

روند تغییرات سبزشدگی در جنگل‌های هیرکانی با استفاده از سری زمانی NOAA-NDVI در دوره

۱۹۸۱-۲۰۱۲

خدیجه کیاپاشا^۱، علی اصغر درویش صفت^{۲*}، نصرت الله ضرغام^۳، پدram عطار^۴، مهدی نادى^۴، مایکل شپمن^۵

۱. دانشجوی دکتری جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

۲. استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

۳. دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

۴. استادیار گروه مهندسی آب دانشکده مهندسی زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۵. استاد سنجش از دور دانشگاه زوریخ، سوییس

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۲۲، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۱۶

چکیده

جنگل‌های هیرکانی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های خشکی جهان و تأثیرگذار بر توسعه پایدار جوامع انسانی است و باید به‌طور مستمر پایش شود. آگاهی از روند تغییرات فنولوژیکی این جنگل‌ها، به درک بهتر چگونگی پاسخ آن به تغییرات آب‌وهوایی بسیار کمک می‌کند. این پژوهش با هدف بررسی روند تغییرات بلندمدت فعالیت گیاهی، با به‌کارگیری آزمون تحلیل روند من‌کنندال به‌صورت پیکسل به پیکسل در کل سطح جنگل بر روی سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای NOAA-NDVI شامل ۷۵۶ تصویر دوهفته‌ای در دوره ۱۹۸۱-۲۰۱۲ انجام گرفت. همچنین روند تغییرات دما و بارش و رابطه رگرسیونی آنها با NDVI ارزیابی شد. در ۷۵/۳۵ درصد از این جنگل‌ها، روند Greening و تنها در پیکسل‌های کمی از منطقه، روند Browning مشاهده شد. در تغییرات بارش در بیشتر پیکسل‌های منطقه روندی مشاهده نشد، ولی تحلیل روند سری زمانی دما به‌طور تقریبی در کل منطقه، روند افزایشی معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد را نشان داد. نتایج بررسی رابطه رگرسیونی سری‌های زمانی NDVI با دما و بارش، حاکی از رابطه ضعیف بین متغیرهای آب‌وهوایی و تغییرات فعالیت پوشش گیاهی در منطقه در دوره زمانی تحقیق است. نتایج این پژوهش نشان داد تغییراتی در روند سبزشدگی جنگل‌های هیرکانی رخ داده که ممکن است ناشی از عوامل دیگری غیر از عامل‌های آب‌وهوایی باشد.

واژه‌های کلیدی: آزمون من‌کنندال، تحلیل روند، روند بلندمدت، سری زمانی، **NOAA NDVI**، **Greening**، **Browning**

مقدمه

اهمیت بسیار زیادی برای کاربردهای اجرایی به‌ویژه مطالعات تغییر اقلیم برخوردار است. تجزیه و تحلیل تغییرات زمانی و مکانی در شروع و پایان فصل رویش می‌تواند به‌طور مثال در تعیین تغییرات محلی و روندهای تغییرات در رژیم‌های دما و بارندگی به‌کار گرفته شود. مشاهدات فنولوژیکی متداول از دیرباز که به‌صورت نقطه‌ای و روی گونه‌های گیاهی صورت می‌گرفته است، نه تنها تعمیم‌پذیر

پوشش گیاهی و به‌ویژه جنگل از مؤلفه‌های بسیار مهم کره زمین است و تأثیر اساسی در تنظیم سیستم اقلیم دارد [۱]. نقش پایش فنولوژی گیاهی در مقیاس‌های نقطه‌ای، منطقه‌ای، ملی و جهانی در جامعه علمی شناخته شده و از

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۱۶۴۰۹۴۴

می‌شود. این شاخص رابطه قوی با مقدار زی‌توده سبز و تولید گیاهی دارد و به‌طور معمول برای ارزیابی پوشش گیاهی استفاده می‌شود [۵]. سری‌های زمانی بلندمدت این شاخص به‌طور مؤثری در طول سال‌های اخیر برای پیش‌پویایی روند تغییرات پوشش گیاهی^۶ و مطالعه رابطه آن با تغییرات آب‌وهوایی در مقیاس‌های جهانی و منطقه‌ای استفاده شده است [۶-۹]. این روند می‌تواند یک نشانه^۷ برای Greening و Browning باشد [۱۰]. روندهای NDVI برای مقاصد گوناگونی به‌کار رفته است، از جمله ارزیابی پاسخ‌های اکولوژیکی به گرمایش جهانی، تغییرات اکولوژیکی، وضعیت محصولات کشاورزی، تغییرات سرزمین^۸ و بیابان‌زدایی. Greening در رویشگاه‌های جنگلی بیانگر افزایش سبز شدگی است که ممکن است ناشی از افزایش طول فصل رویش یا افزایش فعالیت پوشش گیاهی باشد. در مقابل Browning کاهش سبز بودن و کاهش برگ است که در نتیجه خزان زودتر، خشکسالی یا تغییر پوشش اتفاق می‌افتد. این فرایندها ممکن است ناشی از بهار زودرس و افزایش یا کاهش طول دوره رویش باشد [۱۱].

براساس تحقیقات دهه اخیر، تغییرات دما و بارندگی بر فنولوژی گیاهی اثر داشته و موجب افزایش یا کاهش طول دوره رویش گیاهی در بسیاری از مناطق جهان شده است. برای مثال در سال‌های ۲۰۱۱-۱۹۸۲ در آلمان و کشورهای اسکاندیناوی به‌ترتیب $+1/4$ و $-1/47$ روز در سال طول دوره رویش افزایش یافته است [۹، ۱۲، ۱۳]. مطالعات انجام‌گرفته برپایه مشاهدات ایستگاهی فنولوژی و دما نیز، روند زودتر سبز شدن (بهار زودرس) و فصل‌های رشد طولانی‌تر به‌ویژه در نیمکره شمالی را نشان می‌دهد که موجب افزایش تبخیر و تعرق، تنش خشکسالی و وقوع آتش‌سوزی شده است [۱۱].

نیست بلکه تغییرات مکانی روند را هم ارائه نمی‌دهد. در مقابل پیش‌فنولوژی از طریق داده‌های سنجنش از دور می‌تواند این نوع تغییرات را بیان کند. سنجنش از دور می‌تواند اطلاعات جدید اقلیمی در مورد فنولوژی و امکان تهیه نقشه پویایی وضعیت توسعه پوشش گیاهی^۱ را فراهم آورد [۲]. در ضمن آگاهی دقیق از فنولوژی پوشش گیاهی و روابط آن با تغییرات محیط از جمله تغییرات آب‌وهوایی، نیازمند برداشت‌های میدانی اکولوژیک در دوره زمانی به‌نسبت طولانی است. در بسیاری از زمینه‌ها به‌خصوص جنگل، این گونه داده‌های بلندمدت که لازمه بررسی آثار تغییر اقلیم بر فنولوژی جنگل است وجود ندارد. در این شرایط، داده‌های ماهواره‌ای تاریخی به‌صورت سری زمانی و با توان تفکیک زمانی مناسب می‌توانند کمک مؤثری باشند. مشاهدات فنولوژیک ماهواره‌ای که فنولوژی سطح زمین^۲ (LSP) نامیده می‌شود، دقیقاً همان فنولوژی گیاهی نیست، اما رابطه نزدیکی با آن دارد [۳]. پایه‌های این پیش‌را Tucker و همکاران (۱۹۷۹) در دهه اول پیدایش سنجنش از دور ماهواره‌ای از منابع زمینی بنا نهادند [۴] که در دهه اخیر به‌دلیل آشکار شدن تغییرات اقلیمی و اهمیت و خطرهای آن، با توجه فراوان روبه‌رو شده است، به‌ویژه آنکه امروزه مجموعه عظیمی از داده‌های تاریخی انواع ماهواره‌ها در اختیار است.

با ثبت بازتاب گیاهان در سنجنده‌های ماهواره‌ای می‌توان شاخص‌های گیاهی^۳ را محاسبه و در کمی کردن بعضی از ویژگی‌های گیاهی استفاده کرد. متداول‌ترین این شاخص‌ها، شاخص NDVI^۴ (تفاوت پوشش گیاهی نرمال‌شده) است. این شاخص براساس بازتاب در طول موج‌های قرمز (Red) و مادون قرمز نزدیک (NIR^5) به‌صورت $\frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$ محاسبه

1. Dynamic map of vegetation development
2. Land Surface Phenology
3. Vegetation index
4. Normalized Difference Vegetation Index
5. Near Infrared Red

6. Vegetation Variation
7. Proxy
8. Land degradation

نمایش داده می‌شود [۵]. نتایج مطالعات روند تدریجی بلندمدت در مقیاس جهانی و با استفاده از داده‌های GIMMS NDVI نشان داد که روند Greening در نیمکره شمالی بیشتر از Browning است. این روند در نیمکره جنوبی و جنگل‌های بوره‌آل برعکس است و بیشتر در چمنزارها دیده می‌شود [۵]. Fenshold و همکاران (۲۰۱۲) برای ارزیابی روند تغییرات فعالیت پوشش گیاهی در دوره بلندمدت در مقیاس جهانی از داده‌های GIMMS و MODIS مربوط به سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۰ استفاده و نتایج روند حاصل از دو مجموعه داده را با هم مقایسه کردند [۱۶]. وضعیت Greening و Browning بر اساس هر دو داده به نسبت مشابه بود و بیشتر اختلافات در آمریکای جنوبی و استرالیا (نیمکره جنوبی) و نواحی قطب شمال مشاهده شد. روی هم‌رفته بین دو مجموعه داده، تطابق نزدیکی وجود داشت. در مقیاس منطقه‌ای نیز مطالعات مشابهی انجام گرفته که از آن جمله می‌توان به تحقیق Schucknecht و همکاران (۲۰۱۳) در شمال برزیل اشاره کرد که با استفاده از داده‌های GIMMS سال‌های ۲۰۰۶-۱۹۸۱، به بررسی روندهای کوتاه‌مدت و بلندمدت پرداختند [۸]. از سری زمانی NDVI GIMMS در مطالعه تغییرات سایر ویژگی‌های پوشش گیاهی نظیر شاخص سطح برگ [۱۷-۱۹]، تولید اولیه [۲۰، ۲۱]، شروع فصل رویش [۱۲، ۲۲، ۲۳] نیز استفاده شده و قابلیت آن برای چنین پژوهش‌هایی تأیید شده است [۲۴]. آگاهی از چگونگی تغییرات و روند فعالیت پوشش گیاهی، می‌تواند به برنامه‌ریزی‌های راهبردی و کلان مرتبط و اثرگذار بر پوشش گیاهی کمک شایانی کند. با توجه به اهمیت جنگل‌های شمال در سطح ملی و جهانی و واقعیت وجودی تغییرات دما و بارش جهان، ضرورت دارد که روند تغییرات در این جنگل‌ها نیز بررسی شود. این تحقیق با هدف بررسی روند تغییرات درازمدت فعالیت پوشش گیاهی در سطح کل نوار جنگل‌های هیرکانی با استفاده از داده‌های GIMMS در یک دوره زمانی ۳۲ ساله و ارتباط آن با

در میان داده‌های سنجنش از دوری تاریخی، یکی از قوی‌ترین سری‌های زمانی NDVI بر مبنای سنجنده AVHRR ماهواره NOAA برای ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی ارائه شده است [۱۴]. این سری زمانی برای طول دوره ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۲ توسط گروه مطالعات مدلسازی، نقشه‌برداری و آماربرداری جهانی^۱ (GIMMS) تهیه شده است و در مطالعات تغییرات فعالیت پوشش گیاهی در جهان کاربرد گسترده‌ای دارد.

مطالعات فنولوژی در ایران، تنها به مطالعات میدانی در مقاطع زمانی کوتاه محدود می‌شود. از جمله می‌توان به مطالعه جوانشیر و همکاران (۱۳۷۶) اشاره کرد که به بررسی فنولوژی درختان جنگلی و الگوی دما در جنگل خیرود نوشهر پرداختند [۱۵]. تاکنون تحقیقی در زمینه بررسی روند تغییرات فعالیت پوشش گیاهی در درازمدت با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در ایران صورت نگرفته است، ولی در سایر کشورها در مقیاس‌های جهانی و محلی مطالعاتی براساس سری زمانی NDVI یاد شده انجام گرفته است [۱۲، ۱۶].

سرعت تغییرات در بعضی از پدیده‌های طبیعی کند است و بررسی آنها باید در دامنه زمانی طولانی انجام گیرد. تغییرات درون داده‌های سری‌های زمانی NDVI را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد [۹]: تغییرات فصلی، تغییرات ناگهانی و تغییرات تدریجی درازمدت. تغییرات فصلی ناشی از تغییرات فنولوژی پوشش گیاهی متأثر از تغییرات فصلی آب‌وهوایی در طول سال و بدون اثر بر مؤلفه اصلی روند کلی بلندمدت رخ می‌دهد. تغییرات ناگهانی در وضعیت پوشش گیاهی نیز بر اثر حوادث غیرمترقبه مانند آتش‌سوزی، سیل و... اتفاق می‌افتد. تغییرات تدریجی ناشی از تغییر اقلیم است که سبب بروز روندهای کندی در درازمدت می‌شود. این تغییرات به‌صورت روندهای مثبت (Greening) و منفی (Browning)

1. Global Inventory Modeling and Mapping Studies

داده‌های به کار رفته

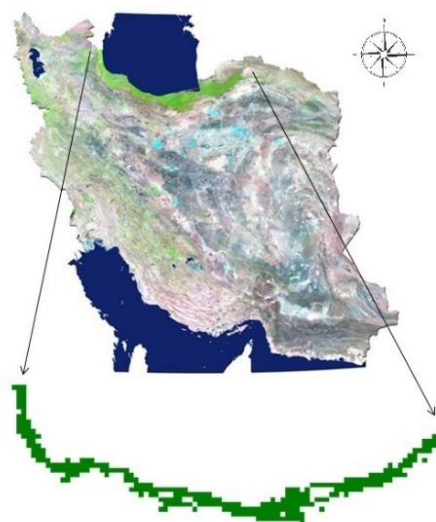
در این تحقیق داده‌های سنجنده AVHRR ماهواره NOAA که با اندازه تفکیک مکانی ۱/۱ کیلومتر در هر شبانه‌روز دو پوشش کامل از کره زمین برداشت می‌کند، استفاده شده است. سری زمانی NDVI این ماهواره توسط گروه GIMMS تهیه شده که در مطالعات پوشش گیاهی از آنها استفاده می‌شود. به منظور به حداقل رساندن اثرهای منفی شرایط جوی از تکنیک ترکیب ارزش‌های حداکثر^۱ (MCV) استفاده و داده‌های NDVI ۱۵ روزه تولید شده است. همچنین برای تولید مجموعه داده بلندمدت خطاهای ناشی از انحراف مدار، تأثیرات ابر و ذرات معلق در هوا، تغییرات سکوها و ضرایب کالیبراسیون که موجب نایک‌نواختی بین داده‌ها می‌شود، توسط گروه GIMMS حذف شده است. نسخه سوم این سری زمانی (NDVI3g) که در سال ۲۰۱۲ تولید شده در این تحقیق به کار گرفته شد. NDVI3g شامل ۷۵۶ تصویر با فاصله زمانی ۱۵ روزه از جولای ۱۹۸۱ تا دسامبر ۲۰۱۲ با تفکیک مکانی ۰/۰۸۳ درجه (۸ کیلومتر) است [۲۶]. همچنین برای تحلیل روند و کشف رابطه بین تغییرات فعالیت پوشش گیاهی و تغییرات آب‌وهوایی از داده‌های دمای ۴۵ ایستگاه و بارش ۲۹۲ ایستگاه هواشناسی منطقه در دوره تحقیق استفاده شد. این داده‌های روزانه از سازمان هواشناسی و وزارت نیرو تهیه و سپس به داده دوهفته‌ای تبدیل شد و با تفکیک مکانی مشابه داده GIMMS درون‌یابی و به صورت رستری تولید شد. به منظور محدود کردن تحقیق در جنگل‌های هیرکانی، آخرین نقشه رقومی و برداری محدوده این جنگل تهیه و متناسب با اندازه سلول داده GIMMS (۸ کیلومتر) رستری شد و به عنوان ماسک جنگل در تجزیه و تحلیل‌ها به کار رفت. در ضمن تنها سلول‌هایی که سطح پوشش جنگلی آنها بیشتر از ۸۰ درصد بود، به عنوان جنگل در نظر گرفته شد (شکل ۱).

تغییرات دما و بارش انجام گرفت. شایان توضیح است که روند تغییرات بررسی شده در این مقاله مربوط به مساحت جنگل نیست، بلکه تغییرات سبزشدگی مدنظر بوده است.

مواد و روش‌ها

منطقه تحقیق

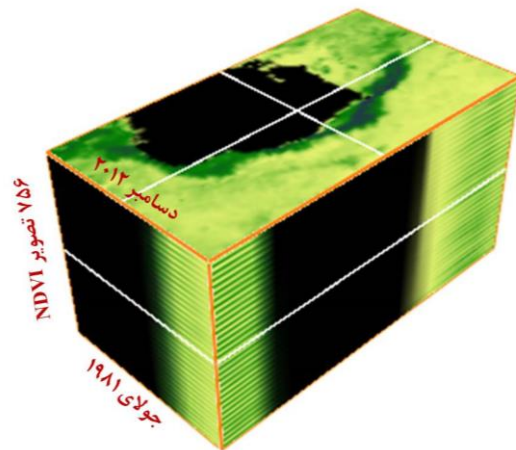
جنگل هیرکانی با مساحتی حدود ۱/۸ میلیون هکتار در نواری به طول حدود ۸۰۰ کیلومتر (از آستارا تا شرق گرگان) و پهنای ۲۰ تا ۷۰ کیلومتر، دامنه‌های شمالی رشته‌کوه البرز را از سطح دریا تا خط مرزی جنگل (ارتفاع ۲۸۰۰ متر از سطح دریا) پوشش می‌دهند (شکل ۱). مقدار بارندگی متوسط سالیانه آن حدود ۶۰۰ میلی‌متر در شرق و حدود ۲۰۰۰ میلی‌متر در غرب است. حداکثر بارندگی در بهار و اواخر پاییز و زمستان رخ می‌دهد. دمای متوسط سالیانه در این نوار جنگلی بین ۱۵ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد است. بیشترین دمای ماهانه بین ۲۸ تا ۳۵ درجه است، در حالی که کمترین دمای ماهانه بین +۱ و -۴ درجه ثبت شده است [۲۵].



شکل ۱. موقعیت منطقه تحقیق در ایران، شکل پایین سلول‌هایی را نشان می‌دهد که سطح پوشش جنگلی آنها بیشتر از ۸۰ درصد است که از نقشه رقومی و برداری محدوده این جنگل تهیه و متناسب با اندازه سلول داده GIMMS (۸ کیلومتر) رستری و به عنوان ماسک جنگل در تجزیه و تحلیل‌ها استفاده شد.

روش پژوهش

پنجره‌ای از داده‌های GIMMS از شمال ایران تهیه شد. با توجه به اینکه داده‌ها به صورت جداگانه و دوهفته‌ای موجود بود، پس از پیش‌پردازش‌های لازم نظیر معرفی سیستم مختصات و تبدیل به فرمت مورد نظر برای تجزیه و تحلیل، داده به صورت سری زمانی درآمد. نمایی شماتیک از این داده به صورت مکعب داده^۱ در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. مکعب داده سری زمانی ۳۲ ساله NDVI GIMMS شامل ۷۵۶ تصویر NDVI دوهفته‌ای

سری زمانی را می‌توان به سه مؤلفه روند، فصلی^۲ و باقی‌مانده^۳ تجزیه کرد. مؤلفه روند، بیان‌کننده رفتار بلندمدت و مؤلفه باقی‌مانده نشان‌دهنده رفتارهای موردی و تکرارنشدنی است [۸]. مؤلفه فصلی که دارای چرخه سالانه است و به طور مکرر در هر سال رخ می‌دهد، ممکن است مطالعه روند بلندمدت را مشکل کند. از این رو توصیه شده است که بررسی روند بلندمدت پس از حذف مؤلفه فصلی از سری زمانی انجام گیرد. سری زمانی پس از حذف مؤلفه فصلی، آنومالی^۴ نامیده می‌شود. آنومالی در

سری زمانی دوهفته‌ای براساس رابطه ساده زیر محاسبه شد [۲۷]:

$$x_i = v_i - \mu \quad (۱)$$

x_i : آنومالی دوهفته‌ای هر پیکسل

v_i : ارزش NDVI دوهفته‌ای

μ : میانگین NDVI دوهفته‌ای کل دوره

تجزیه و تحلیل روند

روند تغییرات فعالیت پوشش گیاهی و معنی‌داری آن در این تحقیق به روش غیرپارامتری من‌کنندال انجام گرفت. این روش ابتدا توسط من در سال ۱۹۴۵ ارائه و سپس توسط کنندال در ۱۹۴۸ توسعه یافت و یکی از روش‌های غیرپارامتری بسیار متداول تحلیل روند در سری‌های زمانی است. این روش برای بررسی روند در سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند مناسب بوده و به مقادیر داده‌های پرت حساسیت چندانی ندارد [۲۸]. در این روش هر مقدار NDVI در سری زمانی، به طور پیوسته و پشت سر هم با بقیه مقادیر سری مقایسه و آماره من‌کنندال محاسبه می‌شود. مراحل این تجزیه و تحلیل به صورت زیر است [۲۸]:

نخست جمع همه مقادیر (S) محاسبه می‌شود:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (۲)$$

n: تعداد داده‌ها (در این تحقیق، تعداد ۷۴۶ تصویر است)

x_i و x_j : مقادیر آنومالی NDVI به ترتیب در زمان‌های i

و j

$\text{sgn}(x_j - x_i)$ با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (۳)$$

سپس آماره کنندال (Z_S) با استفاده از رابطه ۴ محاسبه

می‌شود:

1. Data cube
2. Seasonality
3. Remainder
4. Anomaly

شد. محاسبه آنومالی و فرایند تحلیل روند یادشده بر روی سری زمانی داده‌های دما و بارش نیز انجام گرفت. سپس رابطه رگرسیونی خطی بین این دو پارامتر هواشناسی و داده NDVI بررسی شد که در آن داده GIMMS NDVI به‌عنوان متغیر وابسته و داده دما و بارش به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

نتایج آزمون معنی‌داری روند من‌کندال در شکل ۳ نشان داده شده است. در بیشتر قسمت‌های جنگل‌های هیرکانی روند Greening دیده می‌شود که به رنگ سبز نمایش داده شده است و تنها در قسمت‌های کمی از منطقه که به رنگ قرمز نشان داده شده، روند Browning دیده می‌شود. بخش‌های آبی مناطق جنگلی‌اند که روندی در آنها دیده نشده است و بیشتر در قسمت‌های غربی و اندکی در شرق دیده می‌شود. نمودار تغییرات آنومالی NDVI در طول ۳۲ سال برای هر کدام از این وضعیت‌ها در محل سه پیکسل با روندهای مثبت، منفی و بدون روند و خط برازش روندها در شکل ۴ نشان داده شده است.

$$Z_s = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

S در مرحله قبل به‌دست آمده و Var(S) که همان واریانس سری زمانی است با استفاده از رابطه ۵ محاسبه می‌شود:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (5)$$

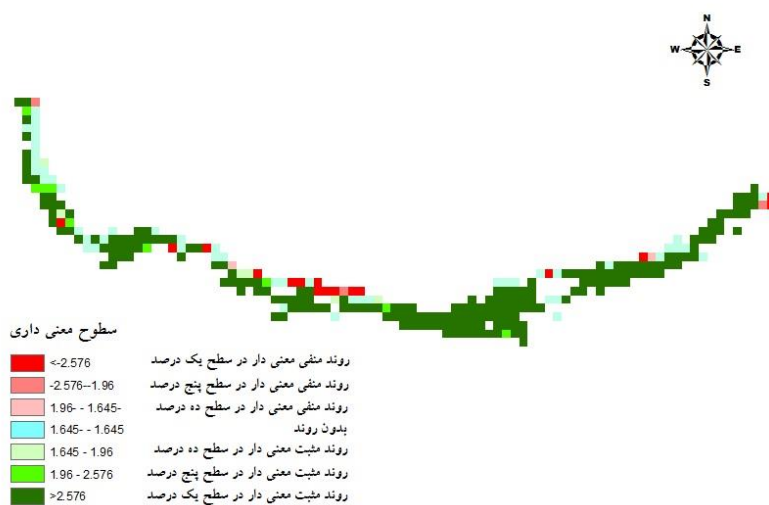
m نشان‌دهنده مجموع تکرار مقادیر و t_i بیانگر مقادیر تکرار شده است.

مقادیر مثبت Z_s بیان‌کننده روند افزایشی است و مقادیر منفی آن روند کاهشی در سری داده‌ها را نشان می‌دهد. برای بررسی معنی‌داری روند در سری داده‌ها، در صورتی که رابطه ۶ برقرار باشد سری دارای روند معنی‌دار ارزیابی می‌شود. در غیر این صورت سری زمانی بدون روند خواهد بود.

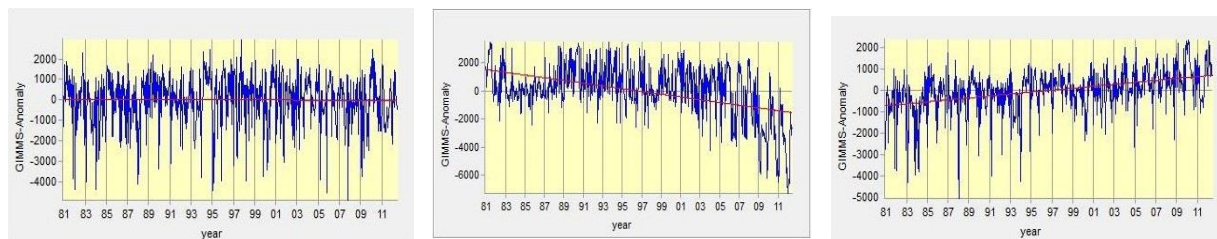
$$|Z_s| > Z_{1-\alpha/2} \quad (6)$$

از جدول توزیع نرمال استاندارد به‌دست می‌آید. در

این مطالعه معنی‌داری سطوح ۱، ۵ و ۱۰ درصد بررسی



شکل ۳. پراکنش مکانی روندهای مشاهده‌شده بر اساس آزمون معنی‌داری روند من‌کندال در داده GIMMS NDVI



ج

ب

الف

شکل ۴. نمودار تغییرات آنومالی GIMMS NDVI در طول سال‌های ۱۹۸۱-۲۰۱۲ و خط برازش آن در سه پیکسل که دارای روندهای مثبت (الف)، منفی (ب) و بدون روند (ج) است

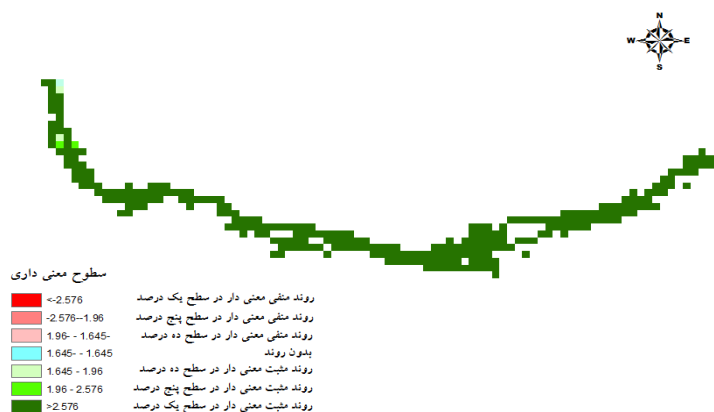
دخالت‌های انسان و تخریب‌های صورت‌گرفته دانست؛ به‌گونه‌ای که کاهش سطح پوشش گیاهی ناشی از دخالت‌های انسانی موجب کاهش ارزش NDVI در پیکسل مربوط و بروز پدیده Browning می‌شود.

چگونگی معنی‌داری روندها در سری‌های زمانی داده‌های هواشناسی بارش و دما به‌ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. تغییرات بارش در بیشتر پیکسل‌های منطقه تحقیق بدون روند است. روند کاهش بارش در قسمت شرقی استان گیلان، بخش مرکزی مازندران به‌ویژه در ارتفاعات و پیکسل‌های کمی از استان گلستان مشاهده می‌شود (شکل ۵). همان‌طور که در شکل ۶ دیده می‌شود دما به‌طور تقریبی در کل منطقه تحقیق در سطح احتمال ۱ درصد دارای روند افزایشی معنی‌دار است.

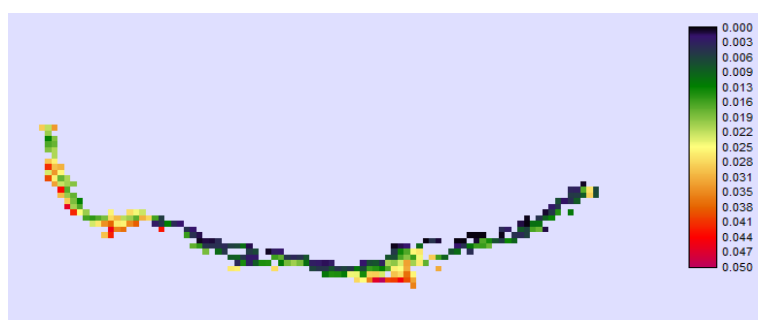
در بیشتر سطوح جنگلی روندی مثبت و سبزشدگی در طول این ۳۲ سال وجود داشته است (رنگ سبز در شکل ۳). در سطحی حدود ۷۵/۳۵ درصد از کل منطقه جنگلی بررسی شده، روند Greening وجود داشت. با توجه به اینکه شاخص NDVI نشان‌دهنده فراوانی کلروفیل است، روند مشاهده‌شده به مقدار پوشش گیاهی و ظرفیت فتوسنتز مربوط می‌شود [۸، ۲۹]. همچنین روند افزایشی NDVI ممکن است ناشی از افزایش طول دوره رویش گیاهی باشد که با بهار زودرس و پاییز دیررس در سال‌های اخیر به‌وضوح دیده شده است. تنها در قسمت‌های کمی (۷/۴۱ درصد) روند Browning مشاهده می‌شود. با توجه به اینکه روند منفی در پایین‌دست و به‌طور خاص در شهرستان نوشهر دیده می‌شود، می‌توان یکی از دلایل آن را



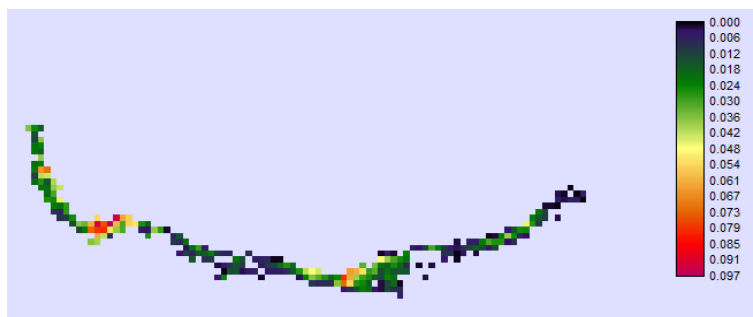
شکل ۵. پراکنش مکانی روندهای مشاهده‌شده براساس آزمون معنی‌داری روند من‌کنندال در داده بارش



شکل ۶. پراکنش مکانی روندهای مشاهده شده براساس آزمون معنی داری روند من‌کندال در داده دما



شکل ۷. پراکنش مکانی ضریب تعیین رابطه آنومالی سری‌های زمانی NDVI با بارش در سال‌های ۲۰۱۲-۱۹۸۱ در منطقه تحقیق



شکل ۸. پراکنش مکانی ضریب تعیین رابطه آنومالی سری‌های زمانی NDVI با دما در سال‌های ۲۰۱۲-۱۹۸۱ در منطقه تحقیق

حاصل از رابطه رگرسیون خطی بین سری زمانی NDVI و تغییرات بارش و دما به ترتیب در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه شده است.

تاکنون تحقیقی در زمینه روند تغییرات فعالیت پوشش گیاهی در جنگل‌های هیرکانی به این صورت انجام نگرفته است تا بتوان نتایج را مقایسه کرد. مقایسه نتایج این تحقیق نیز با مطالعات جهانی بررسی روند با توجه به تفاوت منطقه تحقیق، استفاده از داده و محدوده زمانی متفاوت مشکل است؛ اما به‌طور کلی نتایج این تحقیق با

باید توجه داشت که پدیده گرمایش زمین ممکن است تأثیرات متفاوتی در مناطق مختلف داشته باشد، به‌نحوی که در برخی مناطق افزایش و در مناطقی دیگر کاهش بارش اتفاق بیفتد. در مطالعه حاضر یک روند کاهشی در مجموع بارش دوهفته‌ای در طول ۳۲ سال در رودبار گیلان، سوادکوه و ارتفاعات ساری و در مقابل روندی افزایشی در ارتفاعات پایین نوشهر و چالوس و شرقی‌ترین قسمت استان گلستان دیده می‌شود. در دیگر مناطق روندی خاص مشاهده نشد. پراکنش مکانی ضریب تعیین

که ناشی از افزایش فعالیت پوشش جنگلی است، ممکن است تا حد زیادی ناشی از روند گرمایش زمین و اثر آن بر فعالیت فتوسنتزی و رشد باشد. البته نتایج ضعیف رابطه رگرسیونی NDVI و عوامل دما و بارش بیانگر این مطلب است که عوامل دیگری غیر از عامل‌های آب‌وهوایی می‌توانند در این روند تأثیر داشته باشند. باید توجه داشت که تنظیمات هر سنجنده در هر ماهواره و همچنین ماهواره‌های مختلف از یک سری می‌توانند با هم متفاوت باشند. این تفاوت‌ها بی‌گمان تأثیرات منفی بر این داده‌ها و نیز در تجزیه و تحلیل‌های روند خواهند داشت. از این‌رو باید از داده‌هایی نظیر GIMMS که در فرایندی پیچیده توسط متخصصان به‌صورت استاندارد آماده شده‌اند استفاده شود. داده‌های بارزش GIMMS دارای اندازه تفکیک مکانی ۸ کیلومتر بوده و بیشتر برای مطالعه در سطوح بسیار وسیع مناسب است، اما به‌علت محدودیت داده به‌صورت سری زمانی با کیفیت مناسب که اعتبار آن نیز تأیید شده باشد، در این مطالعه استفاده شد. کمبود ایستگاه‌های هواشناسی در نواحی جنگلی موجب عدم قطعیت در داده‌های دما و بارش شد که ضرورت توسعه روش‌های تهیه داده‌های مطمئن را مطرح می‌سازد.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از همکاری‌های علمی مرکز تغییرات اقلیمی دانشگاه والنسیای اسپانیا تشکر کنند.

دیگر مطالعات مشابه جهان مطابقت دارد. در نتایج مطالعه Jiang و همکاران (۲۰۱۳) در عرض‌های میانی و بالای نیمکره شمالی که شامل جنگل‌های هیرکانی نیز است، روند Greening دیده می‌شود [۳۰].

نتایج بررسی رابطه رگرسیونی سری‌های زمانی NDVI با دما و بارش، حاکی از آن است که ضرایب تعیین در محل هر پیکسل در هر دو مورد بسیار ناچیز است (شکل‌های ۷ و ۸). هرچند تغییرات مشاهده‌شده در روند سبزشدگی جنگل‌های هیرکانی همسو با روند افزایش دماست، ولی همبستگی آنها ضعیف است. این روند با روند باران همخوانی ندارد؛ از این‌رو می‌تواند ناشی از عوامل دیگری غیر از عامل‌های آب و هوایی باشد که در این مطالعه لحاظ نشده است. البته نباید از نظر دور داشت که نبود رابطه قوی رگرسیونی ممکن است به‌علت محدودیت‌های داده‌های آب‌وهوایی از جمله تعداد کم ایستگاه‌های هواشناسی در داخل جنگل و در ارتفاعات باشد. همچنین ویژگی خاص جنگل‌های هیرکانی به لحاظ توپوگرافی آن، موجب شکل‌گیری میکروکلیمها و شرایط آب‌وهوایی متفاوتی در مناطق مختلف شده است؛ بنابراین محدودیت داده‌های اقلیمی، تأثیرگذاری عوامل مختلف بر فعالیت پوشش گیاهی، مطالعه روابط بین محیط و تغییرات فعالیت پوشش گیاهی را مشکل می‌کند.

نتیجه‌گیری

روند افزایشی NDVI مشاهده‌شده در جنگل‌های هیرکانی

References

- [1]. Foley, J.A., Levis, S., Costa, M.H., Cramer, W., and Pollard, D. (2000). Incorporating dynamic vegetation cover within global climate models. *Ecological Applications*, 10(6): 1620-1632.
- [2]. Curnel, Y., and Oger, R. (2007). Agrophenology indicators from remote sensing: state of the art. *ISPRS Archives XXXVI-8/W48 Workshop proceedings: Remote sensing support to crop yield forecast and area estimates*, pp. 31-38.
- [3]. White, M.A., de Beurs, K.M., Didan, K., Inouye, D.W., Richardson, A.D., Jenson, O.P., Keefe, J.O., Zhang, G., Nemani, R.R., Leeuwen, W.J.D., Brown, J.F., De Wit, A., Schaepman, M., Lin, X., Dettinger, M.E., Bailey, A.S., Kimball, J., Schwartz, M.D., Baldocchi, D., Lee, J.T., and Lauenroth, W.K. (2009). Intercomparison interpretation and assessment of spring phenology in North America estimated from remote sensing for 1982-2006. *Global Change Biology*, 15(10): 2335-2359.
- [4]. Tucker, C.J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150.

- [5]. De Jong, R., Verbesselt, J., Schaepman, M.E., and 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.
- [6]. Anyamba, A., and Tucker, C.J. (2005). Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981–2003. *Journal of Arid Environments*, 63(3): 596-614.
- [7]. De Jong, R., Verbesselt, J., Schaepman, M.E., and de Bruin, S. (2011). Detection of Breakpoints in Global NDVI time series: 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment (ISRSE). 10th to 15th April 2011, Sydney, Australia.
- [8]. Schucknecht, A., Erasmi, S., Niemeyer, I., and Matschullat, J. (2013). Assessing vegetation variability and trends in north-eastern Brazil using AVHRR and MODIS NDVI time series. *European Journal of Remote Sensing*, 46(1): 40-59.
- [9]. Verbesselt, J., Hyndman, R., Newnham, G., and Culvenor, D. (2010). Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. *Remote Sensing of Environment*, 114(1): 106-115.
- [10]. Alcaraz-Segura, D., Chuvieco, E., Epstein, H.E., Kasischke, E.S., and Trishchenko, A. (2010). Debating the greening vs. browning of the North American boreal forest: differences between satellite datasets. *Global Change Biology*, 16(2): 760-770.
- [11]. De Jong, R., De Bruin, S., De Wit, A., Schaepman, M.E., and Dent, D.L. (2011). Analysis of monotonic greening and browning trends from global NDVI time-series. *Remote Sensing of Environment*, 115(2): 692-702.
- [12]. Hogda, K.A., Tommervik, H., and Karlsen, S.R. (2013). Trends in the Start of the Growing Season in Fennoscandia 1982-2011. *Remote Sensing*, 5(9): 4304-4318.
- [13]. De Wit, A.J.W., and Su, B. (2005). Deriving phenological indicators from spot-vgt data using the HANTS algorithm. Proceedings of the 2nd international VEGETATION user conference; 1998-2004: 6 years of operational activities. Luxembourg. pp. 195-201.
- [14]. Baldi, G., Noretto, M.D., Aragon, R., Aversa, F., Paruelo, J.M., and Jobbagy, E.G. (2008). Long-term Satellite NDVI Data Sets: Evaluating Their Ability to Detect Ecosystem Functional Changes in South America. *Sensors*, 8(9): 5397-5425.
- [15]. Javanshir, K., Rahmani, R., Shirvani, A., Yazdian, F., (1997). Phenology of Forest Trees and Gradient of Temperature in Kheyroud Kenar, Caspian forest. *Iranian Journal of Natural Resources*, 5(1): 29-35.
- [16]. Fenshold, R., and Proud, S.R. (2012). Evaluation of earth observation based global long term vegetation trends — Comparing GIMMS and MODIS global NDVI time series. *Remote Sensing of Environment*, 119: 131-147.
- [17]. Cook, B.I., and Pau, S. (2013). A global assessment of long-term greening and browning trends in pasture lands using the GIMMS LAI3g dataset. *Remote Sensing*, 5(5): 2492-2512.
- [18]. Pfeifer, M., Lefebvre, V., Gonsamo, A., Pellikka, P.K.E., Marchant, R., Denu, D. and Platts, P.J. (2014). Validating and Linking the GIMMS Leaf Area Index (LAI3g) with Environmental Controls in Tropical Africa. *Remote Sensing*, 6(3):1973-1990.
- [19]. Zhu, Z., Bi, J., Pan, Y., Ganguly, S., Anav, A., Xu, L., Samanta, A., Piao, S., Nemani, R.R., and Myneni, R.B. (2013). Global data sets of vegetation leaf area index (LAI) 3g and Fraction of Photosynthetically Active Radiation (FPAR) 3g derived from Global Inventory Modeling and Mapping Studies (GIMMS) Normalized Difference Vegetation Index (NDVI3g) for the period 1981 to 2011. *Remote Sensing*, 5(2): 927-948.
- [20]. Ichii, K., Kondo, M., Okabe, Y., Ueyama, M., Kobayashi, H., Lee, S.J., Saigusa, N., Zhu, Z., and Myneni, R.B. (2013). Recent Changes in Terrestrial Gross Primary Productivity in Asia from 1982 to 2011. *Remote Sensing*, 5(11): 6043-6062.
- [21]. Wang, J., Dong, J., Liu, J., Huang, M., Li, G., Running, S.W., Smith, W.K., Harris, W., Saigusa, N., Kondo, H., Liu, Y., Hirano, T. and Xiangming X. (2014). Comparison of Gross Primary Productivity Derived from GIMMS NDVI3g, GIMMS, and MODIS in Southeast Asia. *Remote Sensing*, 6(3): 2108-2133.
- [22]. Karlsen, S.R., Elvebakk, A., Høgda, K.A., and Johansen, B. (2006). Satellite-based mapping of the growing season and bioclimatic zones in Fennoscandia. *Global Ecology and Biogeography*, 15(4): 416-430.

- [23]. Sobrino, J.A., Julien, Y., and Morales, L. (2011). Changes in vegetation spring dates in the second half of the twentieth century. *International Journal of Remote Sensing*, 32(18), 5247-5265.
- [24]. Luo, X., Chen, X., Xu, L., Myneni, R., and Zhu, Z. (2013). Assessing Performance of NDVI and NDVI3g in Monitoring Leaf Unfolding Dates of the Deciduous Broadleaf Forest in Northern China. *Remote sensing*, 5(2): 845-861.
- [25]. Marvi mohadjer, M.R. (2006). *Silviculture*. University of Tehran press. Tehran.
- [26]. Pinzon, J.E., and Tucker, C.J. (2014). A non-stationary 1981–2012 AVHRR NDVI3g time series. *Remote Sensing*, 6(8): 6929-6960.
- [27]. Eastman, J.R. (2009). *IDRISI Taiga - Guide to GIS and Image Processing*. Clark Labs Clark University, Worcester.
- [28]. Wu, D., Wu, H., Zhao, X., Zhou, T., Tang, B., Zhao, W., and Jia, K. (2014). Evaluation of Spatiotemporal Variations of Global Fractional Vegetation Cover Based on GIMMS NDVI Data from 1982 to 2011. *Remote Sensing*, 6(5), 4217-4239.
- [29]. Myneni, R.B., Hall, F.G., Sellers, P.J., and Marshak, A.L. (1995). The interpretation of spectral vegetation indexes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33(2): 481- 486.
- [30]. Jiang, N., Zhu, W., Zheng, Zh., Chen, G., and Fan, D. (2013). A Comparative Analysis between GIMSS NDVIg and NDVI3g for Monitoring Vegetation Activity Change in the Northern Hemisphere during 1982-2008. *Remote Sensing*, 5(8): 4031-4044.

Greening trend in the Hyrcanian forests using NOAA NADVI time series during 1981-2012

K. Kiapasha; Ph.D. candidate, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

A. A. Darvishsefat*; Prof., Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

N. Zargham; Assoc. Prof., Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

P. Attarod; Assoc. Prof., Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

M. Nadi; Assist. Prof., Department of Irrigation, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I.R. Iran

M. E. Schaepman; Prof., Department of Geography, University of Zurich, Zurich, Switzerland

(Received: 11 May 2016, Accepted: 06 July 2016)

ABSTRACT

The Hyrcanian forests are one of the most important global terrestrial ecosystems influenced by environmental factors. They have significant impacts on sustainable development of human communities. The forest monitoring based on phenological trends is essential for understanding the response of forest ecosystems to climate variability. The objective was thus to analyze long-term trends of vegetation activity using Mann Kendall test pixel by pixel on 756 biweekly NOAA NDVI time series in the forest areas of northern Iran during 1981-2012. Trends of temperature and precipitation and their regression relationships with NDVI were considered. The greening and browning trends appeared in 75.35% and 7.41% of these forests areas, respectively. The precipitation trend analysis exhibited no obvious significant trend in most pixels of the study area, however, trend analysis of temperature time series showed significant increasing trends ($\alpha = 0.01$) in the whole region. Results of regression relationship between time series NDVI and temperature and precipitation demonstrated a weak relationship with changes in vegetation activities and climatological parameters during 1981-2012. The results of this research demonstrated that greening phenomenon in the Hyrcanian forests cannot be solely related to the climatological factors

Keywords: Browning, Greening, Long-term trend, Mann Kendall analysis, NOAA NDVI, Time series, Trend analysis.

* Corresponding Author, Email: adarvish@ut.ac.ir, Tel: +989121640944