل مشاهده است. نتایج اعتبارسنجی نشان داد روند تغییرات تصاویر ماهواره‌ای حداقل دما شباهت ۹۸.۳ درصدی با روند تغییرات داده‌های حداقل دمای ایستگاه‌های سینوپتیک استان تهران دارد بر این اساس می‌توان گفت بین روند تغییرات تصاویر ماهواره‌ای و روند تغییرات داده‌های زمینی هم‌خوانی قابل قبولی وجود دارد.

کلید واژه‌ها: آزمون معنی‌داری من-کندال، نرم‌افزار TerrSET، ایستگاه سینوپتیک، شاخص کاپا، ضریب همبستگی R.

مقدمه

اقیانوس و اتمسفر مهیا می‌شود (Short, 1990). استفاده از این ابزار اجازه می‌دهد تا در موثرترین زمان و کمترین هزینه بر منابع طبیعی، اکوسیستم و تنوع زیستی نظارت کنیم (Willis, 2015) و همچنین منجر به آشکارسازی تغییرات ناگهانی و غیرمترقبه و یا تغییرات با روند آرام در گذر زمان نیز می‌شود. درجه حرارت سطح زمین شاخص مهمی در مطالعه مدل‌های تعادل انرژی در سطح زمین و فعل و نفعالات بین زمین و اتمسفر در مقیاس منطقه‌ای و جهانی است. وجود یک افزایش شدید در مقیاس جهانی در دماهای حداقل به خوبی به اثبات رسیده است. با این حال، در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای نیز تغییرپذیری چشمگیری قابل مشاهده است. به گونه‌ای که لیتنمایر و همکاران (Littenmayer et al. 1994) در ایالات متحده آمریکا، دومونکوس (Domonkos, 2003) در مجارستان، سلسی (Seleshi, 2004) در اتیوپی، کومار (Kumar et al. 2005) در ایتالیا، دومروئس (Domroes, 2005) در مصر، کیانگ و همکاران (Keyang et al. 2005) در چین، فریوان (Freiwan, 2008) در اردن و تایانچ (Tayanc et al. 2009) در ترکیه روندهایی را در سری‌های زمانی دماهای حداقل و حداکثر به اثبات رسانده‌اند. همچنین توسط اسفا (Asfaw, 2018) روند تغییرات دما در شمال اتیوپی شمالی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و آزمون من-کندال تجزیه و تحلیل شد و روند معنادار افزایشی را نشان داد. در این راستا تحقیقات داخلی نیز صورت گرفته است به عنوان مثال، بررسی خشکسالی و تحلیل‌های اقلیمی با داده‌های مرتبط با ایستگاه‌های سینوپتیک استان همدان نشان داد که روند تغییرات مثبت و افزایش ۱ تا ۳ درجه سانتی‌گرادی دما در این منطقه مشاهده شده است. همچنین آشکارسازی تغییرات اقلیمی با تحلیل آزمون گرافیکی کندال و شاخص‌های خشکسالی در حاشیه تالاب آق‌گل روند معنی‌داری در شاخص دما، به صورت تغییرات افزایشی نشان داد بنابراین، خشک شدن تالاب آق‌گل را می‌توان با تنش‌های خشکسالی و تغییرات اقلیمی مرتبط دانست. شناسایی روند تغییرات دمای سالانه در حوضه آبریز کرخه روند معنادار افزایشی با شیب $+0.12$ تا $+0.61$ درجه سانتی‌گراد را نشان داد (Zohrabi et al. 2016). بررسی روند تغییرات دما، بارش و دبی با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال در حوزه

یکی از مباحث مهم بسیاری از محافل علمی جهان، اقلیم و تغییر آن به عنوان یک وضعیت برگشت‌ناپذیر می‌باشد؛ که در چند دهه اخیر کانون توجه اکثر محققین رشته‌های علمی بوده است. برهم خوردن اندکی از تعادل اقلیم جهان موجب افزایش متوسط درجه حرارت کره زمین شده است؛¹ (IPCC, 2001) بطوریکه، هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم در سال ۲۰۰۱ گزارش داد که اقلیم در حال تغییر و گرمایش جهانی در حال وقوع می‌باشد (Dracup, 2005). این پدیده به علت افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر می‌باشد (Dettinger et al., 2004). افزایش دما در سال‌های اخیر به صورت ناهنجاری در سری‌های زمانی مستند شده است که به صورت بالقوه می‌تواند باعث خشکسالی، افزایش بارش‌های رگباری شدید، افزایش سیلاب‌های بهاری، عقب‌نشینی و ناپدید شدن یخچال‌ها، تغییرات اکولوژیکی و شوری آب رودخانه‌ها و کاهش آب‌های زیرزمینی شود (Hansen, 1990). بنابراین بررسی روند دما بسیار مهم و حیاتی می‌باشد. با توجه به شدت گرفتن افزایش گرمایش جهانی و همچنین تغییر اقلیم، بروز و رخداد نوسانات در متغیرهای اقلیمی چشمگیرتر می‌باشد.

سیر طبیعی سری زمانی را در درازمدت، روند می‌گویند. این روش یکی از بنیادی‌ترین تحلیل‌های سری زمانی برای جست و جوی حضور روندهای بلندمدت است (Sheikh et al. 2012). آشکارسازی و توصیف روند تغییرات در طول زمان، اولین گام اساسی در تعیین نیروهای محرک و شناخت مکانیسم تغییرات است به همین دلیل، اغلب نیاز به استفاده از داده‌های ماهواره‌ای دارد (Baugh & Groeneveld, 2006)؛ چرا که بررسی منابع زمینی با استفاده از روش‌های سنتی زمان‌بر و مستلزم هزینه‌های زیاد است (Mousavi et al. 2007) در این فرایند، تولید نقشه‌هایی با دقت مطلوب، از عناصر مختلف سرزمین یکی از ابزارهای مهم در پایش عرصه‌های منابع طبیعی و محیط زیست می‌باشد. سنسجش از دور فناوری نمونه‌برداری از تابش الکترومغناطیس است تا به کمک آن بتوان داده‌های مکانمند را تفسیر یا درک نمود که بدین وسیله امکان استخراج اطلاعات درباره عوارض، اشیاء و کلاس‌های سطح زمین،

۱۳۸۷). سرتاسر ناحیه شمالی استان تهران را کوهستان البرز پوشانده است. استان تهران در بخش مرکزی رشته کوه البرز که از آذربایجان تا خراسان امتداد دارد، واقع شده و این رشته کوه بویژه بخش مرکزی آن مانع از نفوذ رطوبت دریای خزر و بادهای باران زایی است که از شمال و غرب وارد کشور می‌شوند. قسمت اصلی بخش مرکزی رشته کوه البرز به سه دیواره شمالی، میانی و جنوبی قابل تقسیم است. دیواره شمالی که قله مرتفع دماوند در آن واقع شده، در استان مازندران قرار گرفته است؛ اما برخی از ارتفاعات آن در استان تهران قرار دارد. دیواره میانی به عنوان مرتفع‌ترین قسمت رشته کوه البرز، عموماً حد شمالی استان را تشکیل می‌دهد و ارتفاع کوه‌های آن به طرف شرق افزایش یافته و حتی تا ۵۰۰۰ متر نیز می‌رسد. کوه‌های کندوان و پس از آن کوه‌های طالقان در شمال غرب استان تا محل اتصال رود الموت به طالقان رود ادامه می‌یابد. در شمال شرق استان نیز، دیواره میانی با نام رشته ارتفاعات فیروزکوه تا دره فیروزکوه که از جنوب دامنه‌های شرقی آن می‌گذرد، امتداد می‌یابد. دیواره جنوبی، سومین بخش از ارتفاعات البرز مرکزی است که رودخانه‌ی جاجرود کرج آنها را بریده و به سه قسمت جدا از هم تقسیم می‌کند. الف: کوه‌های لواسانات که بین دره‌های رود دماوند و جاجرود قرار دارند و در شمال به دره رود لار محدود می‌شوند. ب: کوه‌های شمیرانات بین سرچشمه‌های جاجرود و کرج واقع شده و قله توچال به ارتفاع ۳۹۳۳ متر بلندترین نقطه آن است. ج: کوه‌های کهار، از غرب دره رودخانه کرج شروع شده و در جنوب طالقان رود به موازات آن ادامه دارند و سرانجام از شمال غربی استان تهران خارج می‌شوند (اطلس راهنمای استان‌های ایران، ۱۳۸۴). نقشه (۱) موقعیت استان تهران را در ایران و جهان نشان می‌دهد. استان تهران از تنوع زندگی جانوری در دامنه کوه‌ها و دشت‌ها برخوردار است که مهم‌ترین آن‌ها در پارک‌ها و مناطق حفاظت‌شده عبارت‌اند از: مجموعه حفاظت‌شده جاجرود در شمال شرق استان که حدود ۷۰ هکتار وسعت دارد و مشتمل بر پارک‌های ملی خجیر و سرخه حصار است (گزارش آمایش سرزمین استانداری تهران، ۱۳۸۸).

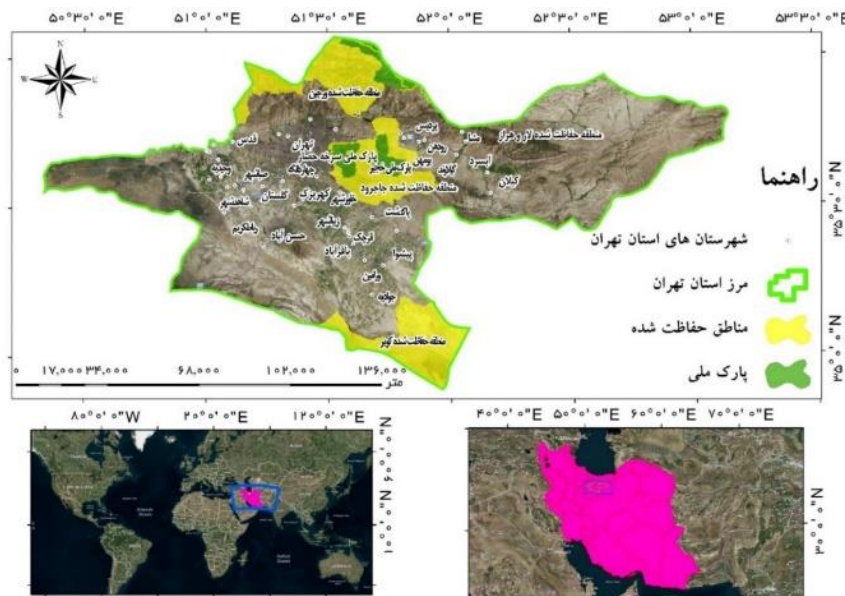
آبخیز رودخانه کاجو استان سیستان و بلوچستان نشان داد بارش منطقه دارای روندی نزولی، دما دارای روندی صعودی و دبی رودخانه طی این دوره آماری دارای روندی کاهشی است (Ansari et al. 2017). بررسی روند تغییرات دمای شمال غرب کشور در نیم قرن اخیر نشان داد که دما در مقیاس ماهانه در اکثر ماه‌ها دارای روند افزایشی است و در مقیاس سالانه ۶۰ درصد ایستگاه‌ها روند افزایشی معنی‌دار داشته و بطور کلی در پنجاه سال گذشته در منطقه شمال غرب ایران دما به مقدار 1.20°C تغییر کرده است. بررسی نوسان پارامترهای اقلیمی با استفاده از داده‌های مرکز پیش‌بینی میان مدت جوی اروپایی در منطقه شیرکوه استان یزد افزایش دمای دو متری سطح زمین، عمق ۱-۷ سانتی متری و عمق ۷-۲۸ سانتی متری خاک را نشان داد و متغیر Z آزمون من-کندال در همه جا از ۸.۴ بیشتر بوده است (Heydari et al. 2019). به منظور استفاده از نرم افزار ترست و تحلیلگر مدل‌ساز روند زمین (ETM) برای بررسی روند تغییرات میتوان به مقالات رایگانی و همکاران با عنوان شناسایی کانون‌های بالقوه تولید گرد و غبار با استفاده از داده‌های سنجش از دور در استان البرز در سال ۱۳۹۵، ارزیابی روند تغییرات پوشش گیاهی مناطق خشک و نیمه خشک منطقه حفاظت‌شده توران در سال ۱۳۹۶ اشاره کرد. افزایش جمعیت، شهرنشینی و در پی آن گسترش شهرک‌های صنعتی، از بین رفتن پوش گیاهی و آسیب به مناطق حفاظت‌شده و پارک‌های ملی موجب شد تا در این مقاله اهداف زیر بررسی شود: ۱. بررسی روند دمایی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در استان تهران. ۲. شناسایی اثرات اکولوژیکی تغییرات دمایی. ۳. ارزیابی دقت داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک استان توسط اعتبارسنجی با تصاویر ماهواره‌ای. ۴. مقایسه سنجنده مودیس در دو ماهواره ترا و آکوا.

مواد و روش‌ها

داده‌ها و محدوده مورد مطالعه پژوهش

۱. منطقه مورد مطالعه

استان تهران به مرکزیت شهر تهران، با وسعتی حدود ۱۸۸۱۴ کیلومتر مربع، در سیستم مختصات UTM^1 زون ۳۹N و سیستم مختصات جغرافیایی $34^{\circ}50'0''N$ تا $36^{\circ}10'0''N$ و $53^{\circ}10'0''E$ تا $50^{\circ}20'0''E$ با ارتفاع از سطح دریا ۱۳۶۸ متر واقع شده است (مؤسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی،



نقشه ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی در ایران و جهان

۲. داده‌های مورد استفاده

- تصاویر ۸ روزه درجه حرارت سطح زمین از سنجنده مودیس ماهواره ترا از سال ۲۰۰۲ (MOD11A2) و ماهواره آکوا از سال ۲۰۰۳ (MYD11A2) تا پایان سال ۲۰۱۸ با قدرت تفکیک مکانی ۱km ورژن ۶ سطح ۳
- داده‌های سینوپتیک حداقل دما به صورت ماهانه از ایستگاه‌های سینوپتیک استان تهران

روش تحقیق

۱. روندیابی تصاویر ماهواره‌ای

از محصولات MOD11A2 و MYD11A2 دو پارامتر استخراج شد: ۱. درجه حرارت روزانه ۲. درجه حرارت شبانه و بر روی هر دو پارامتر به صورت تفکیک شده در محیط نرم افزار ترست آنالیزهای یکسانی اعمال گردید. در مرحله پیش پردازش ابتدا فرمت تصاویر مودیس از HDF به رستری (RST) تبدیل گردیدند سپس تصاویر توسط شیپ فایل استان تهران برش داده شدند تا تغییرات فقط در این محدوده به نمایش گذاشته شود. برای حذف اطلاعات زائد، برطرف کردن نواری شدن و تاثیر خطاها در تصاویر ماهواره‌ای با تجزیه مولفه‌های اصلی، اطلاعات پدیده‌های موجود در باندهای مختلف را جمع‌آوری کرده و آنها را در تعدادی باند یا مولفه کمتر در دسترس قرار می‌دهد. برای

انجام PCA¹ از T-Mode استاندارد نشده، برای مجموعه باندها اجرا می‌شود و کامپاننت‌هایی که کمترین مقدار واریانس را تشکیل دادند، شناسایی می‌شود سپس تبدیل معکوس T-Mode، برای حذف شدن آن مولفه‌ها انجام می‌شود و مجموعه داده جدید تشکیل می‌گردد (Eastman, 2015) در مرحله پردازش برای تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی تصاویر از ابزار طراح روند زمین (ETM) نرم‌افزار ترست استفاده گردید. با ETM می‌توان روندها و الگوهای اخیر را در متغیرهای اساسی سیستم زمین مانند دمای سطح دریا، درجه حرارت اتمسفر، بارش، پوشش گیاهی و امثال آنها کشف نمود. ETM یک ابزار استثنایی برای ارزیابی تغییرات آب و هوایی در سال‌های اخیر است. سری‌های زمانی تصاویر مشاهده‌ی زمین، یک منبع مهمی برای درک دو مورد پویایی و تکامل پدیده‌های محیط زیستی فراهم می‌نماید. در نتیجه ETM بر تجزیه و تحلیل روند و ویژگی‌های پویای این پدیده‌ها متمرکز است (Eastman, 2015) بر این اساس تصاویر ۸ روزه پارامتر دما، یکبار با استفاده از روش بیشینه ارزشی و بار دیگر به روش میانه ارزشی برای ساخت تصاویر حداکثر و میانه دما به صورت ماهانه تلفیق شدند. برای ساخت تصاویر حداکثر دمای سالیانه تصاویر حداکثر و میانه دمای ماهانه که در مرحله قبل

1. Principle Component Analysis

$$Z_{MK} \begin{cases} = \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{اگر } S > 0 \\ = 0 & \text{اگر } S = 0 \\ = \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{اگر } S < 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$S = \frac{\sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=j+1}^n \text{sgn}(VI_j - VI_i)}{n(n-1)(2n+5)}, \quad VAR(S) = \frac{18}{n(n-1)(2n+5)}$$

$$\text{Sgn}(VI_j - VI_i) = \begin{cases} 1, VI_j - VI_i > 0 \\ 0, VI_j - VI_i = 0 \\ -1, VI_j - VI_i < 0 \end{cases}$$

همچنین در این پژوهش از آزمون ضریب همبستگی به عنوان آزمون پارامتریک برای بررسی مناطق معنی‌دار استفاده شد. چنانچه ضریب بدست آمده بزرگتر یا مساوی آن باشد همبستگی در آن سطح اعتماد، معنی‌دار می‌باشد (Mahdavi, 2013). معادله همبستگی را می‌توان به صورت کلی $y=a+bx$ نوشت که پس از تعیین ضرایب (a) و (b) می‌توان از روی مقادیر مربوط به (x)، مقادیر (Y) را محاسبه نمود. روش کار در زیر بیان می‌گردد.

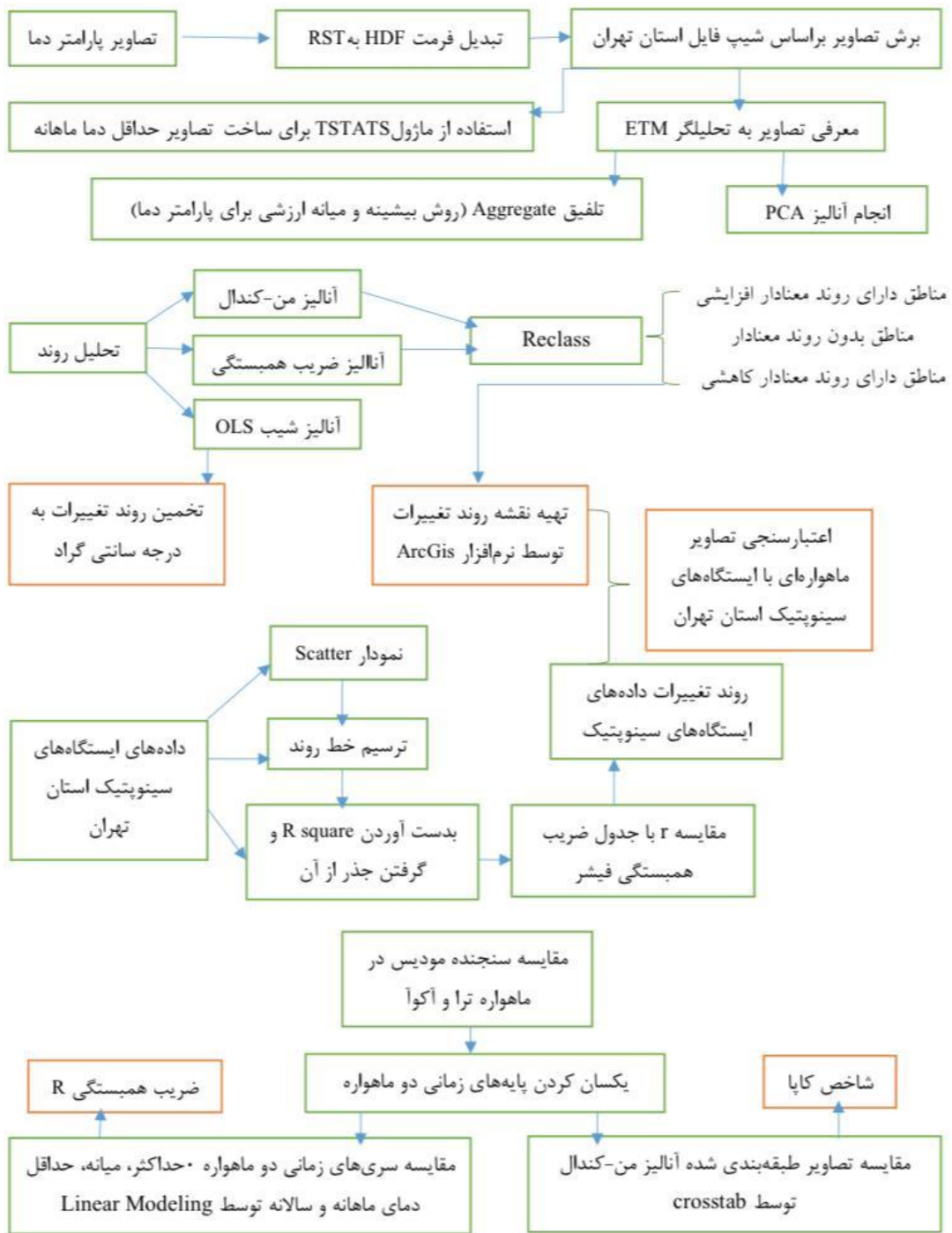
$$b = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}} \quad (2)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$R = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sqrt{\left[\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}\right] \left[\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}\right]}} \quad (3)$$

به منظور استفاده از جدول فیشر و درجه آزادی (df=n-2) برای روندهای سالیانه از تعداد سال‌های مورد بررسی - ۲ و برای روندهای ماهانه از (تعداد سال - ۲) × ۱۲ (تعداد ماه‌های هر سال) استفاده گردید. برای مثال از سال ۲۰۰۱ تا پایان سال ۲۰۱۸ شامل ۱۸ سال است که عدد ۲ از آن کم شده و عدد ۱۶ بدست آمد با توجه به جدول (۱) مقدار R یا همان ضریب همبستگی برابر با ۰.۵۹ می‌باشد. حال مناطقی از تصویر که بین بازه‌ی ۰.۵۹+/- باشد بدون روند معنی‌دار و خارج از این بازه دارای روند می‌باشد.

ساخته شد به صورت سالانه با استفاده از روش بیشینه ارزشی تلفیق شدند. تلفیق سری زمانی برای تحلیل‌های روند، طول سری زمانی و قدرت تفکیک زمانی را می‌کاهد. طول سری زمانی در تعیین معنی‌داری روند در آزمون آماری دارای اهمیت می‌باشد همچنین این کار، از تحلیل روند، با کاهش چرخه‌های فصلی در سری زمانی پشتیبانی خواهد کرد (Teferi et al, 2015). با توجه به قدرت تفکیک زمانی ۸ روزه تصاویر، هر سه یا چهار تصویر یک ماه را پوشش می‌دهد. سپس با استفاده از روش کمینه ارزشی مازول TSTATS از سه یا چهار تصویری که در یک ماه می‌باشد یک تصویر حداقل (به عنوان تصویر حداقل آن ماه) بدست آمد. از تمامی حداقل‌های ماهانه‌ای که توسط مازول TSTATS بدست آمد دوباره گروه رستری گرفته و به تحلیلگر ETM معرفی شد و نوع سری روی ماهانه تنظیم گردید. تصاویر حداقل دمای ماهانه که در مرحله قبل ساخته شد به صورت سالانه با استفاده از روش کمینه ارزشی تلفیق شدند. یکی از بنیادی‌ترین تحلیل‌های سری زمانی جستجو برای حضور روندهای بلندمدت می‌باشد (Sheikh et al, 2012). در این پژوهش برای شناسایی مناطق دارای روند معنادار از آزمون من-کندال و ضریب همبستگی استفاده شد و نقشه مناطق معنادار با شیب افزایشی، مناطق معنادار با شیب کاهش و مناطق بدون روند معنادار برای هر یک از پارامترها تولید شد. روش من-کندال یک آزمون آماری ناپارامتری است و مزیت آن این است که نمونه‌ها به توزیع خاصی نیاز ندارند (Kendall, 1975). این روش تصویری در مقادیر Z تولید می‌کند که اجازه‌ی ارزیابی معنی‌داری و جهت آن را همزمان می‌دهد. Z آماره‌ی آزمون من-کندال است. VI_j و VI_i نشان‌دهنده‌ی ارزش شاخص دما در سری i و j است. n طول سری زمانی می‌باشد. ارزش‌های بحرانی برای فاصله‌ی اطمینان ۹۵٪ (سطح معنی‌داری ۰.۰۵) $+/-۱.۹۶$ و برای فاصله اطمینان ۹۹٪ (سطح معنی‌داری ۰.۰۱) $+/-۲.۵۸$ می‌باشد (Eastman, 2015). این روش یک جفت تصویر تولید می‌کند، یک تصویر معنی‌داری (تصویر مقادیر Z) و یک تصویر ثانویه (تصویر مقادیر p) که احتمال اینکه روند مشاهده شده می‌توانست شانسی باشد را نشان می‌دهد.



نمودار ۱. نمودار روش تحقیق

درجه آزادی			درجه آزادی		
۷۵	۷۱	درجه آزادی	۷۵	۷۱	درجه آزادی
۰/۳۸۸	۰/۲۹۶	۲۴	۰/۸۹۷	۱/۰۰۰	۱
۰/۳۸۱	۰/۳۸۷	۲۵	۰/۹۵۰	۰/۹۹۰	۲
۰/۳۷۴	۰/۳۷۸	۲۶	۰/۸۷۸	۰/۸۵۹	۳
۰/۳۶۷	۰/۳۷۰	۲۷	۰/۸۱۱	۰/۸۱۷	۴
۰/۳۶۱	۰/۳۶۳	۲۸	۰/۷۵۴	۰/۸۷۴	۵
۰/۳۵۵	۰/۳۵۶	۲۹	۰/۷۰۷	۰/۸۳۴	۶
۰/۳۴۹	۰/۳۴۹	۳۰	۰/۶۶۶	۰/۷۹۸	۷
۰/۳۴۵	۰/۳۴۸	۳۵	۰/۶۲۲	۰/۷۶۵	۸
۰/۳۴۰	۰/۳۴۳	۳۰	۰/۶۰۲	۰/۷۳۵	۹
۰/۳۳۸	۰/۳۴۲	۳۵	۰/۵۷۶	۰/۷۰۸	۱۰
۰/۳۳۴	۰/۳۴۴	۵۰	۰/۵۵۳	۰/۶۸۴	۱۱
۰/۳۳۰	۰/۳۳۵	۶۰	۰/۵۳۴	۰/۶۶۱	۱۲
۰/۳۲۴	۰/۳۰۲	۷۰	۰/۵۱۴	۰/۶۴۱	۱۳
۰/۳۱۷	۰/۲۸۳	۸۰	۰/۴۹۷	۰/۶۲۳	۱۴
۰/۳۱۵	۰/۲۶۷	۹۰	۰/۴۸۲	۰/۶۰۶	۱۵
۰/۳۱۵	۰/۲۵۴	۱۰۰	۰/۴۶۸	۰/۵۹۰	۱۶
۰/۳۱۴	۰/۲۳۸	۱۲۵	۰/۴۵۶	۰/۵۷۵	۱۷
۰/۳۱۵	۰/۲۰۸	۱۵۰	۰/۴۴۴	۰/۵۶۱	۱۸
۰/۳۱۳	۰/۱۸۱	۲۰۰	۰/۴۳۳	۰/۵۴۹	۱۹
۰/۳۱۳	۰/۱۶۸	۳۰۰	۰/۴۲۳	۰/۵۳۷	۲۰
۰/۳۰۸	۰/۱۳۸	۴۰۰	۰/۴۱۳	۰/۵۲۶	۲۱
۰/۳۰۸	۰/۱۱۵	۵۰۰	۰/۴۰۴	۰/۵۱۵	۲۲
۰/۳۰۲	۰/۰۸۱	۱۰۰۰	۰/۳۹۶	۰/۵۰۵	۲۳

جدول ۱. جدول ضریب همبستگی فیشر

(۶). اختلاف سری زمانی آخر از اولین سری زمانی هر یک از تغییرات گرفته شد. فرمول Difference برای تغییرات ماهانه و سالیانه:

$$\text{Difference} = T_{end} - T_{int}$$

(۷). برای بدست آوردن مقدار عددی درجه سانتی گراد اختلاف‌ها در ۰.۰۲ ضرب شد.

$$\text{Cantigrade} = \text{Difference} \times 0.02$$

تصاویر با ارزش پیکسلی بر حسب درجه سانتی گراد بدست آمد و در تصاویر نواحی معنادار به روش ضرب همپوشانی گردید تا محدوده تغییرات دما به درجه سانتی گراد مشخص شود.

۳. مقایسه سنجنده‌ی مودیس در دو ماهواره‌ی Terra و Aqua توسط شاخص کاپا و آنالیز Linear Modeling

درصد اتفاق نظر بین دو مشاهده‌گر که اغلب در ارزیابی کیفیت مشاهدات، حایز اهمیت می‌باشد شاخص کاپا نام دارد (Cohen, 1960). برای مقایسه دو ماهواره ترا و آکوآ ابتدا پایه‌های زمانی یکسان شد (از سال ۲۰۰۲ تا پایان سال ۲۰۱۸ برای هر دو ماهواره). روندهای سالانه (تصاویر طبقه بندی شده بعد از آنالیز من-کندال) هر دو ماهواره توسط ماژول Crosstab و فعال کردن گزینه شاخص کاپا مقایسه شدند. اگر >0.7 کاپا باشد دو ماهواره تقریباً خروجی مشابهی

بررسی منابع نشان می‌دهد که روش‌های ناپارامتری در آزمون روند از کاربرد چشمگیرتری نسبت به روش‌های پارامتری برخوردارند. دلیل این امر را می‌توان نرمال نبودن توزیع نمودار در بازه زمانی طولانی مدت دانست که این امر بستگی به نوع داده‌ی به کار گرفته شده دارد (Sheikh et al. 2012)؛ (Latifovic & Pouliot, 2014). پس از آن مناطق منحصر بفرد افزایشی و کاهش‌ی در هریک از شاخص‌های مورد بررسی براساس منطق بولین، طبقه‌بندی گردید.

۲. تخمین تغییرات حداکثر، میانه و حداقل دمای ماهانه و سالیانه بر اساس تحلیل روند به درجه‌ی سانتی گراد:

بر روی سری‌های زمانی تصاویر آنالیز OLS اعمال شد. از خروجی این آنالیز دو فاکتور بدست آمد: ۱. OLS_{Slope} ۲. $OLS_{Intercept}$ سپس از طریق ماشین حساب نرم‌افزار ترست فرمول‌های زیر روی تصاویر اعمال گردید:

(۴). فرمول $Trend_{end}$ برای سری‌های زمانی سالانه:

$$T_{end} = OLS_{SLOP} * \text{تعداد سال‌های مورد بررسی} + OLS_{Intercept}$$

(۵). فرمول $Trend_{end}$ برای سری‌های زمانی ماهانه:

$$T_{end} = (OLS_{SLOP} * ۱۲) * \text{تعداد ماه‌های سال} + OLS_{Intercept}$$

گرفته شد و ضریب همبستگی برای هر یک از متغیرها بدست آمد و از طریق جدول ضریب همبستگی فشر (جدول ۱) روند آن متغیر در ایستگاه سینوپتیک مورد نظر مشخص شد. برای مقایسه روندهای بدست آمده از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک با روندهای بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای، با استفاده از مختصات جغرافیایی هر ایستگاه، نقاط ایستگاه‌های سینوپتیک بر روی نقشه استان تهران توسط نرم افزار ArcGIS جایگذاری شدند سپس تصاویر ماهواره‌ای روند تغییرات دما اضافه شد. اگر تصویر، دقیقاً روی نقطه ایستگاه سینوپتیک دارای روند بود و همچنین داده‌های ایستگاه سینوپتیک که از طریق نمودار پراکندگی، روند آن مشخص شد نیز دارای روند بودند، نتیجه گرفته می‌شود که روند تصاویر ماهواره‌ای با روند داده‌های سینوپتیک ایستگاه‌ها همخوانی دارد و بالعکس.

داشته‌اند. در این بخش خروجی‌های بدست آمده از دو ماهواره ترا و آکوآ بر اساس طبقه‌بندی آنالیز من-کندل به مناطق دارای روند معنی‌دار افزایشی، کاهشی و بدون روند در کل استان تهران باهم مقایسه شدند. برای مقایسه دو ماهواره از طریق ضریب همبستگی سری‌های زمانی ساخته شده (حداکثر، میانه، حداقل دمای ماهانه و سالانه از ماهواره ترا و آکوآ روی هم گذاری می‌شوند) به بخش Linear Modeling معرفی شد به عنوان مثال سری زمانی حداکثر دمای ماهانه ماهواره ترا به عنوان فاکتور مستقل و سری زمانی حداکثر دمای ماهانه ماهواره آکوآ به عنوان فاکتور وابسته در نظر گرفته شد و ضریب همبستگی بدست آمد. این آنالیز پیکسل به پیکسل سری‌های زمانی دو ماهواره را باهم مقایسه کرده و هرچه ضریب همبستگی (R) بالاتر باشد یعنی در پیکسل‌های مقایسه شده شباهت بیشتری داشته‌اند.

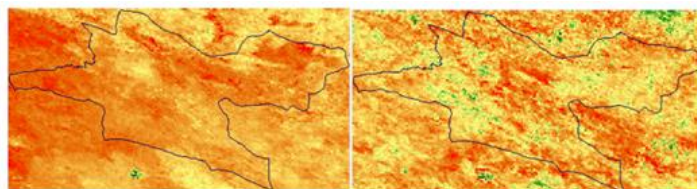
نتایج و بحث

بر روی تمامی تصاویر ماهواره‌ای، آنالیز PCA انجام گرفت اما کیفیت تصاویر بسیار پایین آمد و در بهبود کیفیت آن نقشی نداشت همچنین با انجام آنالیز PCA اطلاعات زیادی حذف شد همانطورکه در شکل ۱ مشاهده می‌شود تصاویر سمت راست قبل از آنالیز PCA بوده و اطلاعات بیشتری نسبت به تصاویر سمت چپ که آنالیز PCA اعمال شده است دارد. در نتیجه برای ادامه‌ی پژوهش از تصاویر اصلی بدون انجام آنالیز PCA استفاده گردید.

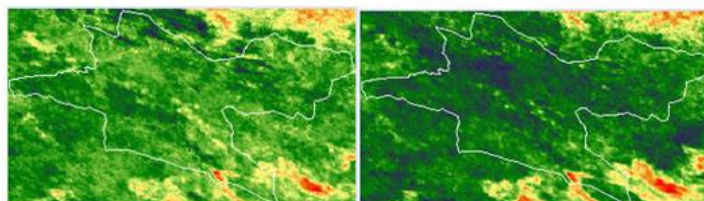
۴. اعتبارسنجی تصاویر ماهواره‌ای با داده‌های ایستگاه‌های

سینوپتیک استان تهران:

برای بررسی صحت داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک به عنوان نمونه از داده‌های سینوپتیک ماهانه حداقل دما استفاده گردید. پس از دریافت این دسته از داده‌ها از سازمان هواشناسی برای هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک استان تهران به صورت جدا جداولی تهیه و داده‌ها براساس ماه و سال مرتب شدند. سپس برای بررسی سری زمانی حداقل دما برای هریک از ماه‌ها نمودار پراکندگی کشیده و خط روند بر روی هر یک از نمودارها ترسیم گردید از R-squareهای بدست آمده جذر



تصویر سمت راست حداقل دمای سالانه بدون اعمال آنالیز PCA و تصویر سمت چپ با اعمال آنالیز PCA



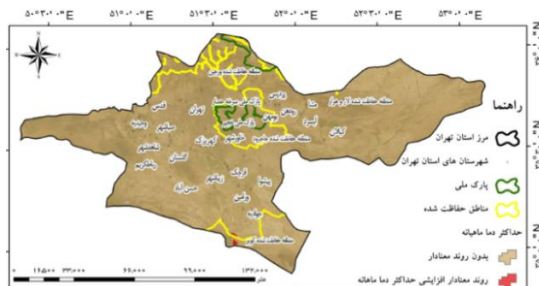
تصویر سمت راست بیانه دمای ماه جون از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ بدون اعمال آنالیز PCA و تصویر سمت چپ با اعمال آنالیز PCA

شکل ۱. تصاویر سمت راست بدون انجام آنالیز PCA و تصاویر سمت چپ با انجام آنالیز PCA

۱. روند تغییرات حداکثر دمای ماهانه

روزانه‌ی هر دو ماهواره در منطقه حفاظت شده کویر و معدودی پیکسل برای تصاویر دمای شبانه‌ی ماهواره آکوا در چیتگر که روند معنادار صعودی را نشان دادند.

نتایج نشان داد حداکثر دمای ماهانه براساس تصاویر ماهواره ترا و آکوا در سطح ۱٪ تقریباً بدون روند معنادار می‌باشد (به جز معدودی پیکسل با توجه به نقشه (۲) برای تصاویر دمای

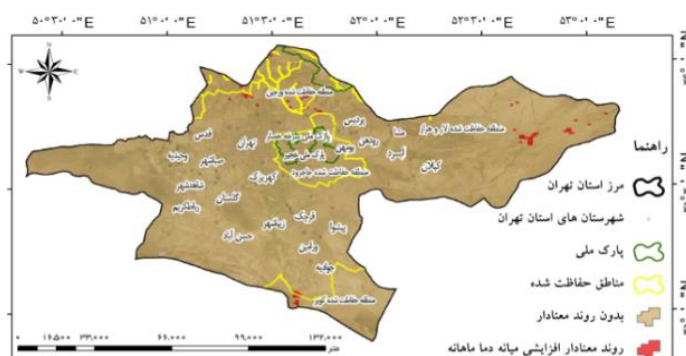


نقشه ۲. روند تغییرات حداکثر دمای ماهانه داده‌های روزانه

۲. روند تغییرات میانه دمای ماهانه

جنوب منطقه حفاظت شده کویر دیده شد همچنین روند معنادار افزایشی برای تصاویر روزانه و شبانه ماهواره آکوا با توجه به نقشه (۳) در شرق استان تهران، منطقه حفاظت شده ورجین و منطقه چیتگر به صورت پراکنده دیده شد.

روند تغییرات میانه دمای ماهانه به صورت پراکنده و افزایشی برای تصاویر روزانه ماهواره ترا در منطقه حفاظت شده کویر و برای تصاویر شبانه این ماهواره در استان فیروزکوه و

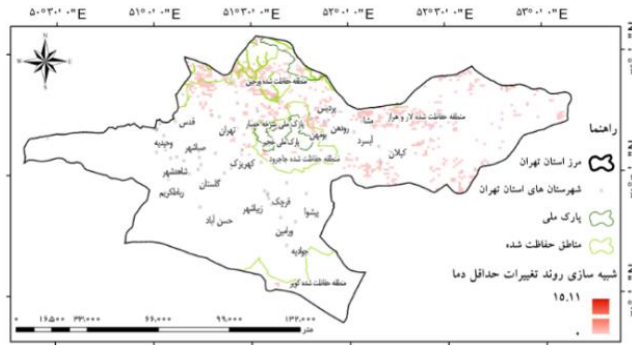


نقشه ۳. روند تغییرات میانه دمای ماهانه تصاویر روزانه آکوا

۳. روند تغییرات حداقل دمای ماهانه

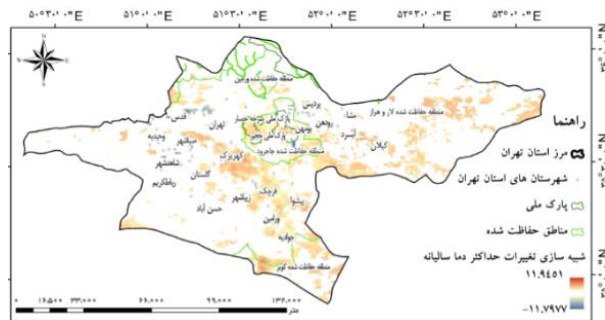
۴. حداقل دمای سالیانه
برای تصاویر روزانه ماهواره ترا و آکوا و تصاویر شبانه ماهواره آکوا در شهرستان فیروزکوه و مناطق حفاظت شده استان تهران روند معنادار افزایشی و بر اساس نقشه (۴) مقدار افزایش آن تقریباً در محدوده رنگی صورتی روشن قرار دارد که حدود ۲.۵ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد.

تصاویر ماهواره ترا روندی را نشان ندادند. تصاویر ماهواره آکوا نیز تقریباً بدون روند بوده به جز چند پیکسل معدود برای تصاویر روزانه و شبانه به ترتیب در منطقه حفاظت شده کویر، جنوب پارک ملی خجیر و چیتگر که روند معنادار افزایشی داشتند.

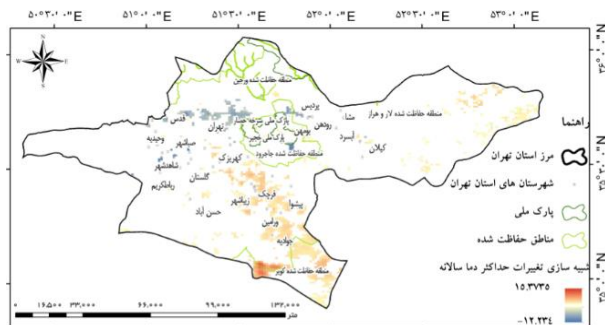


نقشه ۴. تخمین روند تغییرات حداقل دمای سالانه براساس تصاویر روزانه ماهواره آکوآ

۵. حداکثر دمای سالانه بر اساس حداکثر دمای ماهانه
 پردیس روند معنادار افزایشی تا ۳ درجه سانتی گراد براساس
 نقشه‌های (۵ و ۶) دیده شد.
 جز جنوب پارک ملی خجیر، شهر قدس، چیتگر، کن و

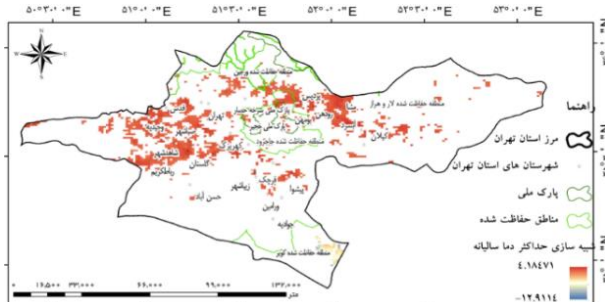


نقشه ۵ تخمین روند تغییرات حداکثر دمای سالانه از حداکثر دمای ماهانه تصاویر روزانه ماهواره ترا به درجه سانتی گراد

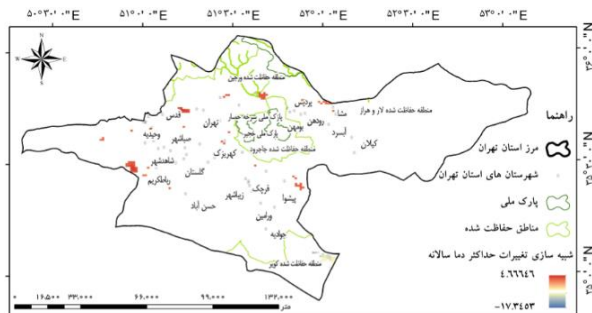


نقشه ۶. تخمین روند تغییرات حداکثر دمای سالانه از حداکثر دمای ماهانه تصاویر روزانه ماهواره آکوآ به درجه سانتی گراد

روند تغییرات براساس تصاویر شبانه مطابق نقشه‌های (۷ و ۸) تا ۳.۵ درجه سانتی گراد می‌باشد.



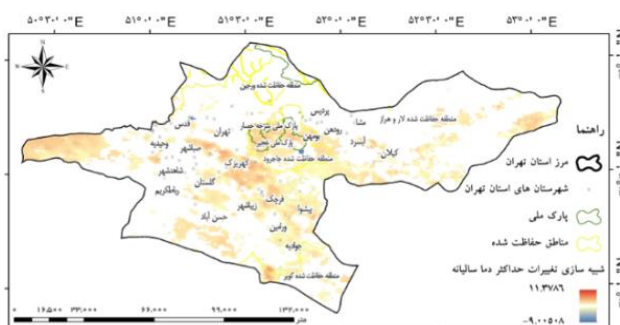
نقشه ۷. تخمین روند تغییرات حداکثر دمای سالانه از حداکثر دمای ماهانه تصاویر شبانه ماهواره ترا به درجه سانتی گراد



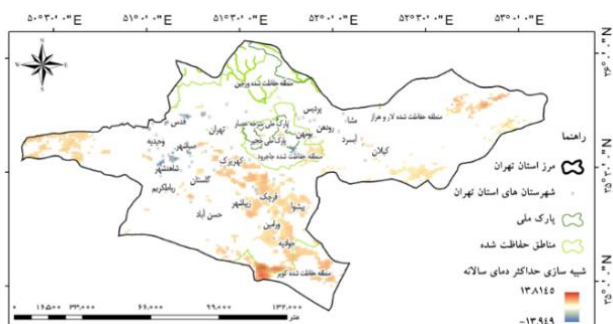
نقشه ۸. تخمین روند تغییرات حداکثر دمای سالانه از حداکثر دمای ماهانه تصاویر شبانه ماهواره آکوا به درجه سانتی‌گراد

ملی خجیر که روند معنادار کاهشی داشت در تصاویر روزانه ماهواره آکوا از تعداد نقاط دارای روند معنادار افزایشی کاسته شده و به نقاط دارای روند معنادار کاهشی اضافه شده است.

۶. حداکثر دمای سالانه بر اساس میانه دمای ماهانه تصاویر روزانه حداکثر دمای سالانه بر اساس میانه دمای ماهانه ماهواره ترا در اکثر نقاط استان تهران روند معنادار افزایشی را تقریباً تا ۲.۵ درجه سانتی‌گراد با نوجه به نقشه‌های (۹ و ۱۰) نشان داد به جز چیتگر و جنوب پارک



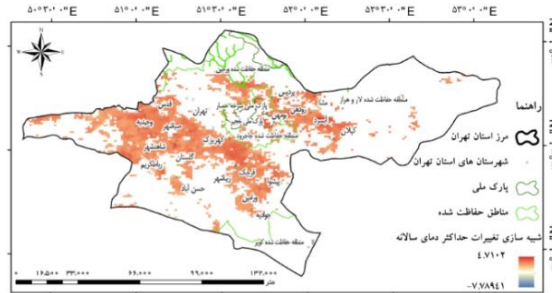
نقشه ۹. تخمین روند تغییرات حداکثر دمای سالانه از میانه دمای ماهانه تصاویر روزانه ماهواره ترا به درجه سانتی‌گراد



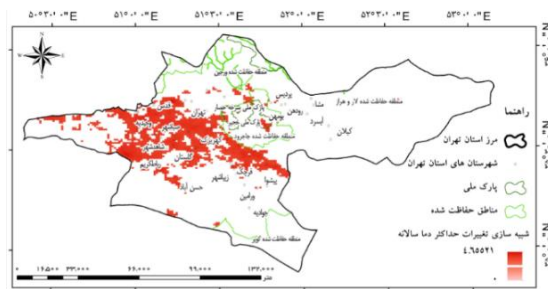
نقشه ۱۰. تخمین روند تغییرات حداکثر دمای سالانه از میانه دمای ماهانه تصاویر روزانه ماهواره آکوا به درجه سانتی‌گراد

برای درک بهتر سری زمانی می‌توان به نمودار سری زمانی تغییرات حداکثر دمای سالانه براساس میانه دمای ماهانه (شکل ۲) اشاره کرد.

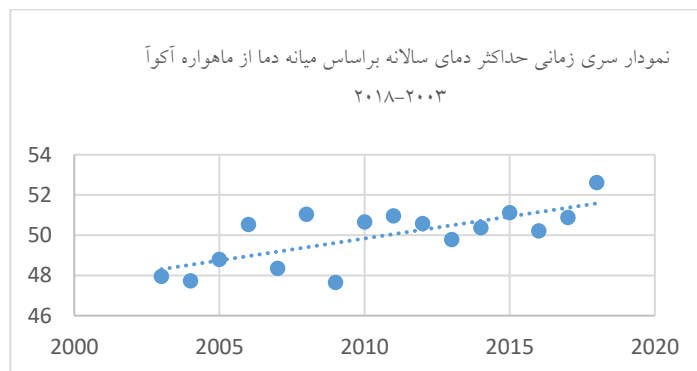
داده‌های شبانه هر دو ماهواره روند معنادار افزایشی را در اکثر نقاط استان تهران تقریباً تا ۳ درجه سانتی‌گراد با توجه به نقشه‌های (۱۱ و ۱۲) نشان دادند اما در ماهواره آکوا تعداد این نقاط کمتر بوده و بیشتر در غرب استان متمرکز است.



نقشه ۱۱. تخمین روند تغییرات حداکثر دمای سالانه از میانه دمای ماهانه تصاویر شبانه ماهواره ترا به درجه سانتی‌گراد



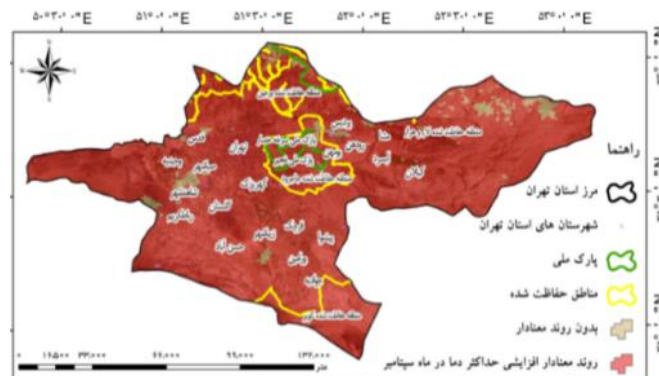
نقشه ۱۲. تخمین روند تغییرات حداکثر دمای سالانه از میانه دمای ماهانه تصاویر شبانه ماهواره آکوا به درجه سانتی‌گراد



شکل ۲. نمودار سری زمانی حداکثر دمای سالانه براساس میانه دمای ماهانه از تصاویر ماهواره آکوا

۷. روند تغییرات حداکثر، میانه و حداقل دمای هر ماه در طی سال‌های مورد بررسی: سپتامبر، اکتبر و نوامبر (شهریور-مهر-آبان) افزایشی نقشه (۱۳) و در ماه‌های فوریه و آگوست (بهمن-مرداد) هر دو روند معنادار افزایشی و کاهشی مشاهده گردید.

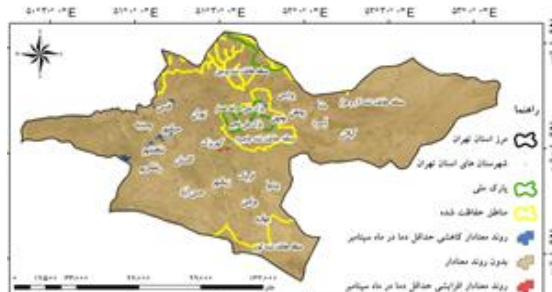
روند تغییرات حداکثر و میانه دما در ماه‌های مارس، آوریل و می (اسفند، فروردین، اردیبهشت) کاهشی و برای ماه‌های



نقشه ۱۳. حداکثر و میانه دما در ماه سپتامبر طی ۱۶ سال بر اساس تصاویر روزانه ماهواره ترا

سپتامبر نقشه (۱۴) و آگوست هر دو روند کاهشی و افزایشی مشاهده گردید.

روند تغییرات حداقل دما تقریباً بدون روند معنادار اما در چند پیکسل معدود در ماه‌های فوریه، مارس، آوریل، نوامبر و دسامبر افزایشی، برای ماه اکتبر کاهشی و برای ماه‌های می،



نقشه ۱۴. حداقل دما در ماه سپتامبر طی ۱۷ سال بر اساس تصاویر روزانه ماهواره ترا

داده‌های حداقل دمای ماه جون از ایستگاه سینوپتیک مهرآباد (جدول ۲) مرتب گردید و نمودار پراکندگی آن (شکل ۳) کشیده شد سپس خط روند آن ترسیم گردید و از R^2 squared بدست آمده جذر گرفته شد. ($r = 0.1044$) و با توجه به جدول ضریب همبستگی فیشر و نحوه کار با آن که در بخش روش کار توضیح داده شد، حداقل دمای ماه جون (خرداد) ایستگاه سینوپتیک مهرآباد طی سال‌های ۲۰۰۲-۲۰۱۸ بدون روند معنادار بوده است.

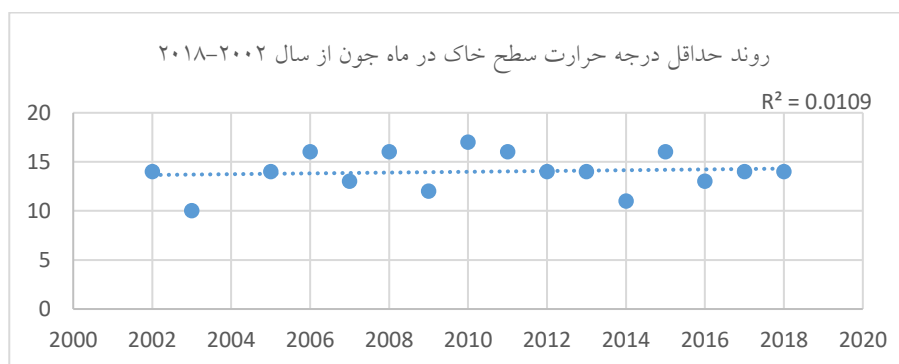
۸. اعتبارسنجی تصاویر ماهواره‌ای با داده‌های ایستگاه‌های

سینوپتیک استان تهران

براساس نتایج بدست آمده از تحلیل رگرسیونی داده‌های حداقل دمای ایستگاه‌های سینوپتیک و مقایسه آن با تحلیل روند تصاویر حداقل دمای ماهواره‌ای به شباهت ۹۸.۳ درصدی بین روند تغییرات تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های زمینی رسیدیم که در این بین روند تغییرات ماهواره آکوا شباهت بیشتری نسبت به ماهواره ترا به روند تغییرات داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک داشت. به عنوان مثال

جدول ۲- جدول حداقل درجه حرارت سطح خاک ماه جون (خرداد) طی سال‌های ۲۰۰۲-۲۰۱۸

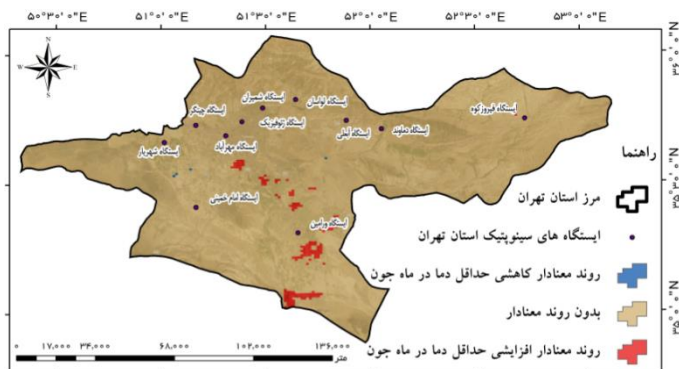
حداقل درجه حرارت سطح خاک ماه جون (خرداد) طی سال‌های ۲۰۰۲-۲۰۱۸																	
سال	۲۰۰۲	۲۰۰۳	۲۰۰۴	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۱۸
درجه حرارت	۱۴	۱۰	No data	۱۴	۱۶	۱۳	۱۶	۱۲	۱۷	۱۶	۱۴	۱۴	۱۱	۱۶	۱۳	۱۴	۱۴



شکل ۳. نمودار روند تغییرات حداقل درجه حرارت سطح خاک در ماه جون از سال ۲۰۰۲-۲۰۱۸

ایستگاه سینوپتیک مهرآباد را بدون روند معنادار نشان داد پس می‌توان نتیجه گرفت که در این آنالیز داده‌ها و تصاویر با هم همخوانی دارند. این روش برای همه متغیرهای حداقل دما و همه ایستگاه‌های سینوپتیک استان تهران انجام گرفت.

با توجه به (نقشه ۱۵) چون در نقطه جغرافیایی ایستگاه سینوپتیک مهرآباد تغییرات تصاویر ماهواره‌ای حداقل دمای ماه جون بدون روند معنادار است و نمودار پراکندگی ترسیم شده نیز تغییرات داده‌های حداقل دمای ماه جون (خرداد)



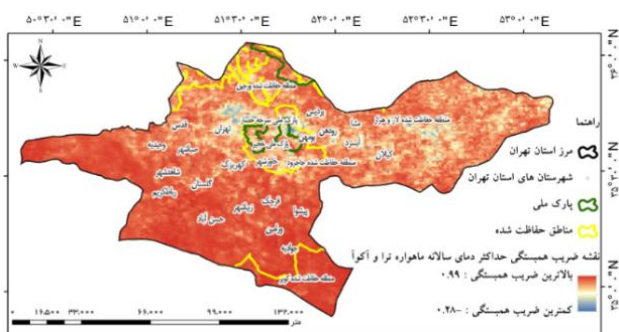
نقشه ۱۵. روند تغییرات حداقل دمای ماه جون (خرداد) از ماهواره آکوآ

سنجنده مودیس ماهواره ترا و ماهواره آکوآ با یکدیگر می‌باشد. تصاویر درجه حرارت ماهانه دو ماهواره ضرب همبستگی بیشتری نسبت به تصاویر درجه حرارت سالانه دارد همچنین در این مقایسه تصاویر روزانه این دو ماهواره ضرب بالاتری نسبت به تصاویر شبانه بین این دو ماهواره داشته است.

۹. مقایسه شباهت سنجنده مودیس در دو ماهواره‌ی

Aqua و Terra

بر اساس نتایج بدست آمده از آنالیز Linear Modeling و نقشه (۱۵) تحلیل ضریب همبستگی R سری‌های زمانی دو ماهواره در اکثر نقاط استان تهران در محدوده قرمز رنگ با ضریب همبستگی ۰.۹۹ بوده که نشان‌دهنده شباهت بالای



نقشه ۱۵. نقشه ضریب همبستگی حداکثر دمای سالانه تصاویر روزانه سنجنده مودیس بین دو ماهواره ترا و آکوآ

نویز احتمالی تصاویر نیز این شاخص زیر ۰.۷ بود. مشاهده چشمی تصاویر روند نیز بیانگر این موضوع بود، در برخی نقاط حجم و گستردگی قسمت‌های طبقه‌بندی شده بین دو ماهواره متفاوت بوده است همچنین در برخی از نتایج، ناحیه‌ای که یک ماهواره دارای روند نشان داده ماهواره دیگر بدون روند تغییرات گزارش کرده است.

شاخص کاپا بر اساس تصاویر روزانه حداکثر دمای سالانه ۰.۴۱، جدول (۳) و بر اساس تصاویر شبانه ۰.۱۸ بدست آمد. بررسی شاخص کاپا بین روند تغییرات حداکثر دمای سالانه دو ماهواره ترا و آکوآ زیر ۰.۷ بوده که نشان دهنده شباهت کم بین قسمت‌های طبقه‌بندی شده در سطح کل استان تهران در دو ماهواره است. حتی بعد از اعمال آنالیز PCA و رفع

جدول ۳. جدول شاخص کاپا برای تصاویر روزانه حداکثر دمای سالانه

Kappa Index of Agreement (KIA)

1) Using reclassAnMaxmomaALstD_LC_R as the reference image

Category	KIA
0	0.3164
1	0.6074
2	0.1260

2) Using reclasscrosstabanmaxlstday_LC_R as the reference image

Category	KIA
0	0.5778
1	0.3191
2	0.7486

Overall Kappa: 0.4115

نتیجه‌گیری

دما از عناصر اساسی شکل‌گیری اقلیم می‌باشد که تغییرات آن می‌تواند ساختار آب و هوایی هر محل را دگرگون سازد (Zohrabi, 2016). شناخت چگونگی روند تغییرات متغیرهای اقلیمی از جمله مواردی است که در سال‌های اخیر مورد توجه محققین علوم جوی و هیدرولوژی می‌باشد (Khoshravesh, 2018). با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان گفت نشانه‌های تغییر اقلیم در استان تهران، به ویژه از نظر دما، قابل مشاهده است. تغییرات متغیرهای دمای سطح زمین روند معنادار افزایشی داشته که با نتایج تحقیقات ژانگ (Zhang .et .al. 2016) و نایت و همکاران (Knight.et.al. 2018) هم‌خوانی دارد. افزایش غیر منطقی و یا ناگهانی در یک منطقه که در شبیه‌سازی روند تغییرات دمایی به درجه سانتی‌گراد دیده شد می‌تواند به دلیل ساخت و ساز بی‌رویه، نزدیکی به شهرک‌های صنعتی و خشک شدن رودخانه، دریاچه تالاب و... باشد. با توجه به نتایج بدست آمده، سنجنده مودیس به منظور بررسی تغییرات بلندمدت و درک بهتر از روند تغییرات توصیه می‌گردد. همچنین سنجنده مودیس ماهواره ترا و آکوآ در سری‌های زمانی در اکثر نقاط استان تهران دارای ضریب همبستگی بالایی بوده و شباهت مناسبی با یکدیگر داشته است به جز شهر تهران و شرق استان تهران (شهرستان فیروزکوه) که می‌تواند این اختلاف به دلیل مسکونی بودن، دخالت‌های انسانی، آلودگی به دلیل تراکم بیشتر جمعیت و استفاده کشاورزی از زمین‌ها و برداشت

محصولات باشد. اگرچه براساس شاخص کاپا (زیر ۰.۷) و شباهت کمی که در خروجی‌های مناطق طبقه‌بندی شده‌ی معنادار و بدون روند، در کل استان تهران بین دو ماهواره دیده شد، به نظر می‌رسد عدم قطعیت در تفسیر داده‌های حاصل از طبقه‌بندی تصاویر سنجنده مودیس وجود دارد. لذا باید در انتخاب نوع ماهواره برای سنجنده مودیس دقت کرد. بر اساس نتایج اعتبارسنجی شباهت ۹۸.۳ درصدی تصاویر ماهواره‌ای حداقل دما با داده‌های حداقل دمای ایستگاه‌های سینوپتیک استان تهران حاکی از هم‌خوانی قابل قبول بین روند تغییرات تصاویر ماهواره‌ای و روند تغییرات داده‌های زمینی است همچنین ماهواره آکوآ برای بررسی روند تغییرات دمایی قابل اطمینان‌تر از ماهواره ترا می‌باشد زیرا نسبت به ماهواره ترا در متغیر حداقل دما شباهت بیشتری به داده‌های زمینی از خود نشان داد. به منظور شناسایی اثرات اکولوژیکی، روند تغییرات دمایی، در مناطق حفاظت شده و پارک‌های ملی استان تهران بررسی شد. براساس کل نقشه‌های بدست آمده در منطقه حفاظت شده جاجرود روند تغییرات بیشتری نسبت به دیگر مناطق حفاظت شده‌ی استان تهران دیده شد.

پیشنهاد می‌شود چگونگی تاثیر تغییرات دمایی مشخص شده در مناطق حفاظت شده بر مهاجرت و جابجایی گونه‌ها و تاثیر آن بر روند تغییرات زاد و ولد، فراوانی و تنوع گونه‌ای مورد بررسی قرار گیرد. روش مورد استفاده در این تحقیق می‌تواند به عنوان روشی جامع برای مطالعات آبی در خصوص شناسایی روند تغییرات آب و هوایی با استفاده از

- داده‌های دورسنجی به خصوص در مواردی که اطلاعات منطقه‌ی مطالعاتی محدود و نامطمئن است، مورد استفاده قرار گیرد. با در نظر گرفتن روند افزایش دمای سطح زمین و نقش آن در افزایش میزان تبخیر و تعرق، باید به دنبال راهکارهایی برای مدیریت بهتر منابع آب و اصلاح روش‌های بهره‌برداری آن، به ویژه در بخش کشاورزی و صنعت در استان تهران بود.
- منابع**
5. Dettinger, M.D., Cayan, D.R., Meyer, M., & Jeton A.E. (2004). Simulated hydrologic responses to climate variations and change in the Merced, Carson and American River basins, Sierra Nevada, California, 1900-2099. *Climate Change*, 62: 283-31
 6. Domonkos, P. (2003). Long term changes in observed temperature and precipitation series 1901 - 1998 from Hungary and their relations to larger scale changes. *Theoretical and Applied Climatology*, Volume 75, Numbers 3-4 / September, pp 131-147.
 7. Domroes, M., A. El-Tantawi. (2005). Recent temporal and spatial temperature changes in Egypt. *International Journal of Climatology*, 25(1), January, pp 51-63.
 8. Dracup, J.A., Vicuna, S. (2005). An Overview of Hydrology and Water Resources Studies on Climate Change: the California Experience. *Proc EWRI2005 Impacts of Global Climate Change*.
 9. Eastman J.R., (2015). *TerrSet TUTORIAL* Clark University
 10. Ghasami, S. (2017). Analysis of changes Using the method of Mann-Kendall (Case Study of Four townships of Chaharmahal and Bakhtiari Province). , 10(37), 149-166.
 11. Heydari Alamdarloo, E., Zehtabian, G., Khosravi, H., Raygani, B., Khalighi, S., & Taghizadeh, R. (2019). Investigation on the Climatic Parameters Fluctuation Using Data from the The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (Case study: Shirkouh Region - Yazd Province), *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 13(46), 22-31. magiran.com/p2046178
 1. Ansari, M., Noori, G., & Fotohi, S. (2017). Investigation of temperature precipitation and flow trend using nonparametric mankendall (Case Study: Kaju river in Sistan and Baluchestan). *Journal of Watershed Management Research*, 7(14), 152-158. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=550980>
 2. Asfaw, A. (2018). "Variability and time series trend analysis of rainfall and temperature in northcentral Ethiopia (case study: Woleka sub-basin)." *Weather and Climate Extremes* 19: 29-41.
 3. Azizi, G., Roushani, M. (2008). Using Mann-Kendall Test to Recognise of Climate Change in Caspian Sea Southern Coasts. *Geographical Research Quarterly*, 40(64), -. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?ID=113380>
 4. Clark.T.S. (2003), *Regional Climate Change: Trends Analysis of Temperature and Precipitation Series at Canadian Sites*, *Canadian Journal of Agricultural Economics*, and 48(1): 27-38.

- in the Continental United States, 1948-88. *Journal of Climate*, 7(4), April, pp 586-607.
20. Mahdavi, M. (2013). *Applied Hydrology* (2 ed., Vol. 1). University of Tehran press.
21. Mousavi, A., Farahpour, M., Shokri, M., Solaimani, K., & Godarzi, M. (2006). Vegetation cover change during 25 years, Case of Lar Dam Basin, *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 13(3), 186. magiran.com/p445067
22. Rayegani, B. (2019). Identification of potential dust sources using remote sensing data (Case Study: Alborz Province), *Journal of Natural environment hazards*, 8(20), 1-19. magiran.com/p1978200
23. Rayegani, B., Barati Ghahfarokhi, S., & Khoshnava, A. (2019). Dust & sand source identification using remotely sensed data: a comprehensive approach. *Journal of Range and Watershed Management*, 72(1), 83-105. magiran.com/p1997842
24. Rayegani, B., Arzani, H., Moghadami, M., & Heydari, E. (2019). Application of remote sensing to assess climate change effects on plant productivity and phenology (Case study area: Tehran Province), *Journal of Rangeland*, 13(3), 450-460. magiran.com/p2040485
25. Rayegani, B., Barati, S., Goshtasb, H., Sarkheil, H., & Ramezani, J. (2019). An effective approach to selecting the appropriate pan-sharpening method in digital change detection of natural ecosystems. *Ecological Informatics*, 53, 100984.
26. Rayegani, B., Jahani, A., Satari Rad, A., & Shoghi, N. (2018). Predicting of land use
12. Hansen je., & lebedoff. (1990). Sun and dust versus the greenhouse gases: an assessment of their relative roles in global climate.
13. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. In: Houghton, J.T. et al. (Eds.), *The Third Assessment Report of Working*
14. Kendall M, 1975. *Rank Correlation Methods*. London: Charles Griffin.
15. Kermani, F., Rayegani, B., Nezami, B., Goshtasb, H., & Khosravi, H. (2018). Assessing the vegetation trends in arid and semi-arid regions (Case study: Touran Protected Area), *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 6(17), 1-14. magiran.com/p1804084
16. Khoshravesh, M., Mirnaseri, M., & Mahsa Pesarakloo, M. (2018). Change detection of precipitation trend of northern part of Iran using mann- kendall non-parametric test, *Journal of Watershed Management Research*, 8(16), 223-231. magiran.com/p1801187
17. Knight, JH. Minasny, B. McBratney, AB., Koen, TB., & Murphy, BW. 2018. Soil temperature increase in eastern Australia for the past 50years. *Geoderma*. 313: 241-249.
18. Kumar, P. V., Bindi, M., Crisci, A., & Maracchi, G. (2005), Detection of variations in air temperature at different time scales the period 1889-1998 at Firenze, Italy. *Climatic change*, 72, 1-2 / September, pp 123-150.
19. Lettenmaier, D. P., Wood, E. F., & Wallis, J. R. (1994). *Hydro –Climatological Trends*

30. Teferi, E., Uhlenbrook, S., & Bewket, W. (2015). Inter-annual and seasonal trends of vegetation condition in the Upper Blue Nile (Abay) Basin: dual-scale time series analysis. *Earth System Dynamics*, 6 (2).
31. Willis, K.S. (2015). Remote sensing change detection for ecological monitoring in United States protected areas. *Biological Conservation* 182, 233-242.
32. Zhang, H., Wang, E., Zhou, D., Luo, Z., & Zhang, Z. (2016). Rising soil temperature in China and its potential ecological impact. *Scientific reports*. 6:
33. Zohrabi, N., Massah Bavani, A., Goodarzi, E., & Heidarnejad, M. (2016). Identify trend in the annual temperature and precipitation in Karkheh river basin, *Journal of Wetland Ecobiology*, 8(2), 5-22. magiran.com/p1661329 1-8.
- changes for 2030 using remote sensing and Landsat multi-temporal images (case study: Mashhad). *Town and Country Planning*, 10(2), 249-269.
27. Seleshi, Y., & Zanke, U. (2004). Recent changes in rainfall and rainy days in Ethiopia *International Journal of Climatology*, 24(8), June, pp 973-983.
28. Sheikh, V.B., Bahremand, A., & Mooshakhian, Y. (2012). A comparison of trends in hydrologic variables in the Atrak river basin using non-parametric trend analysis tests. *water and soil conservation*. 2, 1-22.
29. Tayanç, M., Im, U., Doğruel, M., & Karaca, M. (2009). Climate change in Turkey for the last half century. *Climatic change*, 94, 3-4/June, pp 483-502.