



دوره‌ی ۳۴، شماره‌ی ۳، شماره‌ی پیاپی ۱۳۲، پاییز ۱۴۰۰، صفحه‌های ۹۵-۱۱۴

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2021.352457.1370

مقاله‌ی پژوهشی



پژوهش‌های آبخیزداری

تأثیر عامل‌های طبیعی و انسانی بر تغییر خطی و غیرخطی پوشش گیاهی با تصویرهای ماهواره‌یی در آبخیز خور- سفیدارک، استان البرز

مجید کاظم‌زاده

(نویسنده‌ی مسئول)* دکترای علوم و مهندسی آبخیز- آب، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران

زهرا نوری

دکترای علوم و مهندسی آبخیز- آب، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران

اصغر بیات

کارشناس ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران

سلما ساعدی فرکوش

کارشناس ارشد توسعه‌ی روستایی، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشا

علی اصغر الیاسی

کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست- آب و فاضلاب، دانشکده‌ی منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس

حسن علی‌پور

کارشناس ارشد مهندسی آبخیزداری دانشکده‌ی منابع طبیعی دانشگاه تهران

علیرضا منصورفلاح

کارشناس مهندسی عمران- آب دانشکده‌ی فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

*ایران‌نامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: Mkazemzadeh@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۲۰ آبان ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: ۲۵ اسفند ۱۳۹۹

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی روند تغییر خطی و غیرخطی پوشش گیاهی بر اثر عامل‌های اقلیمی (بارش، دما و خشک‌سالی) و انسانی (اقدام‌های زیستی آبخیزداری) با تصویرهای ماهواره‌یی در بازه‌ی زمانی ۲۰ سال (۲۰۱۹-۲۰۰۰) در آبخیز خور- سفیدارک استان البرز است. شاخص پوشش گیاهی، شاخص خشک‌سالی و الگوریتم پلی‌ترند با استخراج دوره‌های زمانی ماهانه به کار برده شد. با کاربرد داده‌های اقلیمی و اطلاعات اقدام‌های آبخیزداری اجراشده، تأثیر عامل‌های طبیعی (دما، بارش و خشک‌سالی) و انسانی بر تغییر پوشش گیاهی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که در ۲۰ سال گذشته تغییر در ۳۵٪ از پوشش گیاهی آبخیز معنی‌دار (۹۲/۶٪ افزایشی و ۷/۴٪ کاهش)، و در ۶۵٪ آبخیز نا معنی‌دار بود. نتیجه‌ها نشان داد که ۸۷/۷۱٪ از تغییر پوشش گیاهی منطقه از نوع خطی، و به ترتیب ۶/۶۲٪ و ۵/۶۸٪ از تغییر مانده غیرخطی درجه‌ی دو و سه بود. بررسی تأثیر دما و بارش بر پوشش گیاهی نشان داد که بارش منطقه روند معنی‌داری در دو دهه نداشت، اما روند دما کاهش معنی‌دار بود. ارزیابی تأثیر خشک‌سالی بر تغییر پوشش گیاهی نشان داد که بیش‌ترین کاهش در پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۸ اتفاق افتاد، که بر اثر خشک‌سالی شدید اقلیمی بود. نتیجه این‌که هر چند تغییر پوشش گیاهی در درازمدت بر اثر عامل‌های اقلیمی نبود، تغییر کوتاه‌مدت روی داده‌های جدی از جمله خشک‌سالی، به‌روشنی تغییر پوشش گیاهی منطقه را توضیح می‌دهد. از طرف دیگر، نتایج نشان داد که اقدام‌های آبخیزداری باعث ایجاد تغییر با الگوی خطی، و تغییر و گسترش منطقه‌های مسکونی (عامل انسانی) باعث ایجاد الگوی غیرخطی در پوشش گیاهی شد. علت آن این است که اقدام‌های زیستی آبخیزداری به شکل خطی و تدریجی باعث افزایش و تقویت پوشش گیاهی منطقه شد، اما تغییر و گسترش زمین منطقه‌های روستایی باعث کاهش غیرخطی (تغییر ناگهانی و نا تدریجی) پوشش گیاهی شد.

واژگان کلیدی: اقدام‌های آبخیزداری، پوشش گیاهی، خشک‌سالی، سنجش از دور، عامل‌های طبیعی و انسانی

مقدمه

پایش تغییر پوشش گیاهی نقش اساسی در برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست دارد و کاربرد داده‌های ماهواره‌ای امکان بررسی گسترده‌ی پوشش گیاهی را در مقیاس گسترده‌ی زمانی و مکانی فراهم می‌سازد (ناطق‌ی و همکاران ۲۰۱۷). در طول چند دهه‌ی گذشته شاخص‌های گیاهی کاربرد وسیعی در بررسی‌های منابع طبیعی و پایش پوشش گیاهی در مقیاس کوچک تا مقیاس‌های منطقه‌ی و جهانی پیدا کرده‌اند که با کاربرد داده‌های ماهواره‌ی استخراج می‌شود (علوی پناه ۲۰۰۳). پوشش گیاهی به علت‌های گوناگون و با گذشت زمان زمان دچار تغییر می‌شود و بر شرایط و عمل کرد بوم‌نظام تأثیر می‌گذارد. تغییر پوشش گیاهی ممکن است ناشی از فعالیت‌های انسان و یا عامل‌های طبیعی باشد. عامل‌های طبیعی بارش، دما، روی داده‌های جدی آب و هوایی (خشک‌سالی، سیل، و آتش‌سوزی) و عامل‌های انسانی تغییر کاربری زمین و اقدام‌های مدیریتی مانند احیای پوشش گیاهی است (جنگ و همکاران ۲۰۱۹، تنگ و همکاران ۲۰۲۰). تغییر پوشش گیاهی تأثیر مهمی بر تنوع زیستی و عمل کرده‌های بوم‌نظام‌ها دارد، بنابراین آشکارسازی، پیش‌بینی و اجرای اقدام‌های مدیریتی سازگار با این تغییر در بوم‌نظام اهمیت بسیاری دارد (کیم و همکاران ۲۰۱۳، زنگ و همکاران ۲۰۱۳، جیان و همکاران ۲۰۱۵). فعالیت‌های انسان و عامل‌های اقلیمی از جمله مهم‌ترین عامل‌هایی است که در مقیاس منطقه‌ی و جهانی بر تغییر پوشش گیاهی تأثیر می‌گذارد (هانگ و همکاران ۲۰۱۶، زنگ و همکاران ۲۰۱۶، جیان و همکاران ۲۰۱۷، لیو و همکاران ۲۰۱۸). آبخیزداری از فعالیت‌های عمده و زیربنایی است که بر اساس اصول مدیریت پایدار آبخیز به شکل اقدام‌های زیستی، زیست‌ساختمانی و سازه‌ی اجرا می‌شود. این اقدام‌ها برای حفاظت منابع آب، خاک و پوشش گیاهی، بهره‌برداری بهینه از آن‌ها، و حفظ سرمایه‌های اصلی به اجرا در می‌آید (حاجی بیگلر، ۲۰۱۷). از طرف دیگر، تغییر سنج‌های اقلیمی که عامل طبیعی اند تغییر اساسی در پوشش گیاهی ایجاد می‌کنند. بارش و دما از مهم‌ترین عامل‌های اقلیمی است که تأثیر مهمی بر تغییر پوشش گیاهی دارد (زنگ و یانگ ۲۰۰۹، جانگ و همکاران ۲۰۱۶، لیو و همکاران ۲۰۱۸). سنجش از دور و کاربرد داده‌های دوره‌ی زمانی درازمدت تصویرهای ماهواره‌ی از مناسب‌ترین ابزارها برای تحلیل روند تغییر پدیده‌های طبیعی و انسانی اند (هاشمی دره بادامی و همکاران ۲۰۱۵، میراحسنی و همکاران ۲۰۱۷). نقش تعیین‌کننده‌ی سنجش از دور در ارزیابی و پایش پوشش

گیاهی^۱ کاربرد شاخص‌ها است. یکی از شاخص‌هایی که به گستردگی به‌کاربرده می‌شود شاخص پوشش گیاهی است که براساس اختلاف نوارهای قرمز و فروسرخ نزدیک اندازه‌ی پوشش گیاهی را محاسبه، و اطلاعات مفیدی از تغییر فصلی و سالانه‌ی پوشش گیاهی فراهم می‌کند (تاگر و همکاران ۱۹۸۵، زاو ۲۰۰۳، هو و همکاران ۲۰۱۹).

حسینی توسل و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که روند پوشش گیاهی در دوره‌ی بررسی کاهش یافته و بارش بیش‌ترین همبستگی را با تغییر پوشش گیاهی داشته است. میراحسنی (۲۰۱۹) نشان داد که روند تغییر پوشش گیاهی در برخی از منطقه‌های آبخیز گاوخونی کاهش و نشان دهنده‌ی تخریب در حوزه بود. وانگ و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که خشک‌سالی ممکن است بر روند تغییر پوشش گیاهی اثر بگذارد، اما فعالیت‌های انسانی نقش مهم‌تری در تغییر پوشش گیاهی دارند. زی و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که خشک‌سالی منجر به ۲۰٪ کاهش در پوشش گیاهی در منطقه‌ی از استرالیا شد. سان و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که عامل‌های انسانی مهم‌ترین عامل در تغییر پوشش گیاهی در کشور چین بود. بنابراین در نقاط گوناگون دنیا شناسایی تغییر پوشش گیاهی با کاربرد روش شاخص‌های گیاهی سنجش‌از‌دور در سال‌های اخیر بسیار گزارش شده است (روکنی و موسی ۲۰۱۹، زاو و همکاران ۲۰۱۹، مرسیر و همکاران ۲۰۲۰). در نتیجه، تغییر پوشش گیاهی در بیش‌تر منطقه‌های جهان کاهش است. از بین عامل‌های گوناگون تأثیرگذار طبیعی بر آن، تغییر بارش و روی داد خشک‌سالی بیش‌ترین تأثیر بر تغییر پوشش گیاهی داشته است. در عامل‌های انسانی نیز تخریب زمین بیش‌ترین تأثیر بر روند کاهش پوشش گیاهی دارد.

پژوهشگران برای تحلیل روند تغییر پوشش گیاهی بر اثر عامل‌های طبیعی و انسانی آزمون و روش‌های معمول از جمله وایازی خطی را به‌کار گرفته‌اند. احتمالاً با کاربرد روش‌های معمول، استخراج تغییر پیچیده و غیرخطی در عامل بسیار مهمی مانند پوشش گیاهی ممکن نیست. به‌طور کلی هدف از این پژوهش بررسی روند تغییر خطی و غیرخطی پوشش گیاهی بر اثر عامل اقلیمی (بارش، دما و خشک‌سالی) و انسانی (اقدام‌های زیستی آبخیزداری) با کاربرد تصویرهای ماهواره‌ی در بازه‌ی زمانی ۲۰ سال (۲۰۱۹-۲۰۰۰) در آبخیز خور سفیدارک است. این پژوهش به دنبال یافتن پاسخ پوشش گیاهی به تغییر عامل طبیعی (از جمله بارش و دما) و انسانی (مدیریت عرصه یا تخریب آن) با کاربرد رابطه‌های خطی و غیرخطی است. برای مثال، ممکن است تغییر پوشش گیاهی

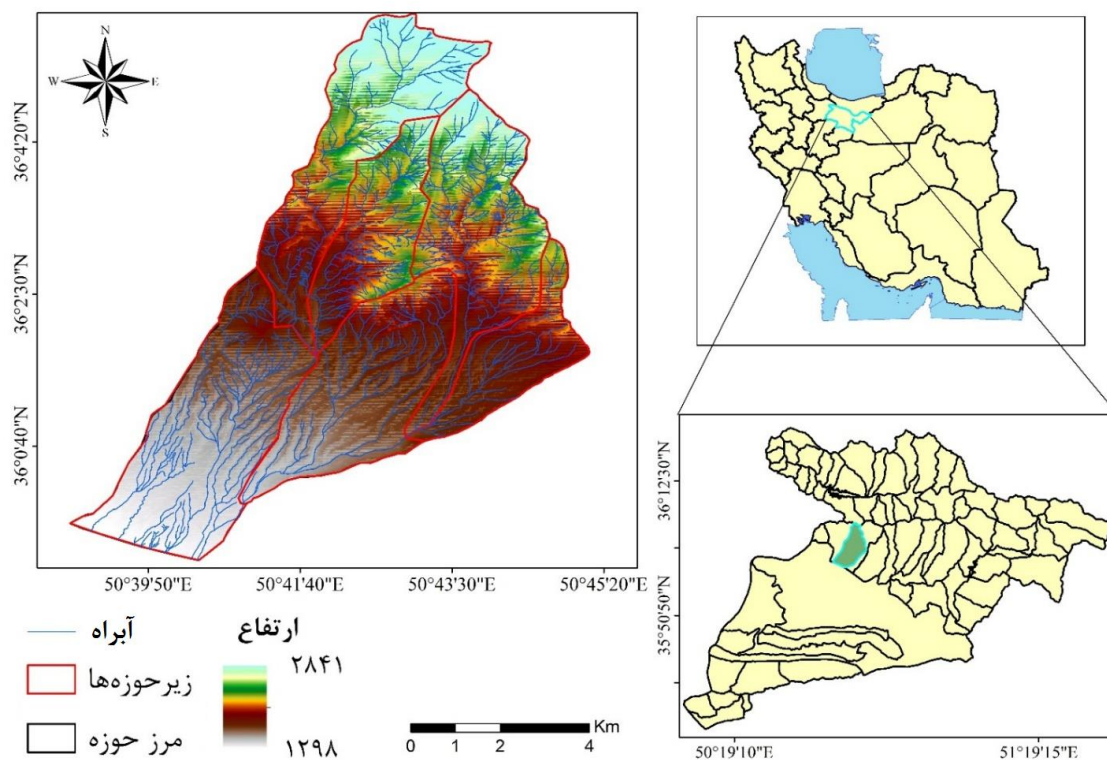
۲۰۱۹). تصویرهای مربوط به فصل رشد بر پایه‌ی پدیده‌شناسی رویشی گیاهان (میان‌ه‌ی اردیبهشت تا پایان شهریور) به‌کارگرفته شد. در این ماه‌ها همه‌ی تصویرهایی که کاربری داشت برگرفته شد تا در مرحله‌ی محاسبه‌های اندازه‌های ماهانه از آن‌ها میانگین گرفته شود. برای هر ماه از دوره‌ی رشد سال دست‌کم دو تصویر ماهواره‌یی به‌کاربرده شد، یعنی برای هر چهار و نیم ماه از دوره‌ی رشد سال، ۹ تصویر و در مجموع ۱۸۰ تصویر برای ۲۰ سال گرفته شد (جدول ۱). برای پیش‌پردازش تصویرهای ماهواره‌یی، تصحیح‌های نیواری با الگوریتم FLAASH^۲ و تصحیح پرتوسنجی در نرم‌افزار ENVI 5.3 برای رفع خطاهای ناشی شرایط جوی و خش^۳ سنجنده و رفع پیچیدگی‌هایی مانند جابه‌جایی مسیر حرکت ماهواره و حرکت زمین به دور خود انجام شد. تصحیح هندسی مجموعه‌ی اقدام‌ها و محاسبه‌هایی است که بر اثر آن شکل عارضه‌ها و موقعیت نقطه‌های تصویر روی تصویرها تصحیح می‌شود. تطابق هندسی تصویرهای سنجده‌های لندست مناسب بود و مقایسه‌ی نقشه‌ی آبراه استخراج‌شده از نقشه‌های پستی‌بلندی با این تصویرها، و شناخت میدانی از عرصه این را تایید کرد. تصویرها برای محاسبه‌ی شاخص پوشش گیاهی در دوره‌ی ۲۰ ساله به‌کارگرفته شد. برای بررسی تغییر عامل‌های اقلیمی و محاسبه‌ی شاخص خشک‌سالی داده‌های بارش و دمای ماهانه‌ی دو ایستگاه هم‌دید کرج (طول ۵۶°۱۶' و عرض ۳۵°۴۶'۴۹'' و هشتگرد (طول ۴۵°۰۳' و عرض ۳۶°۰۰'۰۰'' در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۰ به‌کارگرفته شد. علت کاربرد ایستگاه‌ها نزدیک‌بودن به منطقه، منظم و تکمیل بودن اطلاعات آن‌ها، و داشتن کفایت لازم بود.

بر اثر عامل انسانی همیشه به شکل خطی نباشد و از الگوهای غیرخطی پیروی کند. نتایج پژوهش نشان خواهد داد که تغییر پوشش گیاهی در ۲۰ سال گذشته افزایشی یا کاهش، خطی و غیرخطی بود، الگوی غالب تغییر پوشش گیاهی چگونه (خطی یا غیر خطی) بود، و هر تغییر نتیجه‌ی کدام عامل طبیعی یا انسانی بود.

مواد و روش‌ها

آبخیز خور-سفیدارک برپایه‌ی تقسیم‌بندی جاماب کشور در حوزه‌ی دریاچه‌ی نمک در بلندی‌های جنوبی رشته‌کوه‌های البرز (۳۵°۵۹' تا ۳۶°۰۶' عرض و ۵۰°۳۸' تا ۵۰°۴۶' طول جغرافیایی)، در حدود ۷۰ کیلومتری شمال غرب تهران، در شمال شهرستان هشتگرد است (شکل ۱). از شمال با آبخیز طالقان، از جنوب با بزرگراه کرج-قزوین، از شرق با آبخیز فشنند، و از غرب با آبخیز هیو و شلمزار محصور شده است. مساحت آن ۵۳/۱۴ km² (۵۳۹۴/۳ هکتار) و محیط آن ۳۴/۸ km است. طولانی‌ترین آبراه آن ۱۵/۱۳۹ km با امتداد شمالی-جنوبی است. اقلیم منطقه بر اساس روش آمبرژه اقلیم بلندی‌ها (ارتفاعات) است. متوسط بارندگی و دمای سالانه به ترتیب ۴۱۹ mm و ۹/۶ C^o است. ارتفاع آبخیز از ۱۲۹۸ تا ۲۸۴۰ متر است. در این محدوده واحدهای سنگ‌چینه‌یی با سن پرکامبرین تا کواترنری رخمون یافته‌اند. روستاهای خور، سفیدارک و عرب آباد در این آبخیز است.

برای ارزیابی تغییر پوشش گیاهی تصویرهای چند زمانه‌ی ماهواره‌های لندست ۵ (تی ام)، ۷ (تی تی ام+) و ۸ (او ال آی) با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ به‌کارگرفته شد (سازمان زمین شناسی آمریکا



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی آبخیز خور-سفیدارک.

جدول ۱- مشخصه‌های تصویرهای کاربردی در برآورد تغییر پوشش گیاهی.

ماهواره	تاریخ تصویرها	Path/row	قدرت تفکیک مکانی	تعداد تصویر
Landsat 5 TM	۲۰۱۲-۲۰۰۰	۱۶۵/۳۵	۳۰ m	۸۰
Landsat 7 ETM+	۲۰۱۲-۲۰۰۰	۱۶۵/۳۵	۳۰ m	۳۷
Landsat 8 OLI	۲۰۱۹-۲۰۱۳	۱۶۵/۳۵	۳۰ m	۶۳

مقدار شاخص پوشش گیاهی ماهانه از ترکیب دو شاخص پوشش گیاهی ۱۶ روزه (برای هر ماه دو تصویر) در نرم‌افزار آرک جی‌آی‌اس برای ماه‌های اردیبهشت تا شهریور در دوره‌ی ۲۰۱۹-۲۰۰۰ به دست آمد. مقدار عددی این شاخص -۱ تا +۱ است، هرچه مقدار به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان دهنده‌ی پوشش گیاهی انبوه‌تری است.

برای محاسبه‌ی تغییر خطی و غیرخطی پوشش گیاهی روش پلی‌ترند (جمالی و همکاران ۲۰۱۴) به کار گرفته شد. این روش روی‌کردی جدید برای شناسایی تغییر خطی و غیرخطی (درجه‌ی دو و سه) در دوره‌های زمانی است. برخلاف روش‌های قدیمی تعیین روند که فقط روند خطی را در داده‌ها نشان می‌داد، این روش روند خطی و غیرخطی در داده‌ها را نشان

شاخص‌های پوشش گیاهی به‌گسترده‌گی همچون معیارهایی برای تجزیه و تحلیل تغییر پوشش گیاهی به کار برده می‌شود (موراویتس و همکاران ۲۰۰۶). یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها برای پایش تغییر پوشش گیاهی شاخص پوشش گیاهی است (روز و همکاران ۱۹۷۴). به دلیل ساختار فرمولی شاخص پوشش گیاهی و تقسیم‌نوازی، خطاهای ناشی از سایه‌ی دامنه‌ها در منطقه‌های کوهستانی بر اثر تقسیم‌نوارها از بین می‌رود. از این‌رو این شاخص یکی از بهترین گزینه‌ها در این منطقه‌ی کوهستانی بود. این شاخص با نسبت‌گیری نوارهای قرمز و فرورسرخ نزدیک (رابطه‌ی ۱) به دست آمد (تاگر ۱۹۷۹).

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad (1)$$

و همکاران (۲۰۱۴). این روش بعد از به‌دست آوردن داده‌های سالانه (دوره‌ی زمانی ۲۰ ساله برای هر نقطه‌ی تصویر) با میانگین‌گیری از داده‌های ماهانه در نرم‌افزار متلب اجرا شد. برای ارزیابی عامل‌های تأثیرگذار بر تغییر پوشش گیاهی دو دسته‌ی مهم عامل‌های طبیعی و انسانی بررسی شد. از عامل‌های انسانی اقدام‌های زیستی آبخیزداری در سال‌های گذشته گرفته شد. تأثیر اجرای اقدام‌های زیستی آبخیزداری و سایر فعالیت‌ها مانند تغییر کاربری زمین و تصرف‌ها فعالیت‌های انسانی گرفته شد. در جدول ۲ مشخصه‌های اقدام‌های آبخیزداری اجراشده در آبخیز خور-سفیدارک آورده شده‌است. اداره‌ی کل منابع طبیعی و آبخیزداری البرز برای تقویت پوشش گیاهی، حفظ خاک و مهار فرسایش و رسوب، و مهار سیل مجموعه‌ی اقدام‌های زیستی (بذرپاشی، کپه‌کاری، کودپاشی، مدیریت شخم و سکوبندی) و اقدام‌های سازه‌ی (۵۱۳ سازه‌ی آبخیزداری خشکه‌چین، تورسنگی و سنگی ملاتی) را در سال‌های گذشته در آبخیز خور-سفیدارک اجرا کرد. اطلاعات مساحت و موقعیت اجرای اقدام‌های آبخیزداری از مطالعات پایه‌ی آبخیزداری آبخیز خور-سفیدارک و اداره‌ی کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان البرز گرفته شد. چندین بازدید میدانی با هدف ارزیابی فیزیکی اثربخشی اقدام‌های آبخیزداری انجام شد. برای ارزیابی تأثیر عامل‌های طبیعی بر تغییر پوشش گیاهی، روند و تغییر بارش و دما با آزمون من-کندال، و روی داد خشک‌سالی با محاسبه‌ی شاخص بارش معیارشده در منطقه بررسی شد.

می‌دهد. این روش سه مرحله‌ی اصلی در تشخیص تغییر دارد. تغییر داده‌ها در سه گروه چهاربَر (درجه‌ی دو)، مکعبی (درجه‌ی سه)، و خطی (درجه‌ی یک) طبقه‌بندی می‌شود. شدت تغییر پوشش گیاهی نیز نشان داده می‌شود، و می‌توان از روی آن عامل‌های تأثیرگذار در این تغییر مشخص کرد. تغییر پوشش گیاهی به‌شکل تدریجی، تغییر ناگهانی یا بی‌تغییر است. تغییر ناگهانی ناشی از فعالیت‌های انسانی یا روی داده‌های طبیعی است. روی داده‌های طبیعی مانند آتش‌سوزی، خشک‌سالی و سیل منجر به تغییر شدید و ناگهانی در پوشش گیاهی می‌شود. فعالیت‌های انسانی نیز مانند تغییر کاربری زمین، برداشت، چرای دام و مانند آن‌ها منجر به تغییر پوشش گیاهی می‌شود. در مرحله‌ی اول این روش داده‌ها با مدل درجه‌ی سه یا مکعبی برازش داده می‌شود $(ax^3 + bx^2 + cx + d, a \text{ t-test at } \alpha = 0.05)$. اگر این مدل برای داده‌ها مناسب نبود در مرحله‌ی دوم داده‌ها با مدل چهاربَر یا درجه دو برازش می‌دهد، و اگر این مدل نیز برای داده‌ها مناسب نبود مدل خطی را روی داده‌ها برازش می‌دهد. برای هر مجموعه‌ی داده نوع روند خطی و غیرخطی را مشخص می‌کند، و اگر داده‌ها روند نداشت آن‌ها را در گروه بی‌روند طبقه‌بندی می‌کند. در این روش معیارهای ارزیابی مناسب بودن مدل‌های خطی و غیرخطی با معنی‌دار بودن ضریب معادله‌ها و داشتن شرایط خاص تعریف‌شده‌ی آن مدل سنجیده می‌شود. برای مثال، برای داشتن روند تغییر خطی درجه‌ی سه باید هر دو نقطه‌ی کمینه و بیشینه در دوره‌ی زمانی باشد، و ضریب‌های معادله نیز معنی‌دار شود (جمالی

جدول ۲- اقدام‌های آبخیزداری اجرا شده در آبخیز خور-سفیدارک.

تعداد / مساحت (ha)	اقدام‌های آبخیزداری
۵۱۳	سنگی ملاتی، تورسنگی و خشکه‌چین
۱۱۲۰	بذرپاشی
۴۰	سکوبندی
۴۰۳	کپه‌کاری
۵۷۶	شخم‌زنی

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad (2)$$

SPI شاخص معیار بارش، P_i بارش سال مفروض به میلی‌متر، میانگین درازمدت بارش و SD انحراف معیار بارش است. طبقه‌های گوناگون این شاخص در جدول ۳ آورده شده است. برای بررسی تغییر عامل‌های اقلیمی و محاسبه‌ی شاخص خشک‌سالی داده‌های بارش و دمای ماهانه‌ی دو ایستگاه کرج و هشتگرد در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۰ به‌کار گرفته شد.

با شاخص بارش معیارشده (مک‌کی و همکاران ۱۹۹۳) در مقیاس‌های زمانی گوناگون ۳، ۶ و ۹ ماهه تأثیر خشک‌سالی بر تغییر پوشش گیاهی بررسی شد. این شاخص بر پایه‌ی احتمال بارش برای هر بازه‌ی زمانی است. برای محاسبه‌ی آن تابع چگالی توزیع گاما، و گاهی تابع پیرسون برای برازش داده‌های بلندمدت بارش به‌کار برده شد، که پس از انجام محاسبه‌های لازم و تعیین سنجه‌های مربوط، شاخص بارش معیارشده به‌شکل اندازه‌های مثبت و منفی بیان شد. اندازه‌های منفی شاخص نشان‌دهنده‌ی خشک‌سالی، و اندازه‌های مثبت نشان‌دهنده‌ی ترسالی است (رابطه‌ی ۲).

جدول ۳- طبقه‌بندی خشک‌سالی در شاخص SPI (مک‌کی ۱۹۹۳).

مقدار SPI	طبقات خشک‌سالی
۲ یا بیش‌تر	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط
۰/۹۹ - تا ۰/۹۹	بهنجار
۱-۴۹ تا -۱	خشک‌سالی متوسط
۱-۹۹ تا -۱/۵۰	خشک‌سالی شدید
۲- یا کم‌تر	خشک‌سالی خیلی شدید

افزایشی و ۷/۴٪ کاهش می‌دهد. تغییر معنی‌دار افزایشی پوشش گیاهی بیش‌تر در منطقه‌های بالادست و بخش‌های آبراه مشاهده می‌شود، که نشان می‌دهد درصد پوشش گیاهی در این منطقه‌ها افزایش یافت. تغییر افزایشی پوشش گیاهی ممکن است علت‌های گوناگونی داشته باشد، از جمله تأثیر اقدام‌های آبخیزداری مانند اقدام‌های زیستی در بالادست و اقدام‌های سازه‌ی در آبراه‌ها، که باعث افزایش و تثبیت پوشش گیاهی در آبراه‌ها شده است. شکل ۲-ب نشان می‌دهد که روند کاهش پوشش گیاهی بیش‌تر در منطقه‌های مسکونی و در محل روستاهای خور، سفیدارک، بخشی از روستای فشنند و روستای نمازی گسترش یافته است. این می‌تواند نشان‌دهنده‌ی تأثیر عامل‌های انسانی در تخریب پوشش گیاهی باشد (گسترش منطقه‌های مسکونی منطقه). عامل انسانی ممکن است از راه افزایش ساخت‌وسازها برای توسعه‌ی منطقه‌های مسکونی تأثیر بسیاری بر تخریب پوشش گیاهی داشته باشد. بخش‌های تخریب‌شده در بالادست نیز ممکن است ناشی از چرای دام و از بین رفتن پوشش گیاهی باشد. شکل ۳ تغییر خطی و غیرخطی پوشش گیاهی در آبخیز را نشان می‌دهد. بیش‌ترین مقدار تغییر پوشش گیاهی در منطقه ۸۷/۷۱٪ به‌شکل روند خطی، و تنها ۱۲/۳٪ از تغییر به‌شکل روند غیرخطی درجه‌ی دو و درجه‌ی سه بود.

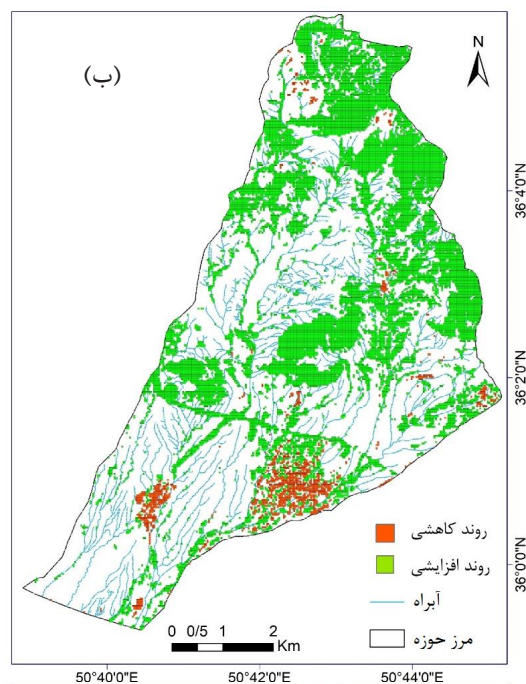
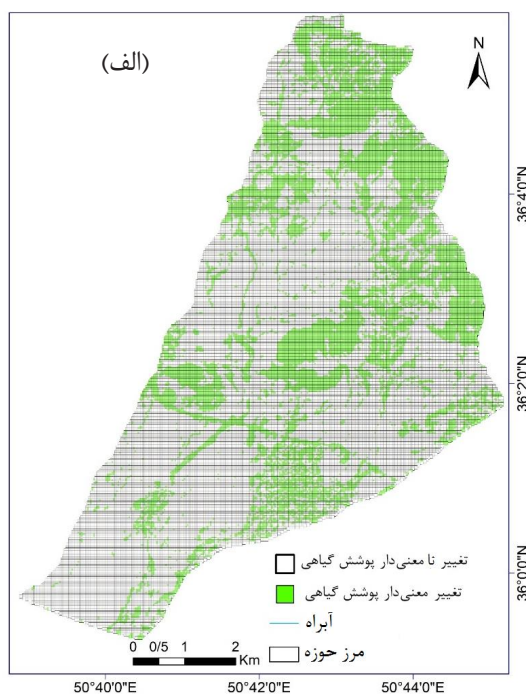
آزمون من-کندال

یکی از روش‌های مهم برای تحلیل روند دوره‌های زمانی است (من ۱۹۴۵، کندال ۱۹۷۵) و به‌گسترگی در بررسی منبع‌های آب، آب‌شناسی و هواشناسی کاربرد دارد (کاظم‌زاده و همکاران ۱۳۹۶). فرض صفر این آزمون بر تصادفی‌بودن و نبود روند در مجموعه‌ی داده‌ها است، و پذیرش فرض یک و رد فرض صفر نشان‌دهنده‌ی بودن روند در مجموعه‌ی داده‌ها است (کارپورز ۲۰۱۰).

نتایج

نتایج تغییر خطی و غیرخطی پوشش گیاهی با روش پلی‌ترند در شکل ۲ نشان داده شده است. به‌طور کلی در دوره‌ی ۲۰ سال ۳۵٪ از حوزه تغییر پوشش گیاهی معنی‌دار و ۶۵٪ آن تغییر نامعنی‌دار در تراز ۵٪ داشت (شکل ۲ الف). تغییر معنی‌دار پوشش گیاهی بیش‌تر در بالادست حوزه و آبراه‌ها مشاهده می‌شود، در حالی که تغییر غیرمعنی‌دار بیش‌تر در پایین دست پراکنده است، به این معنی که در ۲۰ سال پوشش گیاهی در این منطقه‌ها تغییر چشم‌گیر و معنی‌داری نداشته است (شکل ۲ الف).

شکل ۲-ب تغییر معنی‌دار روند افزایشی و کاهش پوشش گیاهی در آبخیز خور-سفیدارک را در بازه‌ی زمانی ۲۰ سال نشان می‌دهد. به‌طور کلی روند ۹۲/۶٪ از تغییر معنی‌دار



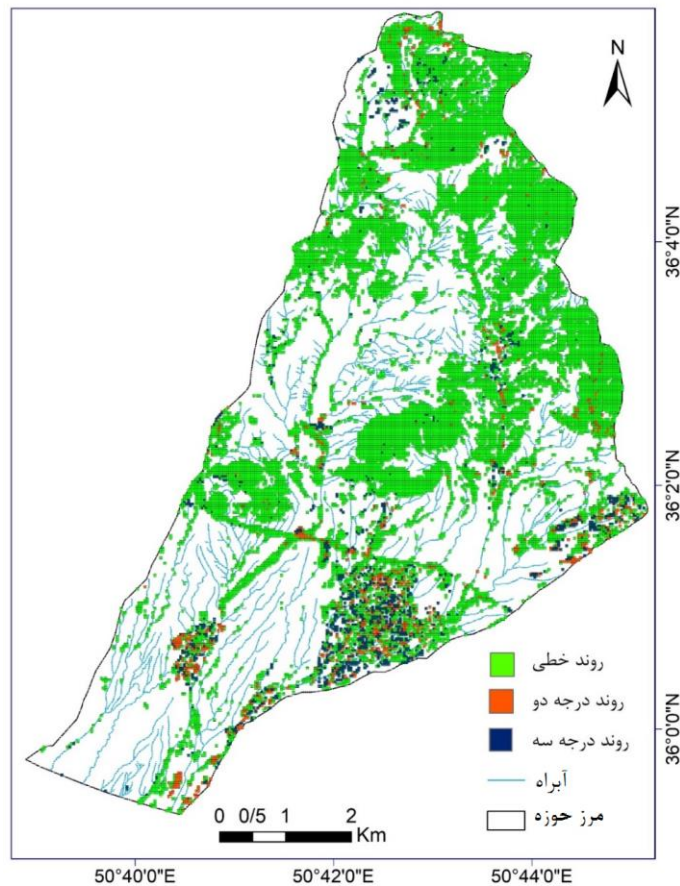
شکل ۲- روند تغییر پوشش گیاهی معنی‌دار و غیرمعنی‌دار (الف) و افزایشی و کاهش‌ی (ب) با روش پلی‌تند در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۰.

پس تغییر پوشش گیاهی در دو دهه‌ی گذشته خطی و تدریجی بود. پس از آن، روند غیرخطی درجه‌ی سه با ۶/۶۲٪ بیش‌ترین نوع تغییر در پوشش گیاهی آبخیز بود که بیش‌تر در منطقه‌های مسکونی و روستاهای خور، سفیدارک، نمازی و فشند است (شکل ۳) و نشان‌دهنده‌ی تأثیر عامل‌های انسانی بر تغییر پوشش گیاهی است. تغییر درجه‌ی دو با ۵/۶۸٪ نیز

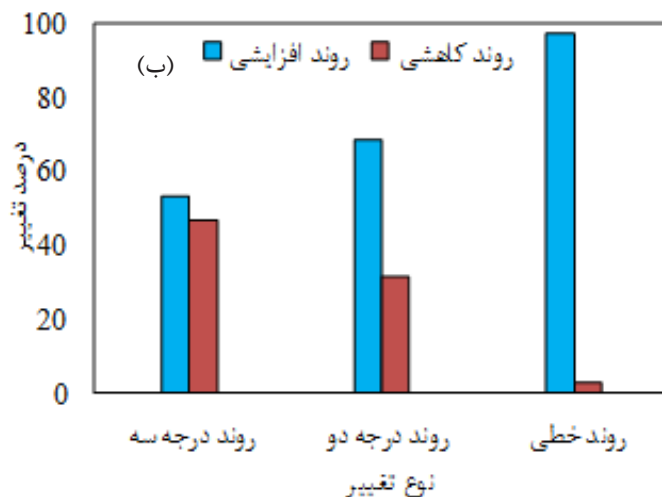
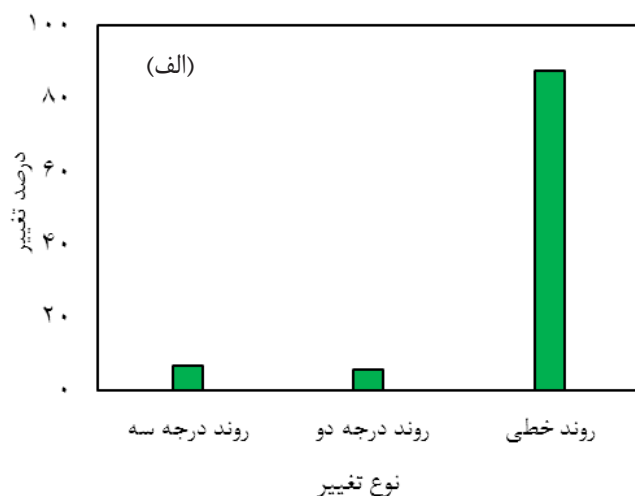
نوع‌های روند تغییر پوشش گیاهی در دو دهه‌ی اخیر در آبخیز خور- سفیدارک در شکل ۴- الف نشان داده شده است. به‌طور کلی مقدار تغییر پوشش گیاهی شامل ۸۷/۷۱٪ روند خطی، ۶/۶۲٪ روند غیرخطی درجه‌ی دو، و ۵/۶۸٪ روند غیرخطی درجه‌ی سه بود. بیش‌ترین تغییر پوشش گیاهی در منطقه خطی بود، که بیش‌تر در بالادست پراکنده است،

گیاهی، به طور خطی افزایش پیدا کرد. در نوع درجه‌ی دو به ترتیب ۶۸/۶۶٪ از تغییر پوشش گیاهی افزایشی و ۳۱/۳۴٪ از تغییر کاهش‌ی بود. در نوع درجه‌ی سه نیز درصد تغییر پوشش گیاهی به ترتیب ۵۳/۰۹٪ و ۴۶/۹۱٪ افزایشی و کاهش‌ی بود. به‌طور کلی نتایج نشان داد که سهم تغییر افزایشی پوشش گیاهی در خور-سفیدارک بیش‌تر از روند کاهش‌ی بود.

شدت تغییر پوشش گیاهی را نشان می‌دهد، که بیش‌تر در منطقه‌های مسکونی و ناشی از فعالیت‌های انسانی است. سهم روند تغییر کاهش‌ی و افزایش در نوع‌های تغییر پوشش گیاهی در شکل ۴-ب نشان داده شده است. در روند خطی به ترتیب ۹۷/۰۹ درصد از تغییر افزایشی و ۲/۰۱٪ از تغییر کاهش‌ی بود، به این معنی که در ۲۰ سال اخیر ۹۷٪ از پوشش



شکل ۳- تغییر خطی و غیرخطی پوشش گیاهی در آبخیز خور-سفیدارک در دوره‌ی ۲۰۱۹-۲۰۰۰.



شکل ۴- درصد نوع‌های روند خطی و غیرخطی (الف) و درصد افزایشی و کاهشی آن‌ها (ب) در پوشش گیاهی در آبخیز خور-سفیدارک.

بارش معیارشده ۶ ماهه (شکل ۵-ب) نشان می‌دهد که سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۲، ۲۰۰۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶ در شرایط خشک‌سالی شدید بود، و در مقابل بیش‌ترین مقدار شاخص در ۲۰۱۹ رخ داد، که دوره‌ی ترسالی بود. شاخص ۱۲ ماهه نشان‌دهنده‌ی دوره‌ی خشک‌سالی شدید در ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴، و دوره‌ی ترسالی در ۲۰۱۹ است (شکل ۵-ج). به‌طور کلی خشک‌سالی شدید در ۲۰۰۸ و ترسالی ۲۰۱۹ در هر سه شاخص به‌خوبی نشان داده شده است.

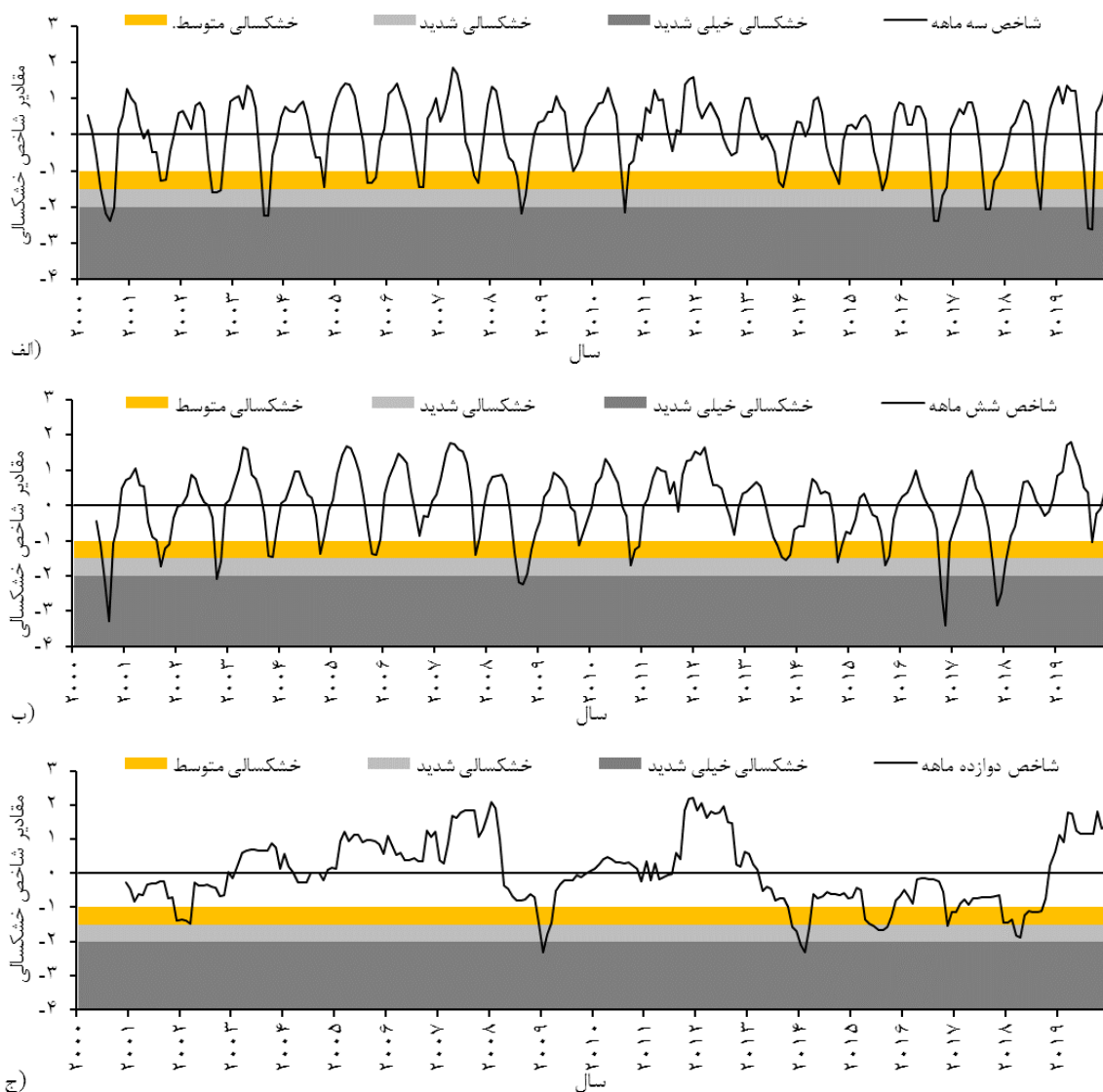
برای بررسی تأثیر خشک‌سالی و ترسالی بر روند تغییر پوشش گیاهی، به‌طور تصادفی اندازه‌های شاخص پوشش گیاهی در تعدادی از نقطه‌های تصویر موجود در حوزه انتخاب، و روند تغییر آن‌ها در شکل ۶ آورده شده است. بیش‌ترین کاهش در روند پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۸ بود. نمودارهای خشک‌سالی

شناخت عامل‌های تأثیرگذار بر تغییر پوشش گیاهی از مهم‌ترین مسائل مدیریت و حفاظت از پوشش گیاهی است. از جمله‌ی آن‌ها عامل اقلیمی و عامل مدیریتی (انسانی، از جمله اصلاح، احیا یا بهره‌برداری) است. شناخت چگونگی روی‌داد تغییر و ارتباط بین پوشش و این عامل‌ها اهمیت بسیاری دارد. شاخص بارش معیارشده در مقیاس‌های زمانی گوناگون ۳، ۶ و ۹ ماهه برای بررسی تأثیر خشک‌سالی بر تغییر پوشش گیاهی در شکل ۵ آورده شده است. کم‌ترین اندازه‌ی شاخص در بازه‌ی زمانی ۳ ماهه در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۳، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۶ رخ داد، و مقدار آن ۱/۵- تا ۲- بود، که نشان‌دهنده‌ی خشک‌سالی شدید است. بیش‌ترین اندازه‌های شاخص بارش معیارشده ۳ ماهه در ۲۰۰۷ رخ داد، که دوره‌ی ترسالی دانسته می‌شود (شکل ۵-الف).

تأثیر عامل‌های طبیعی و انسانی بر تغییر خطی و غیرخطی پوشش گیاهی...

افزایش زیادی داشت. مقایسه‌ی آن با نمودار بارش معیارشده مشخص کرد که در ۲۰۱۹ دوره‌ی تراسالی شدیدی رخ داد که منجر به افزایش معنی‌دار پوشش گیاهی در منطقه شد.

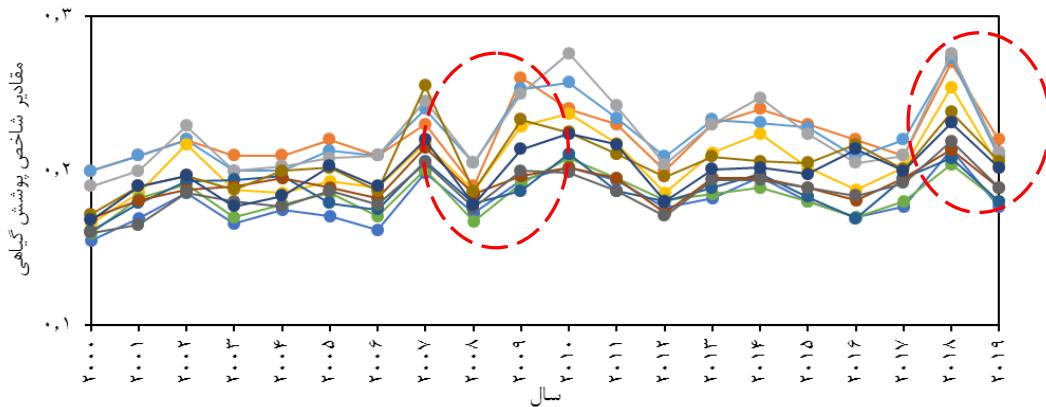
نشان که در این سال خشک‌سالی شدیدی رخ داد، و مقدار شاخص بارش معیارشده کم‌ترین بود. این نشان‌دهنده‌ی تأثیر خشک‌سالی بر کاهش اندازه‌ی پوشش گیاهی است. روند پوشش گیاهی (شکل ۶) نشان می‌دهد که پوشش گیاهی در ۲۰۱۹



شکل ۵- اندازه‌های شاخص خشک‌سالی SPI ۳ ماهه (الف)، ۶ ماهه (ب) و ۱۲ ماهه (ج) در دوره‌ی ۲۰۰۰-۲۰۱۹.

خشک‌سالی آن است که سرانجام باعث کاهش مقدار شاخص پوشش گیاهی شد. روند دما در ایستگاه کرج نشان داد که در برخی از ماه‌ها از جمله در اردیبهشت، مرداد، شهریور و مهر روند دما معنی‌دار کاهشی است. در شکل ۷-ب میانگین دمای سالانه‌ی ایستگاه کرج آورده شده است که روند کاهشی آن به‌خوبی دیده می‌شود.

نتیجه‌ی بررسی و تحلیل روند تغییر دما و بارش در دو ایستگاه کرج و هشتگرد در جدول ۴ آورده شده است. تحلیل بارش منطقه نشان داد که در هر دو ایستگاه کرج و هشتگرد روند معنی‌داری در طول دو دهه نداشته است. میانگین بارش سالانه در بازه‌ی ۲۰ ساله در شکل ۷-الف نشان می‌دهد که روند تغییر بارش معنی‌دار نیست. کم‌ترین مقدار بارش در ۲۰۰۸ و

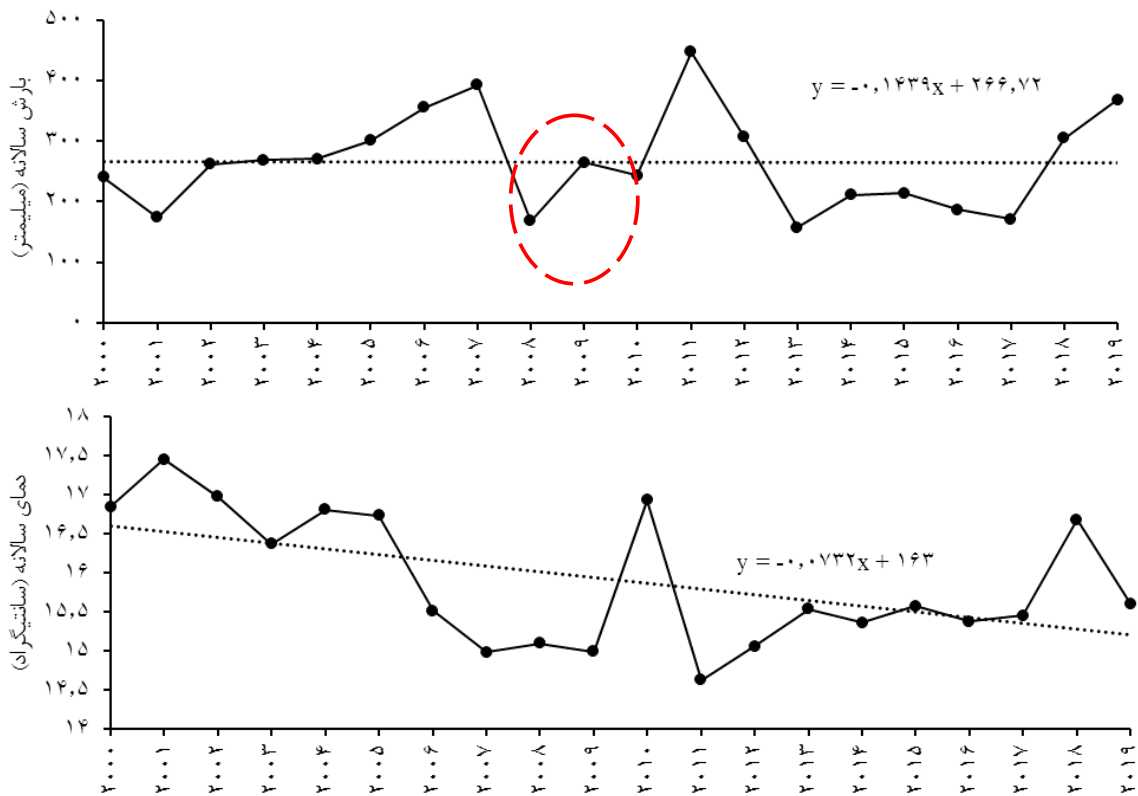


شکل ۶- روند تغییر شاخص پوشش گیاهی در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۹.

جدول ۴-آزمون روند من-کندال در ایستگاه‌های کرج و هشتگرد.

ایستگاه	سنجه	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
کرج	بارش	-۰/۶۸	-۰/۴۲	-۰/۵۵	-۰/۰۳	۰/۱۰	۰/۹۲	-۰/۳۰	-۱/۰۷	-۰/۱۴	۰/۴۲	۰/۶۸	-۱/۳۳
	دما	۰/۸۱	-۰/۳۶	-۱/۴۶	-۲/۱۱*	-۰/۶۸	-۱/۰۱	-۰/۴۹	-۳/۲**	-۲/۷۶**	-۲/۴۲*	-۱/۷۲	۰/۸۸
هشتگرد	بارش	۰	-۰/۷۷	۰/۹۹	-۰/۷۷	۱/۸۶	۰/۷۸	-۰/۷۳	۰	-۰/۶۵	۰/۵۵	-۰/۵۵	۰/۳۳

*معنی‌داری در تراز ۵٪ ** معنی‌داری در تراز ۱٪



شکل ۷- روند تغییر میانگین بارش (الف) و دمای سالانه (ب) ایستگاه کرج (۲۰۰۰-۲۰۱۹).

است، و مقدار بیش‌تر آن در منطقه‌های روستایی و ناشی از تخریب با عامل انسانی است.

در شکل ۹-ج نوع تغییر روند پوشش گیاهی خطی، غیرخطی درجه‌ی دو و درجه‌ی سه همراه با اقدام‌های زیستی اجرا شده در آبخیز خور-سفیدارک نشان داده شده است. پوشش گیاهی بر اثر اجرای بذرپاشی و کپه‌کاری در بالادست، خطی افزایش یافته است، و بیش‌ترین نوع تغییر پوشش گیاهی خطی بود. بیش‌ترین مقدار نوع تغییر غیرخطی درجه‌ی دو و درجه‌ی سه، پوشش گیاهی در منطقه‌های روستایی و اطراف آن‌ها دیده می‌شود. شدت تغییر پوشش گیاهی در نوع درجه‌ی دو و درجه‌ی سه بسیار بیش‌تر از نوع خطی است، که نشان‌دهنده‌ی این است که شدت تخریب پوشش گیاهی در منطقه‌های روستایی ناشی از فعالیت‌های انسانی است. توسعه‌ی منطقه‌های روستایی و افزایش فعالیت‌های انسانی در محدوده‌ی روستاهای خور، سفیدارک، نمازی و بخشی از روستای فشند باعث تخریب شدید پوشش گیاهی در دو دهه‌ی گذشته شده است.

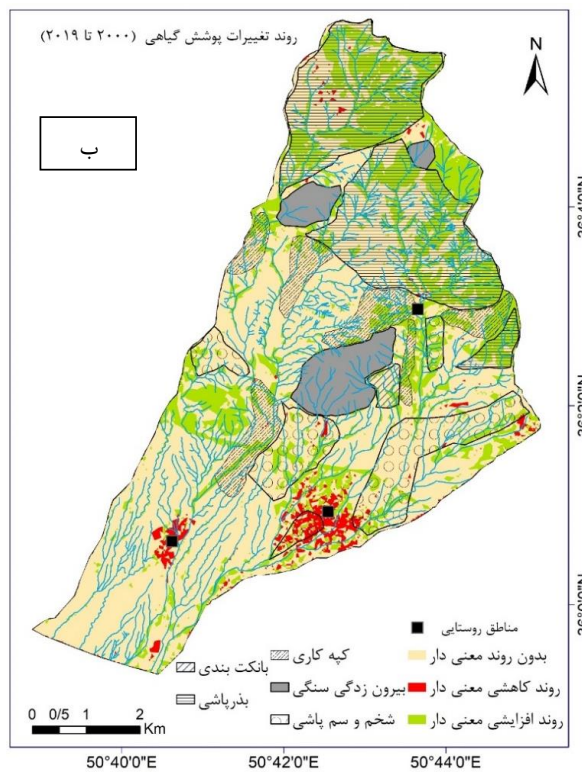
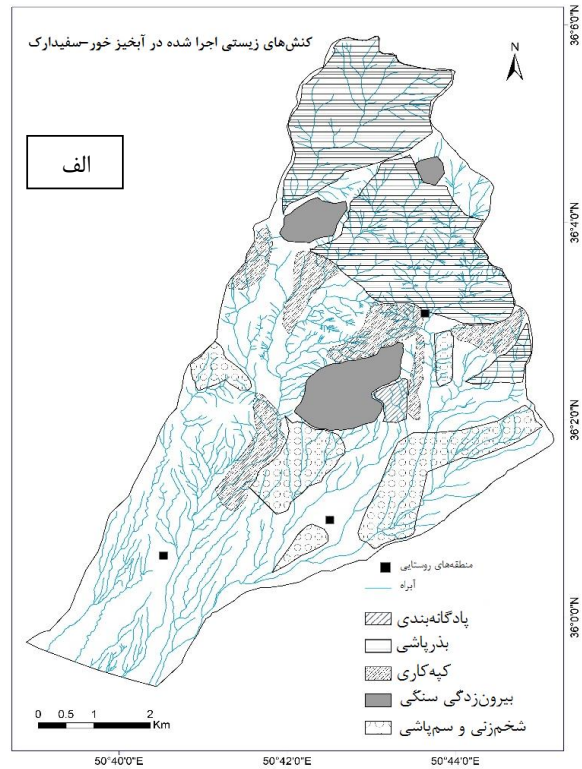
مقدار روند تغییر پوشش گیاهی در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۰ در آبخیز خور-سفیدارک در شکل ۹-د نشان داده شده است. مقدار تغییر در بالادست که خطی است بین ۰/۰۵ تا ۰/۱ و ۰/۱ تا ۰/۲ بود. بیش‌ترین مقدار تغییر کاهش‌ی در پوشش گیاهی ۰/۵- بود، که نشان‌دهنده‌ی شدت تخریب پوشش گیاهی است. در این منطقه‌ها که روستایی است نوع تغییر پوشش گیاهی غیرخطی درجه‌ی دو و سه‌ی کاهش‌ی است.

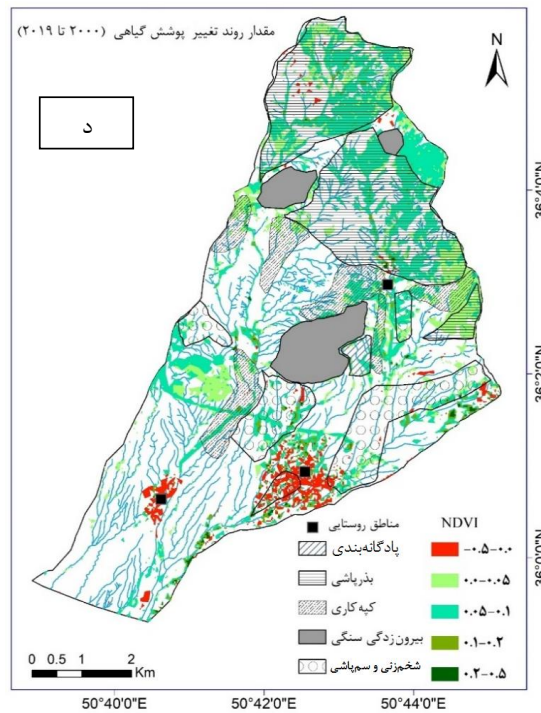
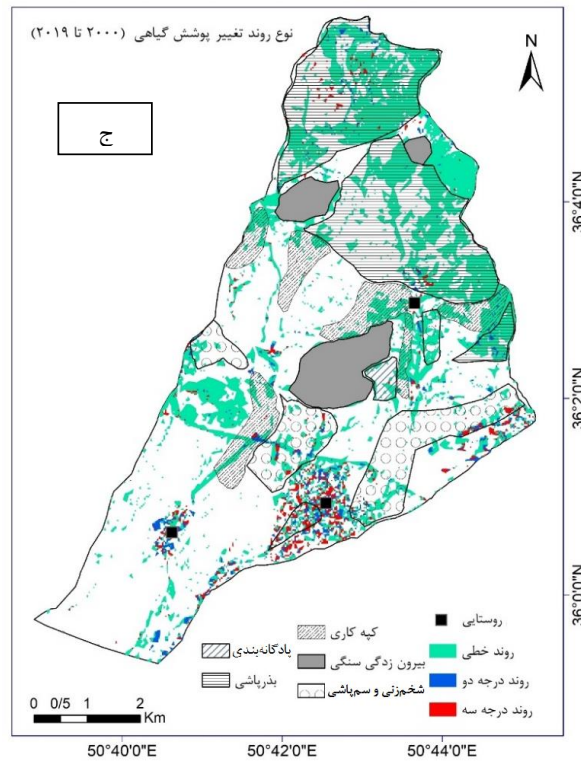
اجرا و توسعه‌ی طرح‌های زیستی و سازه‌یی در قالب مدیریت آبخیزها از مهم‌ترین فعالیت‌های انسان برای مدیریت منابع طبیعی، و حفظ و توسعه‌ی آن‌ها است. شکل ۸ تصویرهایی از اقدام‌های آبخیزداری اجرا شده و دورنمایی از منطقه‌ی بررسی شده را نشان می‌دهد. تصویرهای ارزیابی میدانی نشان می‌دهد که پوشش آبراه‌های حوزه بر اثر اقدام‌های ساختمانی آبخیزداری درختی و گیاهی انبوه است، و این می‌تواند نتیجه‌ی تغییر افزایشی شاخص پوشش گیاهی در آبراه‌ها را توجیه کند. شکل ۹-الف اقدام‌های زیستی اجرا شده در آبخیز خور-سفیدارک را نشان می‌دهد. در بخش‌های بالادست حوزه اقدام‌های بذرپاشی، کپه‌کاری و سکوبندی اجرا، و در بخش‌های پایین‌دست آبخیز شخم و سم‌پاشی انجام شده است. بخش‌های تیره در شکل نشان‌دهنده‌ی منطقه‌های با بیرون‌زدگی سنگی است.

شکل ۹-ب روند تغییر پوشش گیاهی را همراه با اقدام‌های زیستی اجرا شده در آبخیز نشان می‌دهد. در بخش‌هایی که اقدام‌های زیستی اجرا شده است روند تغییر پوشش گیاهی افزایشی معنی‌دار بود. در بخش آبراه‌ها نیز تغییر افزایشی معنی‌دار پوشش گیاهی به‌خوبی مشاهده می‌شود در این منطقه‌ها اقدام‌های سازه‌یی مانند بندهای تورسنگی، خشکه‌چین و سنگی ملاتی اجرا شده است. در بخش‌هایی از منطقه که اقدام‌های زیستی اجرا نشده است روند تغییر پوشش گیاهی معنی‌دار نبود. منطقه‌هایی از آبخیز نشان‌دهنده‌ی روند کاهش‌ی پوشش گیاهی



شکل ۸- دورنمایی از آبخیز خور-سفیدارک و اقدام‌های آبخیزداری اجرا شده در گذشته.





شکل ۹- اقدام‌های زیستی اجرا شده. الف: روند معنی‌دار افزایشی و کاهش‌ی، ب: نوع روند تغییر، ج) و مقدار روند تغییر شاخص پوشش گیاهی (د) در دوره‌ی ۲۰۱۹-۲۰۰۰ آبخیز خور - سفیدارک.

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی و ارزیابی تغییر روند پوشش گیاهی با کاربرد سنجش‌ازدور (شاخص پوشش گیاهی) و روش پلی‌ترند نشان داد که در بازه‌ی ۲۰ سال تغییر پوشش گیاهی در ۳۵٪ از منطقه‌ی بررسی‌شده معنی‌دار و در ۶۵٪ از آن غیر معنی‌دار بود. بارش منطقه روند معنی‌داری در دو دهه نشان نداد، در حالی که دما روند کاهشی نشان داد. بنابراین نتیجه‌ی این پژوهش نشان داد که تغییر در پوشش گیاهی آبخیز خور-سفیدارک در درازمدت به‌طور معنی‌دار بر اثر تغییر عامل‌های اقلیمی از جمله بارش نبود. هر چند این نتایج ممکن است در کوتاه‌مدت (در حد روی داده‌های جدی مانند خشک‌سالی و ترسالی) بر عکس باشد. در بررسی بلدی و همکاران (۲۰۰۸) روند غیر معنی‌دار بارش نشان می‌دهد که بارش تأثیری در روند معنی‌دار پوشش گیاهی (شاخص پوشش گیاهی) نداشته است. این نتیجه‌ی پژوهش حاضر که عامل‌های اقلیمی در درازمدت نقش نسبتاً کمی در تغییر افزایشی و کاهشی پوشش گیاهی (شاخص پوشش گیاهی) داشته است، با بررسی‌های وانگ و همکاران (۲۰۱۷) و هوانگ و همکاران (۲۰۱۲) هم‌خوانی دارد. بیش‌ترین کاهش در روند تغییر پوشش گیاهی در منطقه‌ی بررسی‌شده در ۲۰۰۸ بود. نتیجه‌ی خشک‌سالی با شاخص بارش معیارشده نشان داد که در این سال خشک‌سالی شدیدی رخ داد. خشک‌سالی ۲۰۰۸ بسیاری از منطقه‌های کشور را فرا گرفته بود، و اثرهای زیادی بر عامل‌های زمینی و پوشش گیاهی داشت (کازم‌زاده و ملکیان ۲۰۱۶). باربوزا و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که خشک‌سالی با کاهش بارندگی، افزایش دما، و ایجاد تنش در گیاهان منجر به کاهش پوشش گیاهی می‌شود. افزایش زیاد پوشش گیاهی در ۲۰۱۹ و مقایسه‌ی آن با نمودار بارش معیارشده نشان داد که در ۲۰۱۹ دوره‌ی ترسالی در منطقه رخ داد که منجر به افزایش معنی‌دار پوشش گیاهی در منطقه شد. نتیجه‌ی مهم این پژوهش این است که هرچند تغییر پوشش گیاهی در تأثیر درازمدت از عامل‌های اقلیمی نبود، تغییر کوتاه‌مدت در روی داده‌های جدی اقلیمی از جمله خشک‌سالی، به‌خوبی تغییر پوشش گیاهی منطقه را توضیح می‌دهد.

از کل تغییر پوشش گیاهی ۸۷/۷٪ خطی، ۶/۶۲٪ غیرخطی درجه‌ی دو، و ۵/۶۸٪ غیرخطی درجه‌ی سه بود. روند افزایشی پوشش گیاهی در همه‌ی نوع‌های تغییر غالب بود. بنابراین تغییر پوشش گیاهی نسبت به عامل‌های اقلیمی و انسانی همواره در رابطه‌ی ساده‌ی خطی نیست و در برخی موارد ممکن است غیرخطی باشد (زنگ و همکاران ۲۰۱۸). این نتیجه برخلاف وئو و همکاران (۲۰۱۷) است که نشان دادند تغییر پوشش گیاهی نسبت به اقدام‌های احیایی مانند قرق غیرخطی است. وانگ و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان دادند که

تغییر فصلی و سالانه‌ی پوشش گیاهی در منطقه‌ی شانگهای چین چهار الگوی خطی، لگاریتمی، لجستیک و توانی بوده است. به‌طور کلی برخلاف سایر روش‌های معمول که به‌گسترده‌ی در تحلیل روند به‌کاربرده می‌شود، در آن‌ها فرض می‌شود که تغییر بوم‌نظام/پوشش گیاهی همواره خطی است اما یکی از ویژگی‌های مهم روش پلی‌ترند این است که الگوهای تغییر غیرخطی را در پوشش گیاهی تشخیص می‌دهد.

ارزیابی تأثیر و اندازه‌ی مشارکت عامل‌های تأثیرگذار (طبیعی و اقلیمی) در تغییر پوشش گیاهی برای درک تغییر منطقه‌ی پوشش گیاهی بسیار با اهمیت است. نتایج این بررسی نشان داد که فعالیت‌های انسانی (اقدام‌های آبخیزداری و توسعه‌ی منطقه‌های مسکونی و روستایی) تأثیر معنی‌داری بر روند تغییر پوشش گیاهی (شاخص پوشش گیاهی) در آبخیز خور-سفیدارک داشته است. در بخش‌های بالادست و شمالی که اقدام‌های زیستی مانند بذرپاشی و کپه‌کاری انجام شده است، و در محل آبراه‌ها که اقدام‌های سازه‌ی مانند بندهای تورسنگی، خشکه‌چین و سنگی ملاتی اجرا شده است، زمینه برای تثبیت پوشش گیاهی و حفاظت از خاک و ذخیره‌ی رطوبتی آن مناسب شد، و در نتیجه روند پوشش گیاهی در این بخش از آبخیز افزایشی شد. این نمونه‌ها نشان می‌دهد که فعالیت‌های انسانی نقش مثبتی در تغییر پوشش گیاهی در این منطقه داشته است.

در بخش‌هایی از حوزه با این که اقدام‌های آبخیزداری اجرا نشده است، روند تغییر پوشش گیاهی افزایشی بود. این می‌تواند ناشی از اثر گرفتن از منطقه‌هایی باشد که اقدام‌های آبخیزداری در آن‌ها اجرا شده است. برای مثال با قرق کردن و حفاظت منطقه، اطراف آن نیز به‌طور طبیعی تأثیر خواهد گرفت. در پژوهش‌های دیگری نیز نشان داده شده است که اجرای اقدام‌های بوم‌شناسی و احیایی در آبخیزها تأثیر مهمی بر تقویت و افزایش پوشش گیاهی دارد (تونگ و همکاران ۲۰۱۸، وانگ و همکاران ۲۰۱۵). در مقابل، روند پوشش گیاهی در برخی جاها کاهشی و منفی بود، بیش‌تر در بخش‌های پایین‌دست در جایی که منطقه‌های روستایی و مسکونی گسترش یافته است. دلیل آن ممکن است تغییر کاربری زمین، تراکم جمعیت و تخریب پوشش گیاهی در این بخش‌ها باشد (کای و همکاران ۲۰۱۴). نشان داده شده که تغییر کاربری زمین و تبدیل علفزار به جنگل منجر به کاهش مقدار شاخص پوشش گیاهی شده است (نیگ و همکاران ۲۰۱۸، لیو و همکاران ۲۰۱۴). از طرف دیگر نتیجه‌های این پژوهش نشان داد که اقدام‌های آبخیزداری، و تغییر و گسترش منطقه‌های مسکونی (عامل انسانی) به‌ترتیب باعث ایجاد تغییر خطی و غیرخطی در پوشش گیاهی شد. اقدام‌های زیستی آبخیزداری به شکل خطی باعث افزایش و تقویت پوشش

به طوری که اجرای اقدام‌های مدیریتی آبخیز از جمله اقدام‌های زیستی و سازه‌یی منجر به تقویت و افزایش پوشش گیاهی، و در پی آن حفاظت از خاک و مهار فرسایش، و از طرف دیگر رشد و توسعه‌ی منطقه‌های مسکونی و افزایش فعالیت‌های انسانی منجر به کاهش پوشش گیاهی و تخریب در آبخیز می‌شود.

سپاسگزاری

از اداره‌ی کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان البرز به دلیل همکاری در انجام این پژوهش صمیمانه تشکر می‌کنیم. از سازمان زمین‌شناسی آمریکا برای تامین تصویرهای ماهواره‌ی لندست و سازمان هواشناسی کشور جمهوری اسلامی ایران برای تامین اطلاعات هواشناسی نهایت سپاس را داریم.

گیاهی منطقه شده است اما تغییر در منطقه‌های روستایی باعث کاهش غیرخطی (ناگهانی و غیرتدریجی) پوشش گیاهی شده است.

یافته‌های این پژوهش در پاسخ خطی و غیرخطی پوشش گیاهی به اقدام‌های آبخیزداری و گسترش زمین مسکونی ممکن است به مدیریت سرزمین و اجرای برنامه‌های آینده‌ی مدیریت آن کمک کند. منطقه‌هایی که پوشش گیاهی آن غیرخطی کاهش یافته است، در اولویت مدیریت و جلوگیری از تخریب بیش‌تر، و در اولویت اجرای اقدام‌های آبخیزداری است. هر چند اقدام‌های آبخیزداری باعث افزایش پوشش گیاهی در این منطقه شده است، تغییر آن خطی بود و شدت افزایش پوشش گیاهی با کاهش غیرخطی تغییر پوشش گیاهی (از تخریب و عامل انسانی) برابر نیست. به‌طور کلی دخالت‌های انسان در آبخیزها می‌تواند باعث احیا یا تخریب منطقه شود،

- Alavipanah SK. 2003. Application of remote sensing in earth sciences (Soil Sciences). Tehran University Press. 478 p. (In Persian).
- Baldi G, Nosetto M, Aragón R, Aversa F, Paruelo J, Jobbágy E. 2008. Long-term satellite NDVI data sets: Evaluating their ability to detect ecosystem functional changes in South America. *Sensors*, 8 (9): 5397–5425.
- Barbosa HA, Kumar L, Paredes F, Elliott S, Ayuga JG. 2019. Assessment of Caatinga response to drought using Meteosat-SEVIRI normalized difference vegetation index (2008–2016). *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 148 (2019): 235–252.
- Cai H, Yang X, Wang K, Xiao L. 2014. Is forest restoration in the southwest China Karst promoted mainly by climate change or human-induced factors? *Remote Sensing*, 6 (10): 9895–9910.
- Gang Y, Zengyun H, Xi Ch, Tashpolat T. 2016. Vegetation dynamics and its response to climate change in Central Asia. *Journal of Arid Land*, 8(3): 375–388.
- Geng L, Che T, Wang X, Wang H. 2019. Detecting spatiotemporal changes in vegetation with the BFAST Model in the Qilian Mountain Region during 2000–2017. *Remote Sensing*, 11(103): 1–19.
- Hajibigloo M, Rashidi M, Mohabbati A. 2017. Hydrological assessment of watershed management on flood characteristics (Case study: watershed upstream of the dam Vushmgir), 8(2): 67–82. (In Persian).
- Hashemi Dareh Badami S, Nouraeisefat I, Karimi S, Nazari S. 2015. Development trend analysis of urban heat island regarding land use/cover changes using time series of landsat images. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 6(3): 15–28. (In Persian).
- Hoseini Tavasol M, Arzani H, Farajzadeh Asl M, Jafari M, Babaei Kafaee S, Kohandel A. 2016. Monitoring of vegetation change in the growing season by using satellite imagery and its relationship with climatic factors (Case study: Alborz Province), 22(4): 615–624. (In Persian).
- Huang S, Xiaosong LI, Bingfang WU, Liang P. 2012. The distribution and drivers of land degradation in the three-north shelter forest region of China during 1982–2006. *Acta Geographica Sinica*, 67 (5): 589–598. (In Chinese).
- Hua L, Wang H, Sui H, Wardlow B, Hayes M, Wang J. 2019. Mapping the spatial-temporal dynamics of vegetation response lag to drought in a semi-arid region. *Remote Sensing*, 11 (1873): 1–22.
- Huang K, Zhang Y, Zhu J, Liu Y, Zu J, Zhang J. 2016. The influences of climate change and human activities on vegetation dynamics in the qinghai-tibet plateau. *Remote Sensing*, 8 (10): 850–876.
- Jamali S, Seaquist J, Eklundh L, Ardö J. 2014. Automated mapping of vegetation trends with polynomials using NDVI imagery over the Sahel. *Remote Sensing of Environment*, 141 (0): 79–89.
- Jiang L, Jiapaer G, Bao A, Guo H, Ndayisaba F. 2017. Vegetation dynamics and responses to climate change and human activities in Central Asia. *Science of the Total Environment*, 599 (0): 967–980.
- Jiang W, Yuan L, Wang W, Cao R, Zhang Y, Shen W. 2015. Spatio-temporal analysis of vegetation variation in the Yellow River Basin. *Ecological Indicators*, 51 (0): 117–126.
- Karpouzou D K, Kavalieratou S, Babajimopoulos C. 2010. Nonparametric trend analysis of precipitation data in Pieria Region (Greece). *European Water*, 30 (30): 31–40.
- Kazemzadeh M, Malekian A. 2016. Spatial characteristics and temporal trends of meteorological and hydrological droughts in northwestern Iran. *Natural Hazards*, 80(1): 191–210.
- Kazemzadeh M, Malekian A, Moghaddamnia A,

- Khalighi Sigaroudi S. 2017. Shift changes and heterogeneity analysis of hydro-climatic variables (A case study: Aji Chai Watershed). *Iranian Journal of Ecohydrology*, 4(1): 163–175. (In Persian).
- Kendall MG. 1975. Rank correlation measures. Charles Griffin. London. 202 p.
- Kim JY, Raštogi G, Do Y, Kim DK, Muduli PR, Samal RN, Pattnaik AK, Joo GJ. 2015. Trends in a satellite-derived vegetation index and environmental variables in a restored brackish lagoon. *Global Ecology and Conservation*, 4 (0): 614–624.
- Liu J, Kuang W, Zhang Z, Xu X, Qin Y, Ning J, Zhou W, Zhang S, Li R, Yan C, Wu S, Shi X, Jiang N, Yu D, Pan X, Chi W. 2014. Spatiotemporal characteristics, patterns, and causes of land-use changes in China since the late 1980s. *J Geogr Sci*, 24 (2): 195–210.
- Liu Zh, Liu Y, Li Y. 2018. Anthropogenic contributions dominate trends of vegetation cover change over the farming-pastoral ecotone of northern China. *Ecological Indicators*, 95 (0): 370–378.
- Mann HB. 1945. Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, 13 (0): 245–259.
- Mckee TB, Doesken NJ, Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scale. 8Th Congress on Applied Climatology. United States.
- Mercier A, Betbeder J, Baudry J, Roux VL, Spicher F, Lacoux J, Roger D, Hubert-Moy L. 2020. Evaluation of sentinel-1 & 2 time series for predicting wheat and rapeseed phenological stages. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 163 (0): 231–256.
- Mirahsani M. 2017. Time series analysis to identify the trend of land degradation based on explaining effective biophysical characteristics with emphasis on spatial-temporal monitoring of drought and land cover / land use changes. Ph.D. Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 200 p. (In Persian).
- Mirahsani M, Salman Mahiny A, Soffianian A, Mohammadi J, Modarres R, Jafari R, Pourmanafi S. 2019. Evaluation of trend in vegetation variations using time series images and mann-kendall test over Gavkhuni Basin. *Journal of Environmental Studies*, 45(1): 99–114. (In Persian).
- Morawitz DF, Blewett TM, Cohen A. et al. 2006. Using NDVI to assess vegetative land cover change in central Puget Sound. *Environ Monit Assess*, 114 (1): 85–106.
- Nateghi S, Nohegar A, Ehsani A, Bazrafshan O. 2017. Evaluating the vegetation changes upon vegetation index by using remote sensing, 24(4): 778–790. (In Persian).
- Ning J, Liu J, Kuang W, Xu X, Zhang S, Yan C, Li R, Wu S, Hu Y, Du G, Chi W, Pan T, Ning J. 2018. Spatiotemporal patterns and characteristics of land-use change in China during 2010–2015. *J. Geogr. Sci*, 28 (5): 547–562.
- Rokni K, Musa TA. 2019. Normalized difference vegetation change index: A technique for detecting vegetation changes using landsat imagery. *Catena*, 178 (0): 59–63.
- Rouse JW, Haas RH, Schell JA, Deering DW, Harlan JC. 1974. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation; Type III, Final Report; NASA/GSFC. Greenbelt, MD, USA. 200 p.
- Sun B, Li Z, Gao W, Zhang Y, Gao Z, Song Z, Tian X. 2019. Identification and assessment of the factors driving vegetation degradation/regeneration in drylands using synthetic high spatiotemporal remote sensing Data—A case study in Zhenglanqi, Inner Mongolia China. *Ecological Indicators*, 107 (0): 1–16.
- Tang X, Cui Y, Li N, Fu Y, Liu X, Run Y, Li M, Zhao G, Dong J. 2020. Human activities enhance radiation forcing through surface albedo associated with vegetation in Beijing. *Remote Sensing*, 12(5): 1–17.
- Tong X, Brandt M, Yue Y, Horion S, Wang K, Keersmaecker WD, Tian F, Schurgers G, Xiao X, Luo Y. 2018. Increased vegetation growth and carbon stock in China karst via ecological engineering.

- Nat. Sustainab, 1 (1): 44–50.
- Tucker CJ, Townshend JR G, Goff TE. 1985. African land-over classification using satellite data. *Science*, 227: 369–375.
- Tucker CJ. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8: 127–150.
- United States Geological survey. 2019. Published satellite images (online) Available at: <http://www.Earthexplorer.usgs.gov>. Accessed: 15 May 2020.
- Wang J, Xie Y, Wang, X, Dong J, Bie, Q. 2019. Detecting patterns of vegetation gradual changes (2001–2017) in Shiyang River Basin, Based on a Novel Framework. *Remote Sensing*, 11(0): 1–24.
- Wang H, Liu G, Li Z, Ye X, Fu B, Lv Y. 2018. Impacts of drought and human activity on vegetation growth in the grain for green program region, China. *Chinese Geographical Science*, 28(3): 470–481.
- Wang J, Wang K, Zhang M, Zhang C. 2015. Impacts of climate change and human activities on vegetation cover in hilly southern China. *Ecol. Eng.*, 81: 451–461.
- Wang Z, Duanyang XU, Yang H, Ding X, Dajing LI, University BF. 2017. Impacts of climate change and human activities on vegetation dynamics in Inner Mongolia 1981–2010. *Prog. Geog.*, 36 (8): 1025–2032.
- Wu J, Feng Y, Zhang X, Wurst S, Tietjen B, Tarolli P, Song C. 2017. Grazing exclusion by fencing nonlinearly restored the degraded alpine grasslands on the Tibetan Plateau. *Scientific Reports*, 7(1): 1–9.
- Xie Z, Phinn SR, Game ET, Pannell DJ, Hobbs RJ, Briggs PR, McDonald-Madden E. 2019. Using landsat observations (1988–2017) and google earth engine to detect vegetation cover changes in rangelands - A first step towards identifying degraded lands for conservation. *Remote Sensing of Environment*, 232 (0): 1–15.
- Zeng B, Yang TB. 2009. Natural vegetation responses to warming climates in Qaidam Basin 1982–2003. *International Journal of Remote Sensing*, 30 (21): 5685–5701.
- Zhang Y, Zhang C, Wang Z, Chen Y, Gang C, An R, Li J. 2016. Vegetation dynamics and its driving forces from climate change and human activities in the three-river source region, China from 1982 to 2012. *Science of the Total Environment*, 563 (564): 210–220.
- Zhang Zh, Coillie FV, De Clercq EM, Ou X, Wulf RD. 2013. Mountain vegetation change quantification using surface landscape metrics in Lancang watershed, China. *Ecological Indicators*, 31 (0): 49–58.
- Zhao YS. 2003. Principles and methods of analysis of remote sensing applications. Science Press. Beijing, pp. 374–376.
- Zhao A, Zhang A, Liu J, Feng L, Zhao Y. 2019. Assessing the effects of drought and “Grain for Green” Program on vegetation dynamics in China’s Loess Plateau from 2000 to 2014. *Catena*, 175 (0): 446–455.
- Zheng J, Fang X, Wu S. 2018. Recent progress of climate change research in physical geography studies from China. *Prog. Geog.*, 37 (1): 16–27.



Watershed Management Research

VOL. 34, No. 3, Ser. No: 132, Autumn 2021, pp. 95 -114
DOI: 10.22092/wmej.2021.352457.1370

Research Paper



An Evaluation of the Effect of Natural and Human Factors on the Linear and Non-linear Changes in Vegetation Using the Landsat Images of the Khor-Sefidarak Watershed, the Province of Alborz

Majid Kazemzadeh

(Corresponding Author)* Ph.D. in Watershed Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

Zahra Noori

Ph.D. in Watershed Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

Asghar Bayat

Graduate of Master of Science in Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

Salma Saedi Farkoush

Graduate of Master of Science in Rural Development from Faculty of Agriculture, Razi University of Kermanshah

Ali Asghar Elyasi

Graduate of Master of Science in Environmental Engineering - Water and Wastewater, Faculty of Natural Resources, Islamic Azad University, Bandar Abbas Branch

Hasan Alipour

Graduate of Master of Science in Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

Alireza Mansour Fallah

Graduate of Civil Engineering - Water, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Karaj Branch

Corresponding Author Email: mkazemzadeh@ut.ac.ir

Received: 10 November 2020

Accepted: 15 March 2021

Abstract

The aim of current study was to study the trend of linear and non-linear changes in vegetation cover under the influences of climatic factors (rainfall, temperature and drought) and human activity (biological watershed management measures) using satellite images over a period of 20 years (2000-2019) on the Khor-Sefidarak Watershed, the Province of Alborz. Vegetation index (NDVI), drought index (SPI) and PolyTrend algorithm were used by extracting the monthly time series. Then, using climatic and implemented watershed management measures data for the basin, the impact of natural (temperature, precipitation and drought) and human factors on vegetation changes was assessed. The results indicated that 35% of the area had significant changes (92.6% increasing and 7.4% decreasing) in vegetation, and 65% of the area had insignificant changes during the last 20 years. The results also indicated that 87.71% of the vegetation changes in the region had experienced a linear type change and the remaining 6.62 and 5.68% had demonstrated second and third degree nonlinear changes, respectively. Considering the effects of the two climatic variables on vegetation, precipitation did not show a significant trend over the two decades; however the temperature indicated a significant decreasing trend. Assessing the impact of drought on vegetation change, the largest decline in vegetative cover occurred in 2008, which was strongly influenced by severe climatic drought. Although the vegetation changes have not been affected by climatic factors in the long term, short-term changes in extreme events, including drought, strongly justify changes in the region's vegetation. On the other hand, the results indicated that the watershed management measures have caused changes with a linear pattern; however, the changes and expansion of the residential areas (as human factors) have caused a nonlinear pattern in vegetation. Thus the biological watershed management measures have increased and strengthened the vegetation of the region linearly; however, sudden and rapid changes in the rural areas have caused a non-linear decrease in vegetation.

■ **Keywords: Drought, natural and human factors, remote sensing, vegetation, watershed management measures** ■