

The Trend Analysis of NDVI index in the elevation Class of Iran

Omid Reza Kefayat Motlagh^{1*}, Seyed Abolfazl Masoodian²

¹ MSC Student of Climatology, University of Isfahan, Isfahan, Iran

² Professor, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Abstract

As vegetation and its variations have an effective influence, it is indispensable to be aware of the vegetation changes for each of the given geographic territory. The aim of this study is to examine trends in the NDVI index over Iran's elevation class. For this purpose, the MODIS Aqua Satellite NDVI data were obtained from July 4th 2002 to March 14th 2015. The 16 days long term mean of NDVI was computed based on the analysis of 10 billion pixels and, at the next step, a matrix was constructed in 111*293, which the rows were the representatives of the elevation class from -50 to 5500m in 50 meter steps and the columns showed the long term mean of the NDVI in the 16 days temporal resolution. The trend investigation using Mann-Kendall trend test revealed a positive trend for 400-450, 450-500, 500-550, 700-750 and 1250-1300 m elevation class at 0.95 level of significance, the other remaining elevation class showed no significant trend.

Key words: Vegetation, NDVI, MODIS Aqua, Iran

* o.kefayatmotlagh@gmail.com

بررسی روند تغییرات نمایه NDVI ایران در کمربندهای ارتفاعی

امیدرضا کفایت‌مطلق^{*}: دانشجوی کارشناسی ارشد آب‌وهواشناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

سید ابوالفضل مسعودیان: استاد آب‌وهواشناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

وصول: ۱۳۹۴/۰۸/۲۹ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۲۷، صص ۸۴-۷۱

چکیده

از آنجا که پوشش گیاهی و تغییرات آن دارای نقش تأثیرگذاری در فراسنج‌های اقلیمی هستند، آگاهی از تغییرات پوشش گیاهی هر منطقه جغرافیایی اهمیت بسیاری دارد. در پژوهش حاضر، روند تغییرات نمایه NDVI ایران در کمربندهای ارتفاعی بررسی شد؛ به این منظور، ابتدا داده‌های ۱۶ روزه نمایه تفاضل به‌هنجارشده پوشش گیاهی (NDVI) مودیس آکوا برای بازه زمانی ۱۳۸۱/۴/۱۳ تا ۱۳۹۳/۱۲/۲۳ از تارنمای مودیس دریافت شدند. سپس بر مبنای نزدیک به ۱۰ میلیارد یاخته، میانگین بلندمدت ۱۶ روزه NDVI ایران محاسبه و یک آرایه مکان-زمان به ابعاد ۱۱۱×۲۹۳ حاصل شد که ردیف‌های آن، طبقه‌های ارتفاعی ایران با بازه ۵۰ متر از منفی ۵۰ تا ۵۵۰۰ متر تعریف شدند و ستون‌های آن، میانگین بلندمدت نمایه NDVI با بازه ۱۶ روزه را نشان دادند. بررسی روند تغییرات با آزمون من کندال در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان داد طبقه‌های ارتفاعی ۴۰۰ تا ۴۵۰، ۴۵۰ تا ۵۰۰، ۵۰۰ تا ۵۵۰، ۵۵۰ تا ۷۰۰ و ۷۰۰ تا ۷۵۰ و ۱۲۵۰ تا ۱۳۰۰ متری دارای روند مثبت نمایه NDVI و دیگر طبقه‌های ارتفاعی بدون روند هستند و هیچ ارتفاعی در ایران روند منفی ندارد. واژه‌های کلیدی: پوشش گیاهی، نمایه NDVI، سنجنده مودیس آکوا، ایران.

مقدمه

پیشرفت فناوری ماهواره‌ای طی سال‌های گذشته سبب شده است کارشناسان علوم زمین، سیاره زمین را به‌طور همه‌جانبه و با دقت بیشتری مطالعه کنند؛ این مطالعه‌ها با بهره‌گیری از روش‌های دورسنجی و پرداخت هزینه‌های مالی و اتلاف وقت کمتر انجام می‌شوند و نتایج بسیاری از آنها مستند هستند. مطالعه‌های پوشش گیاهی از جمله مطالعه‌های مهمی هستند که با استفاده از مطالعه‌های دورسنجی انجام و از راه آنها، رشد، بیماری، رطوبت، خشکی و شادابی گیاه مطالعه می‌شوند. پوشش‌های مختلف، زنده یا غیرزنده، واکنش متفاوتی در برابر امواج الکترومغناطیس نشان می‌دهند که به آشکارسازی اختلاف پوشش‌های مختلف کمک می‌کند؛ از این‌رو، پژوهشگران بسیاری از داده‌های دورسنجی برای بررسی پوشش گیاهی استفاده و این روش را برای این دسته مطالعه‌ها مناسب ارزیابی کرده‌اند (Glenn et al, 2008: 2137). هدف ایجاد نمایه‌های پوشش گیاهی اینست که برخی ویژگی‌های پوشش گیاهی مانند ویژگی‌های تاج‌پوشش، زیست‌توده، گستره برگ یا درصد پوشش گیاهی پیش‌بینی و ارزیابی شوند. بازتاب پوشش گیاهی در محدوده طیفی نور مرئی (۰/۴۳ تا ۰/۶۶ میکرومتر) کم و در محدوده فروسرخ نزدیک (۰/۷ تا ۱/۱ میکرومتر) زیاد است و سه ویژگی مهم برگ شامل سبزینه، ساختار فیزیولوژیک و میزان آب اثر مهمی در بازتاب طیفی آن دارند؛ باتوجه‌به این مهم، ترکیب باندهای طیفی نور مرئی و فروسرخ نزدیک به بازشناسی پوشش گیاهی از خاک و آب کمک می‌کند. شرایط خاک زمینه، اثر چشمگیری در بازتاب طیفی و محاسبه نمایه‌های پوشش گیاهی دارد (علوی‌پناه، ۱۳۸۵: ۱۷۲-۱۷۱).

ایران به علت گستردگی بسیار از نظر طول و عرض جغرافیایی، وجود پیچیدگی پیکربندی ناهمواری‌ها و قرارگیری در معرض یورش توده‌های هوا دارای شرایط ویژه‌ای از نظر پوشش گیاهی است. پوشش گیاهی تحت‌تأثیر عرض جغرافیایی، ارتفاع و توده‌های هوا قرار دارد و با تغییر هر یک از این عوامل، تغییر می‌کند؛ به عبارتی، شرایط کلی پوشش گیاهی تابعی از عرض جغرافیایی و ارتفاع است و عوامل دیگر مانند دما، بارش و حتی نوع خاک در رویش گیاه در هر مکان نقش دارند. برای بیان وابستگی بین ارتفاع و پوشش گیاهی به پژوهش فرج‌زاده و همکاران اشاره می‌شود: فرج‌زاده اصل و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی نشان دادند نتایج رگرسیونی نشان‌دهنده همبستگی بیشتر در مراتع دارای تراکم ۵۱ تا ۷۵ درصد هستند و مقدار همبستگی در مراتع دارای تراکم ۱۰ تا ۲۵ درصد، کم و ناشی از ارتفاع کم از سطح دریا، اثر پس‌زمینه خاک و حواشی سطوح کشاورزی است. ایشان دریافتند ارتفاع کم در مراتع دارای تراکم ۱۰ تا ۲۵ درصد، عامل افزایش دما و انتقال شروع سبزیگی به اسفندماه (مارس) است، درحالی‌که شروع سبزیگی در مراتع دارای تراکم ۵۱ تا ۷۵ درصد در اردیبهشت‌ماه (می) اتفاق می‌افتد؛ بنابراین، بیشترین مقدار R^2 در مراتع متراکم (۰/۶۴۷۸) به اردیبهشت‌ماه (می) و کمترین مقدار در مراتع کم‌ارتفاع (۰/۱۳۶) به مردادماه (اوت) تعلق دارد (فرج‌زاده اصل و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۰۷). آزمون من‌کندل، یکی از آزمون‌های ناپارامتریک برای تعیین روند است. پژوهشگران بسیاری، این آزمون را برای تعیین روند شاخص‌های اقلیمی استفاده کرده‌اند، از جمله Carbajal و همکاران (۱۹۹۳) که با بررسی بارش و دمای حوضه رودخانه

روندهای فضایی و مکانی متفاوتی را با میان‌یابی بارش حوضه یانگ‌تسه با تفکیک مکانی ۰/۵ درجه جغرافیایی برای بخش‌های مختلف مشخص کردند (Becker et al., 2006: 435). Feidas و همکاران (۲۰۰۷) روند سری بارش ۵۰ سال اخیر یونان را در ارتباط با نمایه‌های گردشی جو بررسی کردند و با انجام دو روش حداقل مربعات و من کندال روی داده‌های بارش یونان معتقدند روند بارش سالانه و زمستانه یونان از سال ۱۹۸۴ به بعد کاهش یافته است (Feidas et al., 2007: 155).

پژوهشگران داخلی نیز با استفاده از آزمون من کندال، بررسی‌هایی در نقاط مختلف کشور انجام داده‌اند. کاویانی و عساکره (۱۳۸۴) روند بارش را با روش‌های شاخصی و غیرشاخصی در ایستگاه اصفهان طی دوره آماری ۱۰۳ ساله تحلیل کردند و یافته‌های آنها، وجود هیچ روندی را به کمک روش‌های استفاده‌شده تأیید نکردند (کاویانی و عساکره، ۱۳۸۴: ۱۵۳-۱۵۱). طباطبایی و حسینی (۱۳۸۲) افزایش بارش در زمستان (۵ درصد) و تبخیر طی تابستان را در سمنان تشخیص دادند (طباطبایی و حسینی، ۱۳۸۲: ۶). کتیرایی و همکاران (۱۳۸۶) روند بارش ایران را به کمک آزمون من کندال طی سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱ بررسی کردند. یافته‌های آنها نشان دادند ایستگاه‌های واقع در منطقه غرب و شمال‌غرب دارای روند بارش سالانه کاهشی و بیشتر ایستگاه‌های واقع در نواحی جنوبی و مرکزی ایران دارای روند افزایشی هستند. روند بارش فصل زمستان به روند بارش سالانه شبیه است، اما روند بارش فصل بهار در بیشتر ایستگاه‌ها کاهشی و فصل پاییز افزایشی است (کتیرایی و همکاران، ۱۳۸۶: ۶۷). عزیززی و روشنی (۱۳۸۷)

اکونکاگو در شیلی به کمک آزمون من کندال نشان دادند روند معناداری در بارش دیده نمی‌شود، هرچند دما روند معنادار افزایشی دارد (Carbajal et al., 1993: 46-51). Kumar و Singh (۱۹۹۷)، با مطالعه رابطه بارش با ارتفاع در هیمالیای غربی نتیجه گرفتند این رابطه در دامنه‌های رو به باد، مستقیم است و دریافتند به ازای هر ۱۰۰ متر در دامنه‌های رو به باد و پشت به باد بخش میانی هیمالیا به ترتیب ۱۰۶ و ۱۳ میلی‌متر بارش ثبت می‌شود. به نظر می‌رسد نزدیک‌بودن به اقیانوس هند، رطوبت بسیار زیاد جریان‌های موسمی و در نتیجه ضخامت زیاد هوای مرطوب، مانع کاهش بارش به ازای ارتفاع در دامنه‌های رو به باد هیمالیا می‌شوند (Singh and Su, Kumar, 1997: 199). Su, Kumar, 1997: 199 و همکاران (۲۰۰۶) روند دما و بارش فرین را طی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۲ در رودخانه یانگ‌تسه چین و بر اساس داده‌های ۱۰۸ ایستگاه هواشناسی بررسی و آزمون‌های روند من کندال و رگرسیون خطی را برای آشکارکردن روند سالانه و فصلی این رویدادهای فرین استفاده کردند. یافته‌های آنها نشان دادند روند بارش تابستانی در حوضه معنادار است و همچنین، تعداد روزهای طوفانی نسبت به شدت بارش‌ها در بخش‌های میانی و پایین‌دست، روند افزایشی دارد و این موجب افزایش روند مثبت بارش تابستانی شده است (Su et al., 2006: 139). Becker و همکاران (۲۰۰۶) به تحلیل فضایی زمانی روند بارش حوضه یانگ‌تسه پرداختند و روند بارش ماهانه ۳۶ ایستگاه واقع در این حوضه را طی ۵۰ سال گذشته با روش من کندال محاسبه کردند. یافته‌های آنها نشان دادند روند مثبت معناداری در بارش تابستانی بیشتر ایستگاه‌ها وجود دارد و

تغییر اقلیم سواحل جنوبی خزر را با هدف مطالعه انحراف احتمالی برخی عناصر رطوبتی و دمایی بررسی و تغییرات داده‌های کمینه و بیشینه دما، بارش، رطوبت و ابرناکی را با استفاده از روش من کندال طی دوره ۴۰ ساله در منطقه شناسایی و سپس نوع و زمان را مشخص کردند. آن‌ها معتقدند درصد تغییر در فصل زمستان و تابستان نسبت به بهار و پاییز بیشتر است و زمان شروع تغییرات در ایستگاه‌های منطقه یکسان نیست (عزیزی و روشنی، ۱۳۸۷: ۱۳). منتظری و غیور (۱۳۸۸) روند بارش و خشکسالی حوضه خزر را با آزمون من کندال راست‌آزمایی کردند و دریافتند کمترین خشکسالی در ماه می و بیشترین خشکسالی در ماه‌های گرم تابستانی ژوئیه و اوت رخ می‌دهد (منتظری و غیور، ۱۳۸۸: ۹۰). کیخسروی کیانی و مسعودیان در پژوهشی (۱۳۹۶)، روند تغییرات روزهای برف‌پوشان ایران را در کمربندهای ارتفاعی به روش آزمون من کندال بررسی کردند. یافته‌های آن‌ها نشان دادند در ماه‌های فروردین، تیر، مرداد، شهریور، آذر، بهمن و اسفند، روند معناداری در هیچ‌یک از کمربندهای ارتفاعی دیده نمی‌شود، اما روند کاهش روزهای برف‌پوشان طی ماه اردیبهشت در ۲۱ کمربند ارتفاعی و طی ماه خرداد در ۱۰ کمربند ارتفاعی دیده می‌شود. همچنین آن‌ها دریافتند روند افزایش روزهای برف‌پوشان تنها در ماه‌های مهر، آبان و دی دیده می‌شود و در این ماه‌ها به ترتیب ۲، ۱ و ۱ کمربند ارتفاعی، روند افزایش روزهای برف‌پوشان را از خود نشان می‌دهند (کیخسروی کیانی و مسعودیان، ۱۳۹۶: ۴۹). در پژوهشی دیگر، دارند و همکاران (۱۳۹۴) روند تغییرات بارش سالانه و ماهانه ایران‌زمین را بر اساس پایگاه‌های داده جهانی، منطقه‌ای، اسفزاری و

ایستگاهی به روش ناپارامتریک من کندال راست‌آزمایی کردند. یافته‌های آن‌ها نشان دادند همبستگی و ارتباط معناداری بین برآورد بارش سالانه و ماهانه ایران مربوط به پایگاه‌های داده بارش جهانی و منطقه‌ای با پایگاه‌های داده بارش اسفزاری و ایستگاهی وجود دارد و این ارتباط برای پایگاه داده بارش اسفزاری نسبت به پایگاه داده ایستگاهی بیشتر است. ارتباط دو پایگاه داده بارش اسفزاری و ایستگاهی با سایر پایگاه‌ها در ماه‌های مرطوب سال بیشتر از ماه‌های خشک است. همچنین آن‌ها دریافتند روند تغییرات بارش مربوط به ماه‌های می و ژوئیه ایران از نظر آماری معنادار است و بارش دریافتی کشور در ماه می، روند کاهشی و در ماه ژوئیه، روند افزایشی و مثبتی دارد (دارند و همکاران، ۱۳۹۴: ۸۰). اثر دما و بارش بر نمایه تفاضل به‌هنجارشده پوشش گیاهی ($NDVI^1$) طی فصل‌های مختلف و برای انواع پوشش گیاهی متفاوت است. ضریب همبستگی بارش و $NDVI$ کل فصل رشد زیاد و مقدار $NDVI$ در بوته‌زارها، علفزارها و کشتزارها به بارش حساس‌تر از دماست. رابطه بارش و $NDVI$ در تالاب‌ها و جنگل‌های سوزنی‌برگ معکوس است، اما اثر آن برای جنگل‌های پهن‌برگ آشکار نیست. اثر بارش بر $NDVI$ در تمام طول دوره رشد و برای انواع پوشش گیاهی چشمگیرتر از دماست. در بهار، دما و بارش همبستگی متوسطی با $NDVI$ نشان می‌دهند، ولی در تالاب‌ها و جنگل‌های سوزنی‌برگ رابطه معکوسی دیده می‌شود. طی تابستان، پوشش گیاهی در کشتزارها، بوته‌زارها، علفزارها، مراتع و بیابان‌ها رابطه

¹ Normalized Difference Vegetation Index

استفاده شده خارج از گستره ایران زمین را نیز در بر می‌گرفتند، به کمک تابع این پلی‌گون^۱ در نرم‌افزار متلب، تنها داده‌هایی استخراج شدند که درون مرز جغرافیایی ایران را پوشش می‌دادند.

نمایه تفاضل به‌هنگار شده پوشش گیاهی (NDVI)، رایج‌ترین نمایه پوشش گیاهی است که به شکل رابطه^۱ تعریف می‌شود:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

رابطه^۱

NIR و RED به ترتیب نماینده بازتاب اندازه‌گیری شده در باند فرورسرخ نزدیک و باند سرخ هستند. مقدار این نمایه بین منفی ۱ و مثبت ۱ است (واژه‌نامه انجمن هواشناسی ایالات متحده، ۲۰۱۳). در پژوهش حاضر، مقادیر بیش از ۰/۲ نشان‌دهنده پوشش گیاهی، مقادیر $0 \leq NDVI \leq 0/2$ نشان‌دهنده خاک و مقادیر کمتر از صفر نشان‌دهنده آب، برف و یخچال‌های کوهستانی هستند.

در پژوهش حاضر، از داده‌های ۱۶ روزه نمایه تفاضل به‌هنگار شده پوشش گیاهی (NDVI) مودیس آکوا^۲ در فاصله زمانی ۱۳۸۱/۴/۱۳ تا ۱۳۹۳/۱۲/۲۳ با تفکیک مکانی ۵۰۰ متر استفاده شد. همچنین داده‌های الگوی رقمی ارتفاع (DEM^۳) از تارنمای سازمان فضایی ناسا در تفکیک مکانی ۵۰۰ متر با سیستم تصویر سینوسی هماهنگ با تفکیک و سیستم تصویر داده‌های NDVI استفاده شد. ابتدا بر مبنای نزدیک به ۱۰ میلیارد یاخته، میانگین بلندمدت NDVI ایران برای هر ۱۶ روز محاسبه و سپس یک آرایه مکان - زمان به ابعاد ۱۱۱×۲۹۳ حاصل شد که ردیف‌های آن،

معکوسی با دما و رابطه مستقیمی با بارش نشان می‌دهد. در فصل پاییز، دما و بارش برای انواع پوشش گیاهی به جز نواحی بیابانی دارای رابطه مثبتی با NDVI است. NDVI و دما رابطه مستقیمی در انواع پوشش گیاهی نشان می‌دهند. رابطه بارش و انواع پوشش‌ها نیز مستقیم است به جز در تالاب‌ها، جنگل‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ و بوته‌زارها. دلیل تفاوت روابط در فصل‌ها و روی انواع مختلف پوشش گیاهی آنست که انواع مختلف پوشش گیاهی، نیازهای آبی و گرمایی متفاوتی طی فصل‌های مختلف دارند. دماها و بارش‌های بسیار زیاد یا بسیار کم مانع رشد گیاه هستند و حساسیت پوشش گیاهی بوته‌زارها، علفزارها، مراتع و بیابان‌ها به تغییر اقلیم بسیار بیشتر است (Chuai et al., 2013: 1704).

در پژوهش حاضر، از آزمون ناپارامتریک من کندال برای شناسایی روند نمایه NDVI ایران در کمربندهای ارتفاعی استفاده شده است.

داده‌ها و روش‌ها

در پژوهش حاضر، داده‌های سنجنده مودیس آکوا برای بررسی روند تغییرات نمایه NDVI ایران در کمربندهای ارتفاعی استفاده شدند. سازمان ناسا، سنجنده مودیس آکوا را در ۱۴ اردیبهشت ۱۳۸۱ خورشیدی به فضا پرتاب کرد. زمان گذر این ماهواره بر فراز استوا ۱۳:۳۰ به وقت محلی است (Wang and Xie., 2009: 192). ماهواره آکوا، داده‌های NDVI را با دو ماه تأخیر برداشت کرده است. باتوجه به اینکه داده‌های این ماهواره به شکل کاشی‌های جداگانه در ابعاد ۱۲۰۰×۱۲۰۰ کیلومتری در دسترس هستند، شش کاشی گستره ایران را می‌پوشانند و از آنجا که داده‌های

¹ Inpolygon

² ftp://ladsweb.nascom.nasa.gov/allData

³ Digital Elevation Map

$$\operatorname{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases}$$

رابطه ۳

آزمون آماره‌های S میانگین صفر دارد و پراش آن نیز از رابطه ۴ محاسبه می‌شود:

$$\operatorname{var}(s) = \frac{n - (n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t(t-1)(2t-5)}{18}$$

.....ifn)10

رابطه ۴

در رابطه ۴، t: اندازه یک بازه زمانی در سری داده‌ها و $\sum t$: مجموع سری زمانی داده‌هاست. زمانی که مدت سری زمانی داده‌ها بیشتر از ۱۰ باشد ($N > 10$)، آماره Z استاندارد شده از رابطه ۵ محاسبه می‌شود:

$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\operatorname{var}(s)}} & \text{if } s > 0 \\ 0 & \text{if } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\operatorname{var}(s)}} & \text{if } s < 0 \end{cases}$$

رابطه ۵

بنابراین در آزمون دوطرفه روند، اگر رابطه $Z \leq Z^{\alpha/2}$ در سطح اطمینان ۹۵ درصد برقرار باشد، باید فرض H_0 (تصادفی بودن داده‌ها) و در غیر این حالت، باید انگاره H_1 (وجود روند) را پذیرفت. اگر معناداری در سطح اطمینان ۹۹ درصد ($\alpha = 0.01$) آزمون شود و چنانچه Z مشاهده شده خارج از دامنه $-2.57 < Z < +2.57$ قرار گیرد، انگاره H_0 رد می‌شود و داده‌ها دارای روند هستند (Vivekanandan, 2007: 104).

طبقه‌های ارتفاعی ایران با بازه ۵۰ متر از منفی ۵۰ تا ۵۵۰۰ متر تعریف شدند و ستون‌های آن، میانگین بلندمدت نمایه NDVI با بازه ۱۶ روزه را نشان دادند. این آرایه، اساس داوری‌های ما برای بررسی روند تغییرات نمایه NDVI ایران در کمربندهای ارتفاعی قرار گرفت. از آزمون ناپارامتریک من کندال برای بررسی روند نمایه یادشده در کمربندهای ارتفاعی استفاده شد. Mann (۱۹۴۵) و Kendall (۱۹۷۵)، آزمون ناپارامتریک من کندال را ارائه کرده‌اند که بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی استوار است. این آزمون برای بررسی نبود روند در برابر وجود روند در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی استفاده می‌شود و امتیاز آن نسبت به سایر آزمون‌های تعیین روند، استفاده از رتبه داده‌ها در سری زمانی بدون در نظر گرفتن مقدار متغیرهاست و به علت وجود این ویژگی، برای داده‌های دارای چولگی نیز استفاده می‌شود و نباید داده‌ها در قالب توزیع خاصی درآیند (عساکره، ۱۳۹۰).

مراحل محاسبه آزمون من کندال به شرح زیر است:

در این آزمون، اگر x_1, x_2, \dots, x_n مشاهده‌های مدنظر باشند، آنگاه داریم:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \operatorname{sgn}(x_j - x_k) \quad \text{رابطه ۲}$$

که با قبول فرض H_0 ، توزیع در حد $n \rightarrow \infty$ نرمال است. N: سری زمانی داده‌ها و X_k و X_j داده‌های متوالی k ام و j ام سری هستند و در این رابطه $k, j \leq n$ است و $k \neq j$

Sgn تابع علامت است و از روابط زیر حاصل

می‌شود:

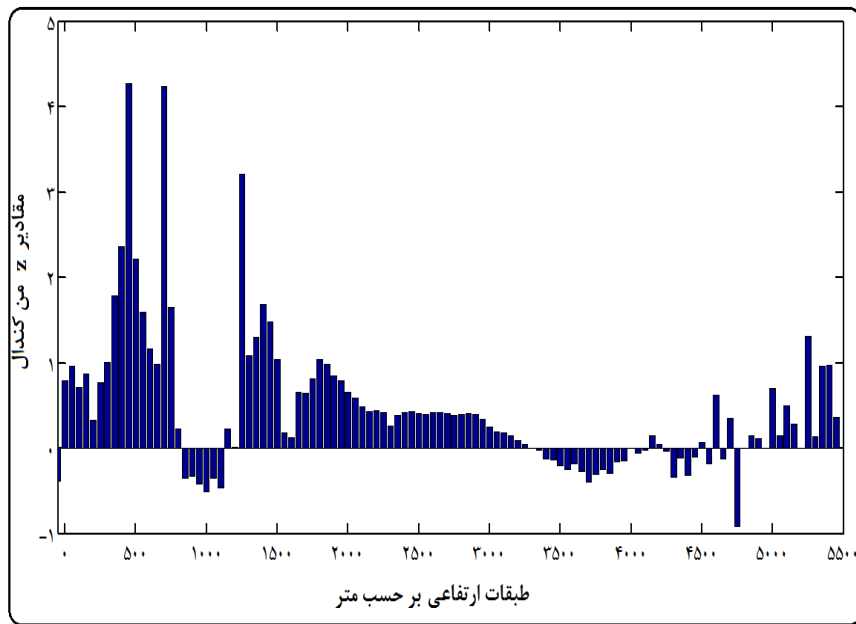
بحث

باتوجه به اینکه ایران جزو ده کشور اول از نظر قراردادن در معرض نابودی جنگل‌ها و پنج کشور نخست مواجه شده با بیابان‌زایی قرار دارد و دومین کشور مواجه با بیشترین فرسایش خاک و صدوسی و چهارمین کشور جهان از نظر پایداری زیست‌محیطی (بنابر آمار سال ۲۰۰۵ برنامه محیط زیست سازمان ملل) است، اهمیت پوشش گیاهی که تأمین‌کننده اصلی اکسیژن و آب زیرزمینی و جلوگیری‌کننده از فرسایش است، بر همگان به‌ویژه اهالی فن بیش از پیش آشکار است. پوشش گیاهی، مهم‌ترین عامل تثبیت خاک و پیشگیری از روند فرسایش و جذب آب است؛ بدیهی است توان زیاد حفظ آب و خاک پوشش جنگلی سبب شده است توجه بیشتری در مقایسه با سایر پوشش‌های گیاهی مانند درختچه‌ها و گیاهان مرتعی به آن معطوف شود. باتوجه به اینکه بیشتر حوضه‌های آبخیز و نقاط بحرانی آنها در مناطق کوهستانی و پرشیب قرار دارند و عرصه‌های یادشده دارای توده‌های تنگ و تخریب‌شده جنگلی و یا کاملاً فاقد پوشش درختی هستند، لزوم برنامه‌ریزی به‌ویژه مطالعه‌های مناسب در این زمینه کاملاً ضروری به نظر می‌رسد.

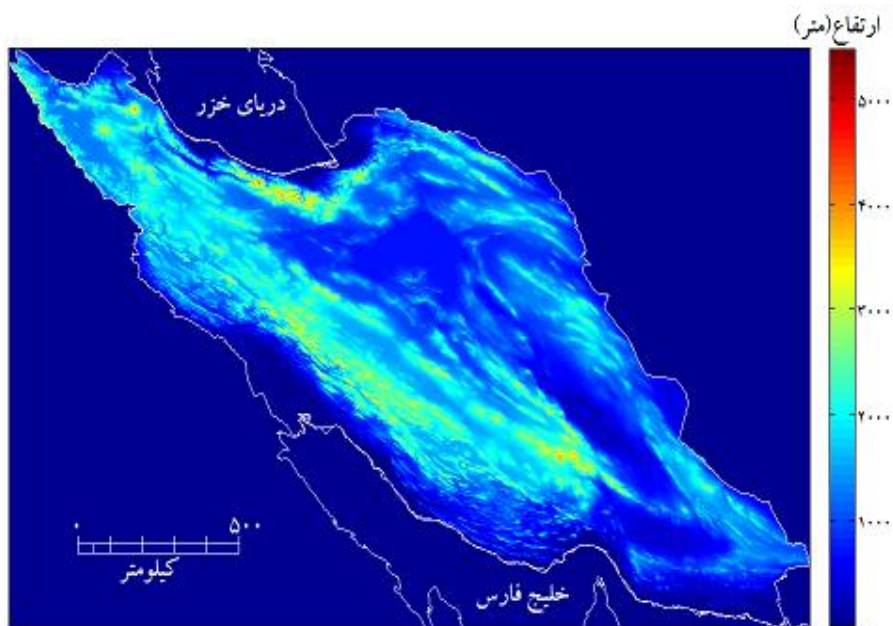
تفاوت شدید دما و بارش در ایران، یکی از بارزترین ویژگی‌های آب‌وهوایی ایران نسبت به سایر نقاط جهان است و مقایسه آب‌وهوای نقاط مختلف کشور، این تنوع و اختلاف را به‌خوبی نشان می‌دهد؛ برای نمونه، میانگین سالانه بارش ایران نزدیک ۲۵۰ میلی‌متر است، اما بارش دریافتی مناطق کویری از ۵۰ میلی‌متر کمتر و در برخی نقاط کرانه‌های خزر نزدیک به ۱۸۰۰ میلی‌متر است (مسعودیان، ۱۳۹۰: ۱۲۲). از سوی دیگر، ایران از نظر دما بسیار متنوع است و دلیل این تنوع، همسایگی خشکی

ایران با دو توده بزرگ آب در شمال و جنوب، گستردگی در عرض جغرافیایی و تنوع ناهمواری است. میانگین دمای ایران ۱۸ درجه سلسیوس است که ۱۵ درجه سلسیوس نسبت به میانگین جهانی بیشتر و در نتیجه، ایران گذشته از فقر بارش دارای گرمای بسیاری است (مسعودیان، ۱۳۹۰، ۹۲). تنوع، ویژگی ذاتی آب‌وهوای ایران است و هیچ‌یک از عناصر آب‌وهوایی، تصویر همگنی ارائه نمی‌دهند؛ این ناهمگنی و غیریکنواختی عناصر آب‌وهوایی بر پوشش گیاهی، نوع خاک و روش زندگی مردم اثر گذاشته است، به طوری که جنگل‌ها و مراتع سرسبز مجاور بیابان‌های عریان و بی‌حاصل، کوه‌های پوشیده از برف کنار چاله‌های خشک، دره‌های رسوبی پرجمعیت مجاور دشت‌های بی‌آب، بدون استفاده و عاری از سکنه قرار گرفته‌اند (علیچانی، ۱۳۸۹: ۱-۲) و پیچیدگی و تنوع آب‌وهوایی سبب ایجاد پوشش گیاهی بسیار متفاوتی شده است. هیچ‌یک از پژوهش‌های انجام‌شده گذشته درباره نمایه NDVI به مسئله تغییرات این نمایه در کمربندهای ارتفاعی اشاره‌ای نکرده‌اند و پژوهش حاضر برای نخستین بار، تغییرات این نمایه را در هر یک از کمربندهای ارتفاعی واکاوی کرده است.

شکل (۱)، روند Z من کندال نمایه ۱۶ روزه NDVI ایران در طبقه‌های ارتفاعی (۵۰ متری) را نشان می‌دهد و همان‌طور که دیده می‌شود با سطح اطمینان ۹۵ درصد، تنها ۵ طبقه ارتفاعی ۴۰۰ تا ۴۵۰، ۴۵۰ تا ۵۰۰، ۵۰۰ تا ۵۵۰، ۷۰۰ تا ۷۵۰ و ۱۲۵۰ تا ۱۳۰۰ متر، روند مثبت نشان دادند و دیگر طبقه‌های ارتفاعی بدون روند بودند و NDVI هیچ ارتفاعی در ایران روند منفی نشان نداد. شکل (۲)، الگوی رقومی ارتفاع (DEM) ایران در تفکیک مکانی ۵۰۰ متر با سیستم تصویر سینوسی را نشان می‌دهد.



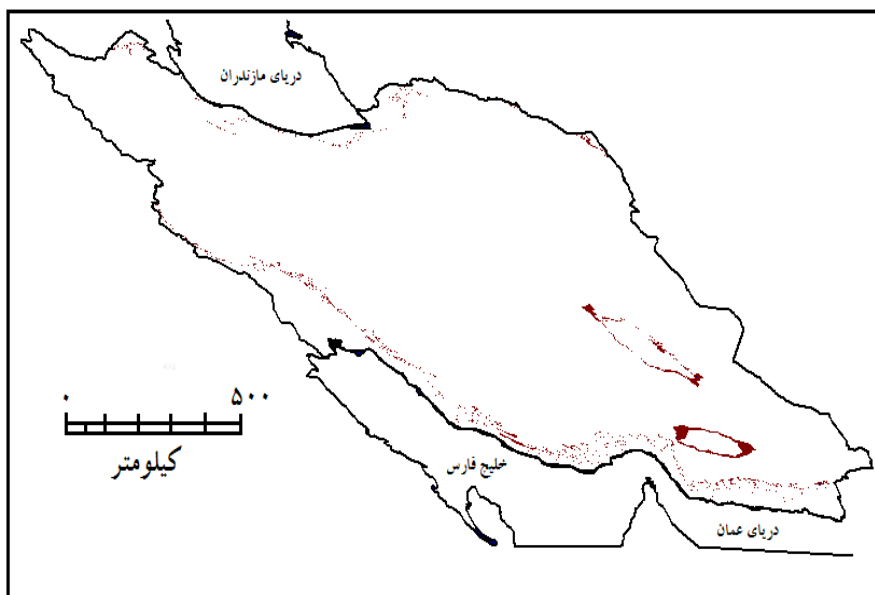
شکل ۱. روند Z من کندال نمایه ۱۶ روزه NDVI ایران در طبقه‌های ارتفاعی (منفی ۵۰ متر تا ۵۵۰۰ متر با بازه‌های ۵۰ متری)



شکل ۲. الگوی رقومی ارتفاع (DEM) ایران در تفکیک مکانی ۵۰۰ متر با سیستم تصویر سینوسی

جاذموریان در این ارتفاع روند مثبت نشان داده است و به نظر می‌رسد شرایط رویه زمین و تغییر کلاس این منطقه سبب روند مثبت آن شده است.

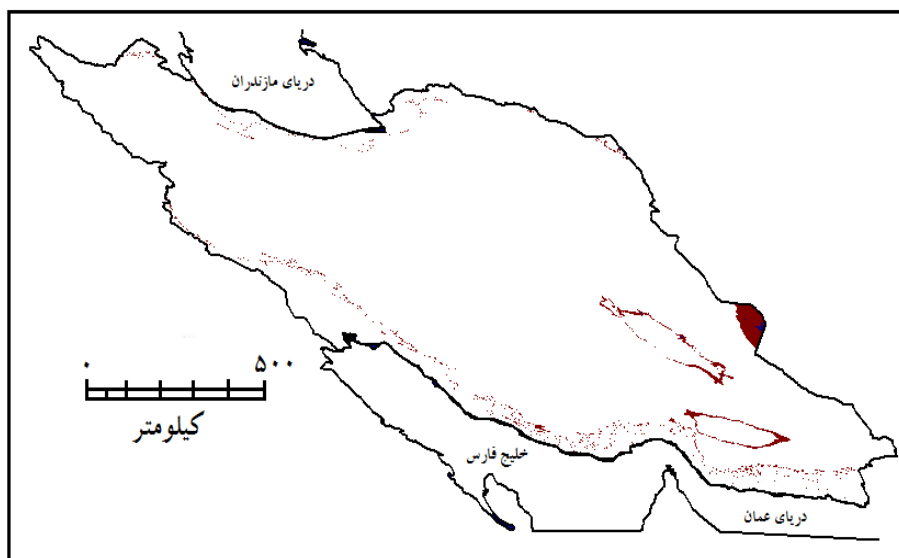
بر اساس آزمون من کندال، ۵ کمر بند ارتفاعی ایران روند مثبت نشان دادند. شکل (۳)، روند مثبت نمایه ۱۶ روزه NDVI ایران در ارتفاع ۴۰۰ تا ۴۵۰ متر را نشان می‌دهد؛ همان‌طور که دیده می‌شود چاله



شکل ۳. روند مثبت نمایه ۱۶ روزه NDVI ایران در ارتفاع ۴۰۰ تا ۴۵۰ متر

کمربند ارتفاعی علاوه بر جازموریان، زابل و زهک نیز روند مثبت نشان دادند.

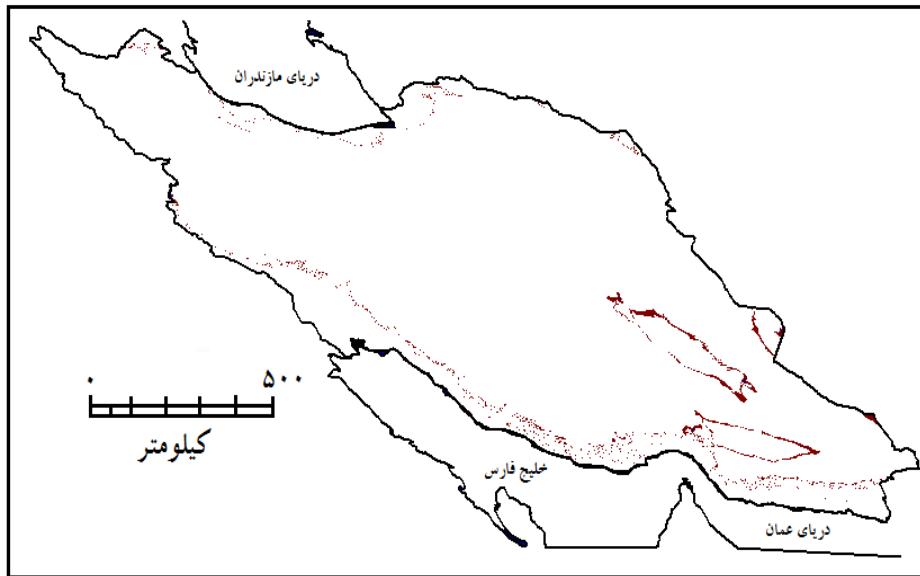
شکل (۴)، روند مثبت نمایه ۱۶ روزه NDVI ایران در ارتفاع ۴۵۰ تا ۵۰۰ متر را نشان می‌دهد؛ در این



شکل ۴. روند مثبت نمایه ۱۶ روزه NDVI ایران در ارتفاع ۴۵۰ تا ۵۰۰ متر

می‌شوند، با این تفاوت که روند مثبت زابل و زهک در این کمربند ارتفاعی کمتر شده است.

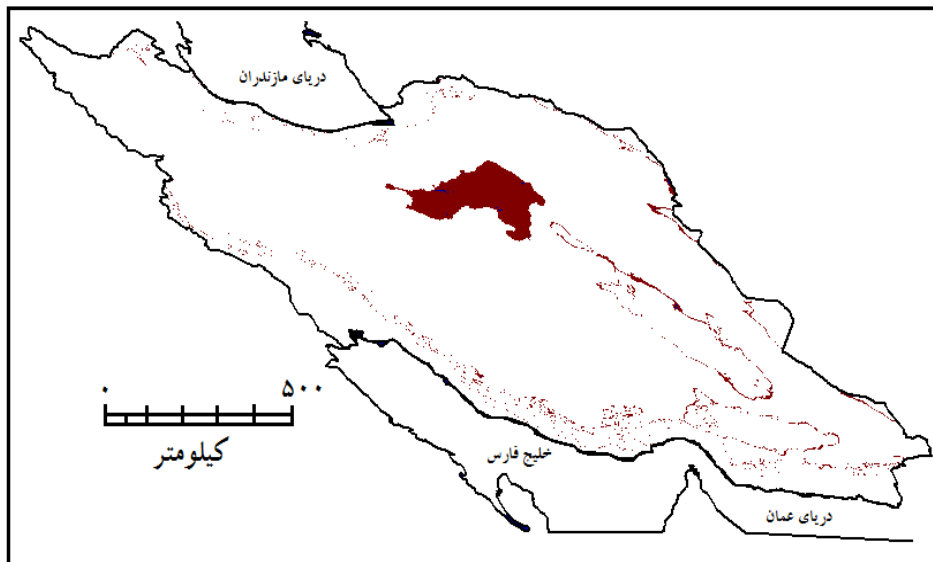
شکل (۵)، روند مثبت نمایه ۱۶ روزه NDVI ایران در ارتفاع ۵۰۰ تا ۵۵۰ متر را نشان می‌دهد. مناطق یادشده در شکل (۴) در این کمربند ارتفاعی نیز دیده



شکل ۵. روند مثبت نمایه ۱۶ روزه NDVI ایران در ارتفاع ۵۰۰ تا ۵۵۰ متر

شکل (۶)، روند مثبت نمایه ۱۶ روزه NDVI ایران در ارتفاع ۷۰۰ تا ۷۵۰ متر را نشان می‌دهد؛ در این

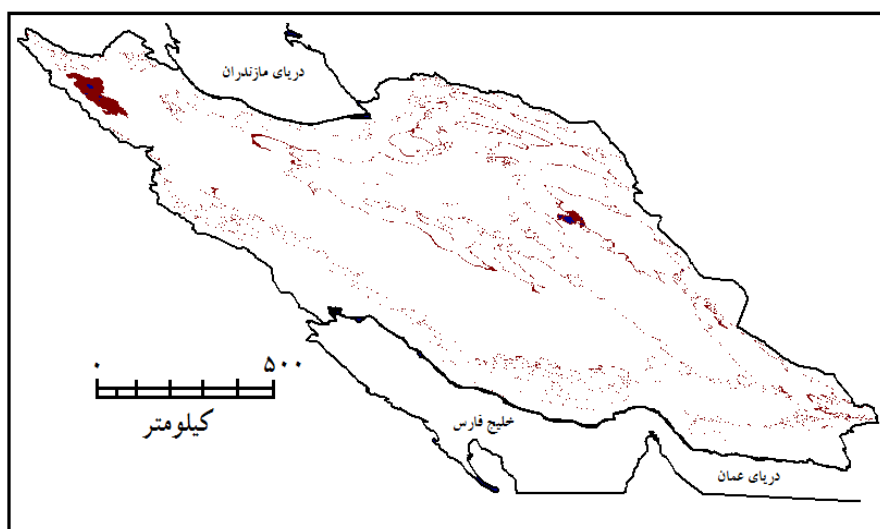
شکل (۵)، کمربند ارتفاعی علاوه بر مناطق یادشده در شکل (۵)، دشت کویر نیز روند مثبت چشمگیری نشان می‌دهد.



شکل ۶. روند مثبت نمایه ۱۶ روزه NDVI ایران در ارتفاع ۷۰۰ تا ۷۵۰ متر

شکل (۷)، روند مثبت نمایه ۱۶ روزه NDVI ایران در ارتفاع ۱۲۵۰ تا ۱۳۰۰ متر را نشان می‌دهد؛ در این

شکل (۶)، کمربند ارتفاعی دریاچه ارومیه و نقاط پراکنده‌ای در کشور روند مثبت داشتند.



شکل ۷. روند مثبت نمایه ۱۶ روزه NDVI ایران در ارتفاع ۱۲۵۰ تا ۱۳۰۰ متر

یافته‌ها

در پژوهش حاضر، از داده‌های سنجنده مودیس آکوا برای بازه زمانی ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۳ و در تفکیک مکانی بسیار خرد (۵۰۰ متر) برای بررسی تغییرات نمایه NDVI ایران در کمربندهای ارتفاعی مختلف استفاده شد. پس از انجام پردازش‌های ضروری و آماده‌سازی داده‌ها، میانگین بلندمدت هر ۱۶ روز طی بازه زمانی یادشده محاسبه و سپس الگوی رقومی ارتفاع (Dem) ایران که با تفکیک ۵۰۰ متری و سیستم تصویر سینوسی هماهنگ با داده‌های NDVI در دسترس بود، برای انتخاب کمربندهای ارتفاعی استفاده شد. یافته‌های آزمون من کندال با اطمینان ۹۵ درصد نشان دادند تنها طبقه‌های ارتفاعی ۴۰۰ تا ۴۵۰، ۴۵۰ تا ۵۰۰، ۵۰۰ تا ۵۵۰، ۷۰۰ تا ۷۵۰ و ۱۲۵۰ تا ۱۳۰۰ متری روند مثبت داشتند و دیگر طبقه‌های ارتفاعی بدون روند بودند و هیچ ارتفاعی در ایران روند منفی نداشت؛ البته نمی‌توان این روند را به پوشش گیاهی نسبت داد، زیرا بررسی پراکندگی جغرافیایی

کمربندهای ارتفاعی دارای روند نشان می‌دهد احتمالاً شرایط رویه زمین مانند پوشش نمکزار، شنزار و دریاچه موجب تغییرات مقدار NDVI شده است.

منابع

دارند، محمد؛ ظرافتی، هادی؛ کفایت مطلق، امیدرضا؛ ریحانه سمندر، (۱۳۹۴). مقایسه بین پایگاه‌های داده جهانی و منطقه‌ای بارش با پایگاه بارش اسفزاری و ایستگاهی ایران زمین، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۱۱۷، صص ۸۴-۶۵.

طباطبایی، سیدعلی و مهرداد حسینی، (۱۳۸۲). بررسی تغییر اقلیم در شهر سمنان بر اساس پارامترهای بارش ماهیانه و متوسط دمای ماهیانه، سومین کنفرانس منطقه‌ای هواشناسی کشور، دانشگاه اصفهان.

عزیزی، قاسم و محمود روشنی، (۱۳۸۷). مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من

- کندال، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، صص ۱۳-۲۸.
- مسعودیان، سید ابوالفضل، (۱۳۹۰). آب‌وهوای ایران، چاپ اول انتشارات شریعه توس مشهد، اصفهان.
- منتظری، مجید و حسنعلی غیور، (۱۳۸۸). تحلیل مقایسه‌ای روند بارش و خشکسالی در حوضه خزر، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۶، صص ۷۱-۹۲.
- Becker, S., M. Gemmer, T. Jiang, (2006), Spatiotemporal analysis of precipitation trends in the Yangtze River Catchment, *Stoch Environ Res Risk Assess*, Vol. 20, 435-444.
- Carbajal, L.R., Pellicciotti, F., Molnar, P. (1993). Analysis of Hydro-climatic Trends in the Aconcagua river basin, central Chile. Institute of Environmental Engineering, Ethz Zurich.
- Chuai, X.W., X.J. Huang, W.J. Wang, G. Bao, (2013), NDVI, temperature and precipitation changes and their relationships with different vegetation types during 1998-2007 in Inner Mongolia, China, *Int. J. Climatol*, Vol. 13, 528-535.
- Feidas, H., Nouloupoulou, C., Makrogiannis, T., Bora-Senta, E. (2007) Trend analysis of precipitation time series in Greece and their relationship with circulation using surface and satellite data: 1955-2001, *Theoretical and Applied Climatology*, 87(1-4), 155-177.
- Glenn, E. P., Huete, A. R., Nagler, P. L., & Nelson, S. G. (2008). Relationship between remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes: what vegetation indices can and cannot tell us about the landscape. *Sensors*, 8(4), 2136-2160.
- Kendall, M.G. (1975), Rank correlation methods, Charles Griffin, London.
- Mann, H.B. (1945), Nonparametric tests against trend *Econometric*, Vol. 13, 45-259.
- Singh, P., N. Kummar, (1997), Effect of Orographic Precipitation in the Western Himalayan region, *Jornal of Hydrology*, 183-206.
- Su, B.D Jiang, T., Jin, W.B. (2006), Recent trends in observed temperature and
- عساکره، حسین، (۱۳۹۰). مبانی اقلیم‌شناسی آماری، چاپ اول، انتشارات دانشگاه زنجان، زنجان.
- علوی‌پناه، سیدکاظم، (۱۳۸۵)، کاربرد سنجش از دور در علوم زمین، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- علیجانی، بهلول، (۱۳۸۹). آب‌وهوای ایران، چاپ دهم، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.
- فرج‌زاده اصل، منوچهر؛ امان‌اله فتح‌نیا؛ علیجانی، بهلول؛ پرویز ضیائیان، (۱۳۹۰). ارزیابی اثر عوامل اقلیمی بر پوشش گیاهی منطقه زاگرس با استفاده از اطلاعات رقومی ماهواره‌ای، مرتع و بیابان ایران، شماره ۱، صص ۱۰۷-۱۲۳.
- کاوایی، محمدرضا و حسین عساکره، (۱۳۸۴). بررسی آماری روند بلندمدت بارش سالانه اصفهان، مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان، دوره ۱۸، شماره ۱، صص ۱۶۲-۱۴۳.
- کتیرایی، پری‌سیم؛ حجام، سهراب؛ پرویز ایران‌نژاد، (۱۳۸۶). سهم تغییرات فراوانی و شدت بارش روزانه در روند بارش در ایران طی دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۱، مجله فیزیک زمین و فضا، جلد ۳۳، شماره ۱، صص ۸۳-۶۷.
- کیخسروی کیانی، محمدصادق و ابوالفضل مسعودیان، (۱۳۹۶). واکاوی روند تغییرات روزهای برف‌پوشان در ایران بر پایه داده‌های دورسنجی، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره (۱) ۲۸، صص ۶۰-۴۹.

cover based on combination products of Modis Terra and Aqua, Journal of Hydrology, Vol. 371, 192-200.

http://Www.glossary.ametsoc.org/wiki/Main_Page.

<http://Www/modis.gsfc.nasa.gov/allData>

<http://Www.unep.org>.

precipitation extremes in the Yangtze River basin, China. Theoretical and Applied Climatology, 83(1-4), 139-151.

Vivekanandan, N. (2007), Analysis of trend in rainfall using non parametric statistical methods; International symposium on rainfall rate and radio wave propagation, American institute of physics, 101-113.

Wang, X. and H. Xie, (2009), New methods for studying the spatiotemporal variation of snow

