

تعیین آستانه‌های بهره‌برداری پایدار از اکوسیستم‌های مرتعی با تلفیق تکنیک‌های سنجش از دوری و شاخص‌های هواشناسی (مطالعه موردی حوضه آبریز رودخانه کرج)

مریم پاشازاده^۱، علیرضا شکوهی^{۲*}، آرش ملکیان^۳، سیما رحیمی بندرآبادی^۴، عباس کاویانی^۵

۱. دانشجوی دکتری مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(۶)، قزوین

۲. استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(۶)، قزوین

۳. دانشیار، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۴. استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

۵. دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(۶)، قزوین

(تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۱۱/۰۱، تاریخ تصویب ۱۴۰۰/۰۵/۰۹)

چکیده

با وجود ضرورت تعیین آستانه بهره‌برداری پایدار اکوسیستم مرتعی، به‌خصوص در شرایط خشکسالی، پیشرفت قابل توجهی در سال‌های اخیر به وجود نیامده است و همچنان برای تعیین آن از روش‌های زمان‌بر و پرهزینه نمونه‌برداری از میزان تولید گونه‌ها در یک دوره ۵ تا ۱۰ ساله استفاده می‌شود. در این تحقیق بدون نمونه‌برداری درازمدت تولید و فقط با اندازه‌گیری میدانی درصد تاج پوشش در یک دوره یک‌ساله (۱۳۹۸-۱۳۹۹)، از شاخص ماهواره‌ای و شاخص خشکسالی هواشناسی برای تعیین و پایش آستانه بهره‌برداری پایدار اکوسیستم مرتعی در بخشی از حوضه آبریز رودخانه کرج بهره‌گرفته شده است. به این منظور، در گام‌های زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه، سال‌های نرمال در بازه زمانی ۱۳۴۶ تا ۱۳۹۵ شناسایی و بیشینه شاخص ماهواره‌ای (NDVI) در دوره رویش در سال‌های مورد نظر، در یک بازه زمانی ۲۰ ساله تعیین شد. نتایج نشان داد بین شاخص ماهواره‌ای و تراکم گیاهی، ضریب همبستگی حدود ۶۰ درصد وجود دارد و شاخص ماهواره‌ای با شاخص خشکسالی هواشناسی و بارندگی تجمعی ۹ ماهه منتهی به دوره حداکثر رویش، در شرایط نرمال، ضریب همبستگی حدود ۷۰ درصد دارد. با استفاده از ضرایب مجاز برداشت، آستانه‌های بهره‌برداری برای محدوده مجاز شاخص ماهواره‌ای تعیین شد و در نهایت، مقدار شاخص ماهواره‌ای مجاز مرتع در بهره‌برداری پایدار در سال‌های تر در محدوده (۰/۰۷۴۵۹±۰/۰۰۹۰۸) و در سال‌های خشک تا حدود (۰/۱۶۵۹۷±۰/۰۱۷۰۲) پیشنهاد می‌شود.

کلیدواژگان: آستانه بهره‌برداری بلندمدت، درصد تاج پوشش گیاهی، مرتع، SPI، NDVI.

مقدمه

حد بهره‌برداری مجاز (پایدار) گونه‌های مرتعی یا ضریب برداشت از گیاهان مراتع که بالاتر از آن موجب خسارت به گیاه و مرتع شود، یکی از فاکتورهای مهم در تعیین ظرفیت چرای و از مهم‌ترین چالش‌ها در مدیریت مراتع و حوضه آبریز است. به علت متغیر بودن این آستانه در شرایط آب‌وهوایی متفاوت، خاک‌های با حاصل‌خیزی متفاوت، ماه‌های مختلف فصل چرا و درجه‌های مختلف وضعیت مرتع، پایش آن در مقیاس حوضه آبریز بسیار مشکل است. تحقیقاتی که تا کنون در ارتباط با تعیین حد و ظرفیت مجاز بهره‌برداری کوتاه‌مدت و درازمدت در مراتع انجام گرفته‌اند، در سه راهبرد قرار دارند. در راهبرد اول، تکیه بر تأمین نیاز دام و با توجه به انرژی متابولیسمی برگرفته از گونه‌های مرتعی و اندازه‌گیری تولید آنها است که در روش کوتاه‌مدت به نمونه‌برداری سالانه از تولید و در روش درازمدت به نمونه‌برداری در یک بازه پنج تا ده ساله (سال تر، خشک و نرمال) نیاز است تا یک متوسط خوب تولید در یک دوره در سال با بارش نرمال در سطح مرتع تعیین شود. متوسط خوب تولید به گونه‌ای تعیین می‌شود که اگر ۱۲ ماه پیاپی خشکسالی بر منطقه حاکم باشد، خسارت جبران‌ناپذیری بر پوشش سطح خاک و بهره‌برداران آن وارد نیاید یا ظرفیت مجاز بهره‌برداری به گونه‌ای تعیین می‌شود که این ظرفیت حداقل در ۷۵ درصد سال‌ها مناسب باشد و در آن بهره‌برداری بیش از حد توان احیای اکوسیستم پوششی اتفاق نیفتد [۱]. در راهبرد دوم، آزمایش‌هایی روی تیمارهای مرتع در یک دوره زمانی بر گونه معرف در هر منطقه صورت می‌گیرد تا مقدار مناسب ضریب برداشتی که منجر به کاهش توان عملکرد در مقایسه با تیمار شاهد نمی‌شود، تعیین شود. در راهبرد سوم با توجه به مقدار بارش در هر منطقه، ضرایب برداشتی به تولید یا سطح هر مرتع اختصاص می‌یابد. این راهبردها علاوه بر آنکه زمان‌بر و پرهزینه هستند، ضمانت اجرایی ندارند و پایش به موقع مرتع را در سطح وسیع با مشکل مواجه می‌سازند. همچنین، در راهبرد سوم، شرایط خشکسالی و ترسالی در نظر گرفته نشده و ممکن است آستانه ظرفیت بهره‌برداری کمتر یا بیشتر از ظرفیت متوسط تعیین شود که می‌تواند منجر به هدررفت منابع پوششی در سطح اکوسیستم مرتع و یا تخریب آن در شرایط نرمال و خشک از نظر بارندگی شود [۲]. استفاده از اطلاعات مربوط به وضعیت خشکسالی رویشگاه‌ها این امکان را فراهم می‌کند

که از طول دوره آماری مناسب از پوشش گیاهی که شرایط خشکسالی، ترسالی و نرمال را تجربه کرده، برای تعیین آستانه بهره‌برداری در مراتع بهره‌جست و نتایج قابل اعتماد به دست آورد [۳].

در این تحقیق راهکاری کاربردی به منظور رفع نواقص موجود، برای تعیین و پایش آستانه‌هایی به منظور بهره‌برداری پایدار از مراتع به وسیله تلفیق شاخص گیاهی ماهواره‌ای و شاخص خشکسالی هواشناسی در بازه زمانی بیست سال و اندازه‌گیری درصد تاج پوشش در اواسط فصول یک سال آبی، ارائه شده است. از آنجا که دسترسی به اطلاعات درازمدت از مقدار علوفه تولیدی با توجه به نامناسب بودن و پراکندگی آمار مربوط به تولید مراتع با محدودیت مواجه است، در این تحقیق با این فرض که همبستگی بسیار زیادی بین درصد تاج پوشش و تولید در مراتع وجود دارد [۴ و ۵]، از تعیین تراکم گیاهی در اواسط هر فصل در یک سال به جای نمونه‌برداری از تولید مرتع استفاده شد و سپس، با استفاده از ضرایب مجاز بهره‌برداری از درصد تاج پوشش با توجه به مقدار بارش منطقه، آستانه‌هایی برای برداشت مجاز با توجه به رابطه بین تراکم و شاخص پوشش گیاهی ماهواره‌ای ارائه شد. در این مطالعه به بررسی عوامل مؤثر در مدل‌سازی تراکم گیاهی با استفاده از شاخص خشکسالی و بارندگی پرداخته شد. ارائه مدل‌های ظرفیت بهره‌برداری مجاز کارآمد، سیستم‌های بیمه مراتع را قادر خواهد ساخت تا از طریق صندوق بیمه محصولات کشاورزی و مرتعی، خشکسالی‌ها را به شکل مطلوب مدیریت کنند.

آستانه بهره‌برداری مجاز می‌تواند از طریق ضریب یا سطح برداشت بیان شود. حسینی و قصریانی حد بهره‌برداری مجاز یک نوع گونه گندمیان در مراتع بیلاقی سرعلی آباد گرگان را حدود ۶۰ درصد پیشنهاد کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد در تیمارهای آزمایشی با سطح برداشت ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد در مقایسه با تیمار شاهد (بدون برداشت) تفاوت معناداری از نظر مرگ‌ومیر و شادابی گونه وجود ندارد، ولی تیمار با سطح برداشت ۷۵ درصد کاهش معنادار در تولید گونه را در پی دارد. همچنین، عامل بارش تأثیر معناداری بر افزایش تولید در تکرار تیمارها دارد [۶]. هولچک (۱۹۸۸) مقدار ضریب برداشت برای مناطق خشک با بارش سالانه کمتر از ۱۲ اینچ را، بین ۲۵ تا ۳۵ درصد بسته به شرایط مرتع، نوع سیستم چرا، فصل استفاده، و درجه خشکی هوا و برای مناطق نیمه‌خشک با بارش بین ۱۲ تا ۲۵ اینچ، ۳۵ تا ۴۵ درصد و

می‌کند و باعث کاهش هزینه اقتصادی و دسترسی زمانی می‌شود [۱۳]. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به عنوان تکنیکی مؤثر برای مطالعه تغییرات در پوشش گیاهان است [۱۴]. دمی‌زاده و همکاران طی پژوهشی نشان دادند بارش اثر قوی بر پوشش گیاهان اعمال می‌کند. این همبستگی بین بارش ماهانه و شاخص پوشش گیاهی NDVI حداکثر ده روزه در واحد نقشه دشت‌های سیلابی و آبرفتی دارای بیشترین مقدار بود. همچنین، نتایج پژوهش آنها نشان داد شاخص اختلاف از نرمال پوشش گیاهی بیشترین وابستگی را با بارش ماه پیشین داشت [۱۴].

با وجود ضرورت تعیین آستانه بهره‌برداری پایدار اکوسیستم مرتعی به‌خصوص در شرایط خشکسالی، پیشرفت قابل توجهی در این زمینه در سال‌های اخیر به وجود نیامده است و همچنان برای تعیین آن از روش‌های زمان‌بر و پرهزینه نمونه‌برداری از میزان تولید گونه‌ها در یک دوره ۵ تا ۱۰ ساله استفاده می‌شود. در این تحقیق برای رفع نواقص موجود و بدون نمونه‌برداری درازمدت تولید و فقط با اندازه‌گیری میدانی درصد تاج پوشش در یک دوره یک‌ساله (۱۳۹۸-۱۳۹۹)، از شاخص ماهواره‌ای و شاخص خشکسالی هواشناسی برای تعیین و پایش آستانه بهره‌برداری پایدار اکوسیستم مرتعی در بخشی از حوضه آبریز رودخانه کرج استفاده شد. از روش توسعه‌یافته در این تحقیق می‌توان برای پایش اکوسیستم مراتع در بهره‌برداری پایدار ذی‌نفعان از این منابع ارزشمند و برای تصمیم‌گیری‌های کلان برای مدیریت پایدار حوضه آبریز استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق ابتدا دوره پیک رویشی مراتع منطقه از روی شاخص ماهواره‌ای (NDVI) و با استفاده از روش‌های متفاوت مدیریتی، استخراج شد. سپس، توسط متغیر اقلیمی بارش، شاخص خشکسالی هواشناسی SPI در گام‌های زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه منتهی به دوره پیک و ۱۲ ماهه منتهی به شهریور (سالانه) تعیین شد. در ادامه، سال‌های نرمال بارشی در آن گام‌های زمانی یادشده تعیین و شاخص ماهواره‌ای در آن سال‌ها برای دوره پیک رویشی به دست آمد. در مرحله بعد، عوامل مؤثر بر مدل‌سازی شاخص گیاهی ماهواره‌ای نماینده پوشش گیاهی در دوره پیک رویشی مراتع منطقه مطالعه‌شده در سال‌های نرمال با استفاده از شاخص خشکسالی هواشناسی و بارندگی در گام‌های زمانی مختلف بررسی شد و

برای مراتع واقع در دامنه‌های مرطوب با بارش بیش از ۲۵ اینچ برابر با ۴۵ تا ۶۰ درصد به منظور رسیدن به پایداری در چرای مراتع معرفی کرده است [۷]. دستورالعمل کلی هولچک برای مراتع علفزاری مناطق مرطوب و در سال‌های با بارش مساوی یا بیشتر از نرمال، برداشت نصف پوشش است. بر این اساس، نیم دیگر پوشش را برای اهداف حفاظتی، کیفیت هوا و آب تمیز، خاک مولد، حفظ ذخایر بیولوژیک و پایداری اکوسیستم و زیستگاه جانداران و افزایش بهره‌وری مرتع، دام و درآمد خالص در منطقه باید به جای گذاشت [۸]. روش تروکسل و وایت که در سال ۱۹۸۹ ارائه شد، بسیار محافظه‌کارانه‌تر از روش هولچک است، به گونه‌ای که ۲۵ درصد تولید علوفه جاری را به دام، ۲۵ درصد به هدررفت طبیعی (بر اثر حشرات، حیوانات وحشی، هوازگی و فرسایش)، و ۵۰ درصد باقی‌مانده را به حفاظت مرتع تخصیص می‌دهد [۹]. هنگامی که اطلاعات شدت چرا برای مراتع موجود نباشد، با توجه به بهره‌وری علوفه، بهره‌وری دام و بازده اقتصادی خالص، پیشنهاد می‌شود از مراتع بوت‌زارهای بیابانی تا ۳۰ درصد، مراتع خشک تا ۴۰ درصد، مراتع مرطوب ۵۰ تا ۵۵ درصد سطح برای استفاده اختصاص یابد [۷]. در این تحقیق از ضرایب برداشت به روش هولچک و روش تروکسل و وایت استفاده شده است.

بررسی و مدل‌سازی رفتار گونه‌های گیاهی بر اثر خشکسالی، از منظر مدیریت خشکسالی، تعیین ظرفیت مراتع و شناخت روابط اکوسیستمی اهمیت دارد. در پژوهش حاضر عوامل مؤثر بر مدل‌سازی تراکم گیاهی با استفاده از شاخص خشکسالی و بارندگی بررسی شده است [۱۰]. فحیمی و همکاران طی پژوهشی نشان دادند تولید کل علوفه در منطقه استپی عباس‌آباد یزد با متغیر مستقل بارندگی فصل رویش به‌علاوه بارندگی سال قبل و بارندگی زمستان بیشترین همبستگی را دارد و ۹۷ درصد تغییرات تولید کل علوفه سالانه را می‌توان با بارندگی پیشین و بارندگی زمستان برآورد کرد [۱۱]. سوری و همکاران به منظور پیش‌بینی تاج پوشش و تولید آن و در نهایت، ظرفیت چرای بلندمدت در مراتع، از عوامل اقلیمی بارش سالانه و فصل رویش و بیشینه دما در مراتع استپی فارس استفاده کردند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد عنصر بارش تا ۷۰ درصد تغییرات تولید پوشش سطحی در این منطقه را برآورد می‌کند [۱۲].

به علت وسعت عرصه‌های مراتع، استفاده از روش‌های سنجش از دور کمک زیادی به تعیین خصوصیات گیاهی

یکی از حوضه‌های آسیب‌پذیر خشک و نیمه‌خشک واقع در دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی با مساحتی برابر با ۳۰۵ هزار هکتار و مختصات جغرافیایی " ۱۶ ' ۴۲ ° ۵۰ تا " ۵۹ ' ۳۴ ° ۵۱ طول شرقی و " ۲۷ ' ۶ ° ۳۵ تا " ۴۴ ' ۱۰ ° ۳۶ عرض شمالی است. کمترین و بیشترین ارتفاع حوضه از سطح دریا به ترتیب برابر با ۸۲۰ تا ۴۳۴۴ متر، بارندگی متوسط سالانه برابر با ۲۵۶ میلی‌متر، بیشینه و کمینه دما برابر با ۲۰/۸ و ۸ درجه سانتی‌گراد است که از بررسی آمار بلندمدت از سال ۱۳۶۴ تا سال ۱۳۹۲ به دست آمده است. حوضه آبریز کرج از شرق با استان تهران و از غرب، با شهرستان‌های طالقان و هشتگرد و از شمال، با استان مازندران و از جنوب، با استان قم و شهرستان ساوه هم‌جوار است [۱۰].

محل انجام عملیات صحرایی

دو سایت نمونه‌برداری کندر و ارنگه در حوضه به علت تمرکز مراتع در این بخش برای انجام عملیات میدانی انتخاب شدند. گونه‌های غالب این دو سایت از نوع علفی‌های گندمیان مثل *Bromus spp.*, *Agropyron spp.*، *Poa spp.* و گونه‌های بوته‌ای مثل *Thymus sp.*، *Dianthus sp.*، *Buffonia sp.* هستند [۱۵]. دو ایستگاه هواشناسی آسارا و سیرا به علت نزدیکی به سایت‌های نمونه‌برداری انتخاب شدند. مشخصات و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و سایت‌های معرف برای عملیات صحرایی در جدول ۱ و شکل ۱ آمده است. با توجه به شباهت داده‌های هواشناسی دو ایستگاه سیرا و آسارا بر مبنای آزمون مقایسه‌ای $T \text{ test } (P_{\text{value}} < 0.05)$ و نبود داده اندازه‌گیری در سال‌های اخیر در ایستگاه آسارا، نقایص آماری ایستگاه سیرا از روی ایستگاه آسارا بازسازی شده و سایر تحلیل‌ها از روی این ایستگاه با توجه به آمار طولانی مدت ۴۹ ساله انجام شد.

عوامل مؤثر بر اساس ضریب تعیین و ضریب همبستگی مقایسه شدند. همچنین، شاخص ماهواره‌ای پوشش با استفاده از اندازه‌گیری‌های صحرایی خصوصیات پوششی نقاط واقعی زمینی مانند درصد تاج پوشش در اواسط ۴ فصل یک سال آبی به دو روش (IP و 9P)، واسنجی شد. در نهایت، با استفاده از شاخص ماهواره‌ای برگرفته و ضرایب برداشت مجاز با توجه به بارش منطقه و روش‌های استاندارد موجود مانند روش هولچک یا روش تروکسل و وایت، به تعیین و ارائه حدود آستانه‌هایی برای ظرفیت قابل برداشت مجاز از اکوسیستم مرتعی و در نتیجه، امکان پایش بهره‌برداری از مراتع بیلابقی منطقه پرداخته شد. مرز مراتع از نقشه مراتع سال ۲۰۰۲ با دقت مناسب که با برداشت و بازدید صحرایی به‌روز شد، تعیین شد تا برای کاهش حجم محاسبات، به منظور برش تصاویر ماهواره‌ای در نواحی مرتعی به کار گرفته شود. در مطالعات پیشین مقدار تولید مرتع فقط در سالی که شاخص خشکسالی هواشناسی سالانه آن در بازه حداکثر ۵ ساله نرمال بود، ملاک تعیین بهره‌برداری پایدار بود (۱، ۲، ۴ و ۶). ولی در این مطالعه با استفاده از درصد تاج پوشش گیاهی و همبستگی شاخص ماهواره‌ای با درصد تاج پوشش و شاخص خشکسالی هواشناسی در گام‌های زمانی مختلف سال‌های نرمال، در یک بازه بیست‌ساله، آستانه‌هایی برای بهره‌برداری پایدار ارائه شده و این آستانه‌ها در گام‌های زمانی مختلف شاخص خشکسالی هواشناسی با هم مقایسه شدند. اطلاعات مورد نیاز تحقیق از شرکت مدیریت منابع آب کشور، اداره کل منابع طبیعی استان البرز و پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور تهیه شد. همچنین، از نرم‌افزار Arc GIS 10.4 و سامانه اطلاعات مکانی Minitab, Excle برای انجام تحلیل‌ها استفاده شد.

منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی مراتع حوضه آبریز رودخانه کرج، به عنوان

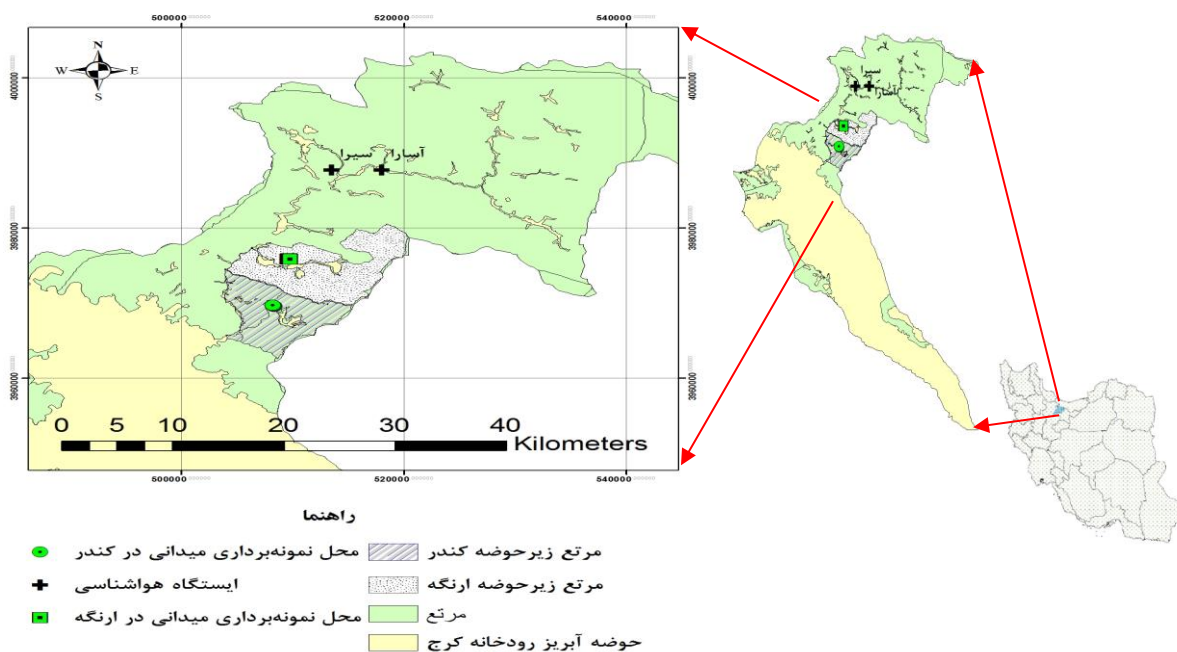
جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی و سایت‌های منتخب در حوضه آبریز رودخانه کرج

استان	کد ایستگاه، ناحیه	نام ایستگاه یا زیرحوضه	ارتفاع محل از سطح دریا (متر)	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)	رودخانه
البرز	۴۱-۱۰۱	سیرا	۱۷۹۰	۳۶/۰۳۳۳	۵۱/۱۵۰۰	کرج
البرز	۴۱-۳۳۰	آسارا	۱۹۵۰	۳۶/۰۳۳۳	۵۱/۲۰۰۰	کرج
البرز	البرز مرکزی	زیرحوضه ارنگه	۱۹۹۲	۳۵/۹۲۶۷	۵۱/۱۰۷۲	کرج
البرز	البرز مرکزی	زیرحوضه کندر	۲۱۲۹	۳۵/۸۷۰۵۶	۵۱/۰۹۴۴	کرج

روش نمونه‌برداری

نمونه‌برداری میدانی از هر سایت به روش سیستماتیک-تصادفی (شکل ۲) انجام شد. نمونه‌برداری در دو ترانسکت عمود بر هم و در کوادرات‌های (۱×۱ مترمربعی) انجام شد. در هر ترانسکت از ۱۰ پلات، به فاصله ۳۰ متر از هم استفاده شده و برای تعیین مختصات زمینی نقاط نمونه‌برداری از یک GPS دستی مدل گارمین، سری Oregon 550، استفاده شد.

در هر کوادرات، درصد تاج پوشش گیاهی، لاشبرگ، خاک لخت، سنگ و سنگ‌ریزه اندازه‌گیری شد. نمونه‌برداری در وسط فصل پاییز، زمستان، بهار و تابستان مطابق با زمان گذر ماهواره از منطقه، در سال ۲۰۱۹-۲۰۲۰ انجام شد و از نتایج برای شبیه‌سازی شاخص ماهواره‌ای پوشش گیاهی (NDVI) به صورت محصول رستری MOD13Q1، برگرفته از پایگاه زیر استفاده شد: [Http://e4ftl01.cr.usgs.gov](http://e4ftl01.cr.usgs.gov)



شکل ۱. موقعیت مکانی ایستگاه هواشناسی، محل نمونه‌برداری و مراتع در حوضه آبریز رودخانه کرج



شکل ۲. نمایی از نمونه‌برداری در هر پلات در فصل بهار

رستری، واسنجی می‌کند، اما در روش (9P) با در نظر گرفتن میانگین مقدار پیکسل‌ها در یک پنجره ۳×۳ یا ۹ پیکسلی تصاویر ورودی به صورت DN^1 در مختصات هر پلات زمینی، از میانگین ۹ نقطه استفاده می‌کند که منجر به افزایش تعداد نقاط ورودی به مدل رگرسیونی می‌شود [۲۲]. ابعاد هر پیکسل در تصویر ماهواره‌ای رستری شاخص NDVI، معادل

روش واسنجی شاخص ماهواره‌ای NDVI

واسنجی شاخص ماهواره‌ای و درصد تاج پوشش به منظور حذف خطای حاصل از سیستم GPS در ثبت مختصات نقاط زمینی، به دو روش مقدار تک‌پیکسلی (IP) و نه‌پیکسلی (9P) انجام شده و با هم مقایسه شدند. در روش (IP)، مدل رگرسیونی فقط مقادیر شاخص ماهواره‌ای NDVI را در مختصات محل هر پلات زمینی برداشت‌شده در تصویری

تصمیم‌گیری مورد استفاده است [۱۷]. محاسبه SPI با برآزش یک منحنی چگالی احتمال، که معمولاً گامای دوپارامتری و گاه لوگ پیرسون تیپ III است، بر مجموع بارش با دوره‌های زمانی متفاوت آغاز می‌شود. سپس، با استفاده از تبدیل‌هایی، توزیع دارای چولگی به نرمال استاندارد تبدیل می‌شود [۱۷]. در این تحقیق از نرم‌افزار آماری R برای محاسبه SPI بهره گرفته شد. در نهایت، با داشتن مقدار SPI می‌توان وضعیت خشکسالی را از جدول ۲ برآورد کرد.

یک مربع 250×250 متر روی زمین و دوره زمانی حداکثر ۱۶ روزه است.

شاخص خشکسالی هواشناسی

SPI^۱ یکی از شاخص‌های پرکاربرد در تشخیص خشکسالی است. شاخص بارش استاندارد شده SPI توسط مک‌کی و همکاران [۱۶] معرفی شد که به علت سادگی، قابلیت توصیف مکانی، انعطاف زمانی و امکان استفاده در مدیریت ریسک و

جدول ۲. طبقه‌بندی SPI و احتمالات مرتبط با هر رویداد [۱۸ و ۱۹]

SPI	طبقه	طبقه	احتمال %
بیشتر یا مساوی با ۲+	Extremely Wet	ترسالی حاد	۲/۳
$+1/5 \leq SPI \leq +1/99$	Severely Wet	ترسالی شدید	۴/۴
$+1/49 \leq SPI \leq +1$	Moderately Wet	ترسالی متوسط	۹/۲
$+0/99 \leq SPI \leq +0/5$	Mild Wet	ترسالی خفیف	۱۵
$+0/49 \leq SPI \leq -0/49$	Normal	نرمال	۳۸
$-0/5 \leq SPI \leq -0/99$	Mild drought	خشکسالی خفیف	۱۵
$-1 \leq SPI \leq -1/49$	Moderate drought	خشکسالی متوسط	۹/۲
$-1/99 \leq SPI \leq -1/5$	Severely Drought	خشکسالی شدید	۴/۴
کمتر یا مساوی با ۲-	Extremely Drought	خشکسالی حاد	۲/۳

جدول ۳ آمده است.

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_R) / (\rho_{NIR} + \rho_R) \quad (1)$$

پوشش گیاهی سالم انعکاس کمی در قسمت مرئی طیف الکترومغناطیسی به علت جذب توسط کلروفیل و دیگر رنگدانه‌ها، و انعکاس بالا در محدوده مادون قرمز نزدیک به علت انعکاس داخلی توسط بافت اسفنجی مزوفیل یک برگ سبز دارد [۲۱]. در این تحقیق از محصول NDVI سنجدۀ مودیس که از تاریخ ۱۸ فوریه ۲۰۰۰ میلادی با پسوند HDF* موجود است [۲۲] استفاده شد.

شاخص NDVI

به علت سهولت دسترسی به داده‌های سنجش از دور، محصول رستری شاخص NDVI ماهواره مودیس در زمینه بررسی آثار خشکسالی بر پوشش گیاهی کاربرد فراوان دارد. شاخص NDVI^۲ یک بیان ریاضی از وضعیت و میزان پوشش گیاهی در سطح زمین است که توسط روز و همکاران (۱۹۷۳) معرفی شد [۲۰]. این شاخص با استفاده از داده‌های بازتابندگی باندهای قرمز (ρ_R) و مادون قرمز (ρ_{NIR}) تصاویر ماهواره‌ای و از رابطه ۱ محاسبه می‌شود و طبقه‌بندی آن در

جدول ۳. طبقه‌بندی شاخص NDVI مطابق با شرایط تراکم پوشش اراضی [۲۰]

مقادیر شاخص NDVI	بیشتر از ۰/۶	بین ۰/۲ تا ۰/۶	بین ۰/۰۵ تا ۰/۲	کمتر از ۰/۰۵
تراکم پوشش اراضی	انبوه	متوسط	تنک	لخت

نتایج و بحث

خصوصیات بارشی ایستگاه اقلیمی

جدول‌های ۴ و ۵، آماره‌های پارامتری و ناپارامتری داده بارش سالانه ایستگاه سیرا و آسارا را به صورت کیفی و کمی،

مقایسه و توصیف می‌کند. مشاهده می‌شود میانگین بارش در این ناحیه از ۲۵ اینچ بالاتر است، بنابراین این ناحیه طبق تقسیم‌بندی هولچک برای برداشت مجاز مرتع، جزء مناطق مرطوب بارشی محسوب می‌شود.

جدول ۴. آماره‌های توصیفی پارامتری داده بارش سالانه ایستگاه‌های منتخب واقع در حوضه آبریز رودخانه کرج

نام ایستگاه	طول دوره آماری (سال)	چولگی	ضریب تغییرات	انحراف از معیار (میلی‌متر)	میانگین (میلی‌متر)	کشیدگی
سیرا	۴۹	۱/۰۳	۲۶/۶	۱۶۵/۷	۶۲۳/۱	۱/۹۱
آسارا	۲۲	۱/۶۶	۲۷/۹۳	۱۴۴/۸	۵۱۸/۶	۴/۴۴

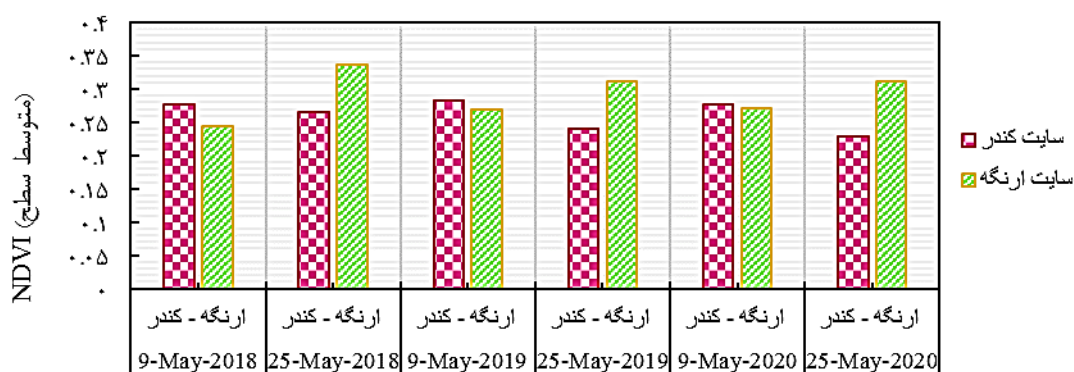
جدول ۵. آماره‌های توصیفی ناپارامتری بارش سالانه ایستگاه‌های منتخب واقع در حوضه آبریز رودخانه کرج

نام ایستگاه	حداکثر (میلی‌متر)	چارک سوم (میلی‌متر)	میان (میلی‌متر)	چارک اول (میلی‌متر)	حداقل (میلی‌متر)	دامنه تغییرات (میلی‌متر)
سیرا	۱۱۹۸/۳	۷۲۵/۱	۵۸۹	۴۹۳	۳۴۷/۵	۸۵۰/۸
آسارا	۹۹۲/۵	۵۸۰/۵	۵۲۱/۵	۳۹۶/۲	۳۵۲/۴	۶۳۹/۱

تعیین دوره پیک رشد در مراتع منطقه

در شکل ۳، برای تعیین زمان پیک رویش در دو منطقه معرف در زیرحوضه کندر و ارنگه، میانگین پیکسلی مقادیر NDVI هر تصویر ماهواره‌ای در سطح هر دو سایت در تاریخ ۹ و ۲۵ می برابر با ۱۹ اردیبهشت و ۴ خرداد برای سه سال متوالی ۲۰۱۸، ۲۰۱۹، ۲۰۲۰ مقایسه شدند. نتایج نشان داد در زیرحوضه کندر در هر سه سال متوالی از تاریخ ۹ تا ۲۵

می، مقدار شاخص NDVI روند کاهشی داشته، ولی در زیرحوضه ارنگه این روند کاملاً برعکس و افزایشی بوده است که علت را می‌توان شروع فصل چرای مراتع از ۲۵ ماه می در زیرحوضه کندر به علت سهولت دسترسی مراتع این بخش ذکر کرد. بنابراین، برای حذف اثرات مدیریتی بر اراضی مرتعی منطقه، دوره پیک رویش در مراتع منطقه در هر سال برابر با ۱۹ اردیبهشت یا ۹ تعیین می‌شود.



تاریخ میلادی مصادف با گذر ماهواره مودیس

شکل ۳. تغییرات زمانی متوسط سطحی شاخص ماهواره‌ای دوره پیک رویش در سایت کندر و سایت ارنگه در حوضه آبریز رودخانه کرج

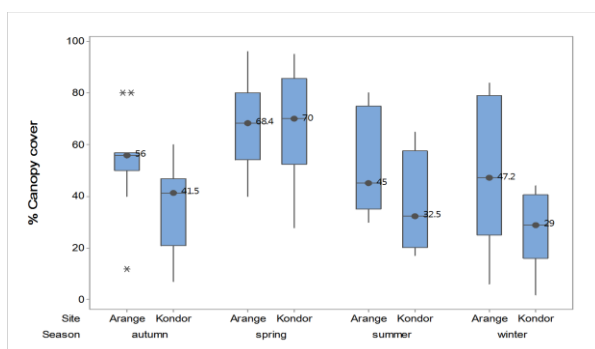
نتایج نمونه‌برداری میدانی

شکل ۴ نمودار جعبه‌ای درصد تاج پوشش گیاهی، لاشبرگ، سنگ و سنگ‌ریزه، و خاک لخت را در نمونه‌برداری‌های

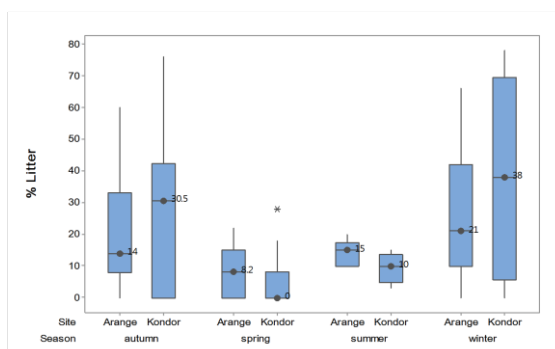
انجام‌شده در دو زیرحوضه ارنگه و کندر در فصول پاییز، زمستان، بهار و تابستان ۲۰۱۹-۲۰۲۰ (سال شمسی ۱۳۹۸-۱۳۹۹) نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود در هر دو سایت،

می‌توان به وجود چرای بیلاقی در این بخش ارتباط داد. هرچند هر دو منطقه حفاظت‌شده و ممنوع برای چرا هستند، اما سایت کندر به علت موقعیت مناسب و قرارگیری در نزدیکی روستا به سهولت مورد چرا واقع می‌شود. همچنین، درصد تاج پوشش در هر دو زیرحوضه از بهار تا زمستان روند کاهشی دارد، ولی در پاییز به طور استثنا افزایش یافته که بیانگر بارندگی و افزایش دما در زمان نمونه‌برداری است.

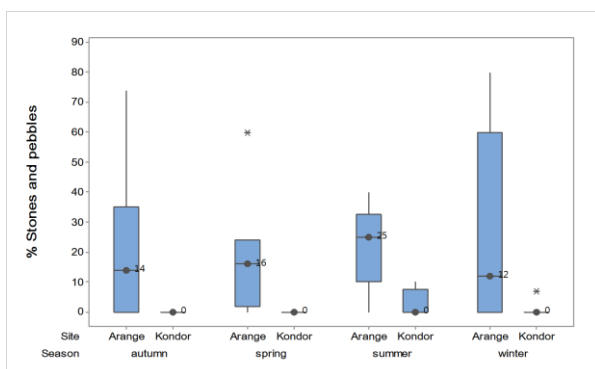
درصد تاج پوشش در فصل بهار بیشترین مقدار (حدود ۷۰ درصد) و در فصل تابستان کمترین مقدار را دارد. مقدار سنگ و سنگ‌ریزه که نقش حفاظت از خاک در برابر فرسایش آبی و بادی را به عهده دارد در سایت ارنگه بیشتر است و به‌عکس مقدار خاک لخت که سطح حوضه را در برابر فرسایش آسیب‌پذیر می‌سازد در سایت کندر بیشتر است. مقدار لاشبرگ در سایت کندر در فصول زمستان و پاییز بیشتر و در فصول بهار و تابستان کمتر از سایت ارنگه است که علت آن را



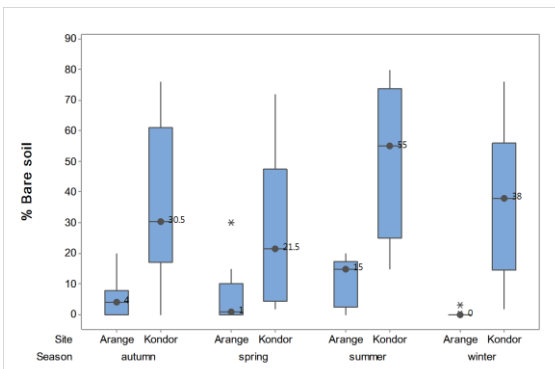
(ب)



(الف)



(د)

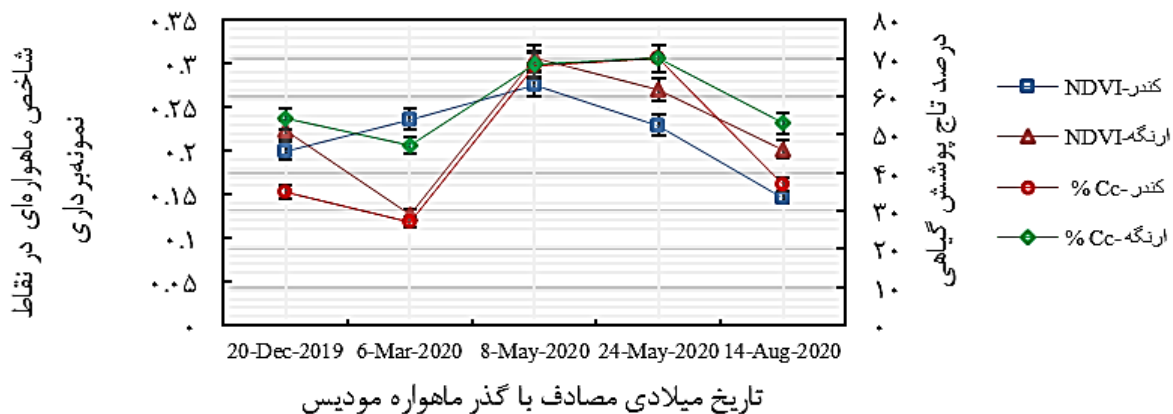


(ج)

شکل ۴. الف) درصد لاشبرگ، ب) تاج پوشش گیاهی، ج) خاک لخت، د) سنگ و سنگ‌ریزه اندازه‌گیری‌شده در فصول سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹ (● میانه و * داده پرت هستند)

تاریخ ۸ می برابر با ۱۹ اردیبهشت اتفاق می‌افتد. در تاریخ بعدی عبور ماهواره یعنی در ۲۴ می برابر با ۴ خرداد، هرچند درصد تاج پوشش و شاخص NDVI اندکی افزایش نشان می‌دهد، ولی بسیار ناچیز است.

شکل ۵، تغییرات درصد تاج پوشش گیاهی و شاخص NDVI ۱۶ روزه سنجنده MODIS به همراه واریانس آنها در زمان نمونه‌برداری در نقاط اندازه‌گیری میدانی در دو زیرحوضه کندر و ارنگه را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که پیک دوره رویش در هر دو زیرحوضه کندر و ارنگه حدوداً در

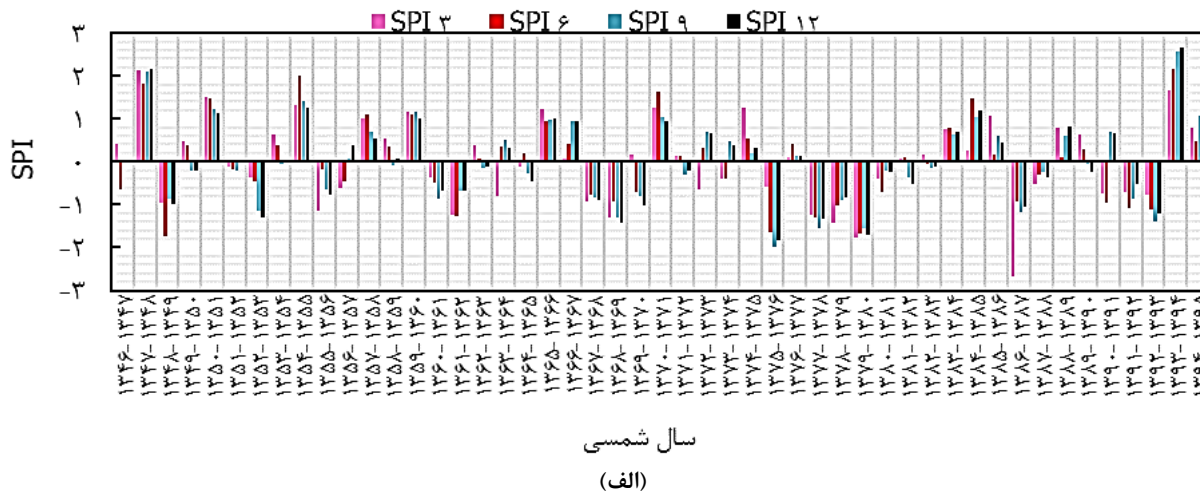


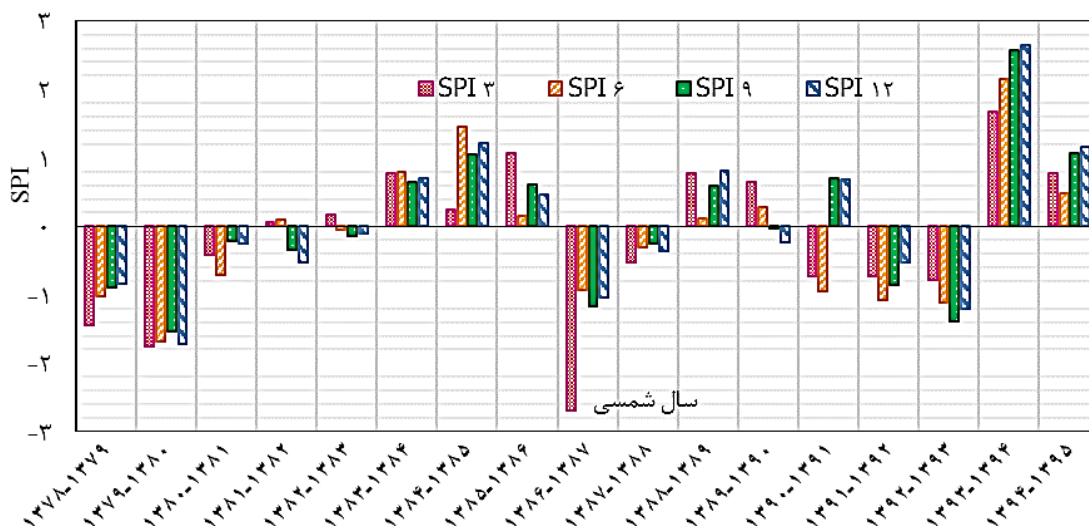
شکل ۵. تغییرات درصد تاج پوشش گیاهی (Cc%) و مقدار شاخص NDVI سنجنده MODIS در زمان و نقاط نمونه‌برداری میدانی به تفکیک سایت کندر و یا رنگه (میله‌ها واریانس‌ها هستند)

سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۳، ۲۰۰۴ و ۲۰۰۶ اتفاق افتاده است. به همین ترتیب، سال‌های نرمال در مقیاس ۶ ماهه در سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۴، ۲۰۰۷، ۲۰۰۹، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶ و سال‌های نرمال در مقیاس ۹ ماهه در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۳، ۲۰۰۴، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۱ و سال‌های نرمال در مقیاس ۱۲ ماهه در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۴، ۲۰۰۷، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۱ رخ داده است.

شاخص خشکسالی هواشناسی

در شکل ۶ بخش الف)، سری زمانی SPI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه منتهی به آخر اردیبهشت‌ماه هر سال آبی در ایستگاه اقلیمی سیرا طی دوره آماری ۴۹ سال (۱۹۶۷-۲۰۱۶) و در بخش ب) برای بررسی بهتر طی ۲۰ سال نشان داده شده است. نتایج نشان داد سال‌های نرمال از نظر بارش بعد از سال ۲۰۰۰، که SPI در مقیاس ۳ ماهه مطابق جدول ۱ در محدوده (+۰/۵ تا -۰/۵) قرار دارد، در



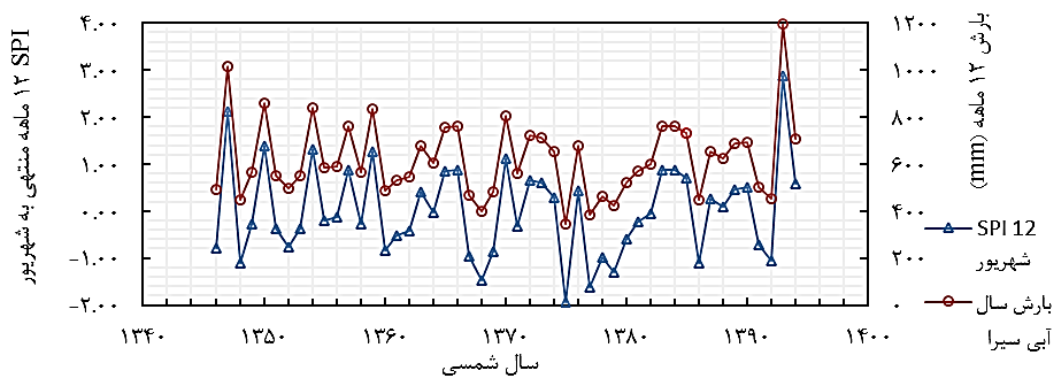


(ب)

شکل ۶. سری زمانی SPI در گام زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه منتهی به آخر اردیبهشت در ایستگاه اقلیمی سیرا به مدت الف) ۴۹ سال و ب) حدود ۲۰ سال آماری (۱۳۷۸-۱۳۹۵)

است. نتایج نشان می‌دهد سال‌های نرمال از نظر مقیاس‌های زمانی متفاوت کاملاً بر هم منطبق نیستند. همچنین، نوسان SPI با متغیر اقلیمی بارش کاملاً بر هم انطباق زمانی دارند. بنابراین، SPI12 به خوبی می‌تواند نوسان بارندگی سالانه که همان تابع هدف خشکسالی هواشناسی است را نشان دهد.

در شکل ۷، سری زمانی SPI در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه منتهی به آخر شهریورماه هر سال آبی در ایستگاه اقلیمی سیرا در همان بازه زمانی به همراه نوسان متغیر اقلیمی بارش نشان داده شده است. مشاهده می‌شود سال‌های نرمال در سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۴، ۲۰۰۹، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ اتفاق افتاده



شکل ۷. نوسان متغیر بارش سالانه و SPI 12 منتهی به شهریور در مدت ۴۹ سال آبی در ایستگاه سیرا

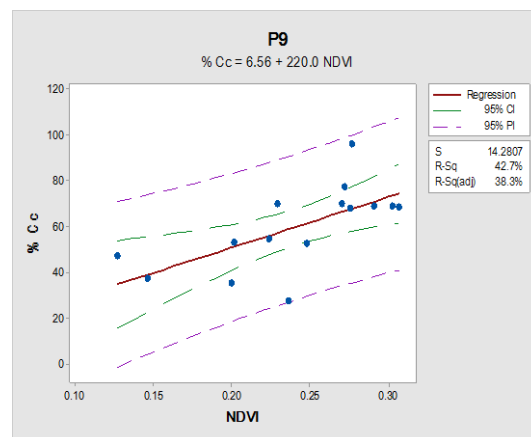
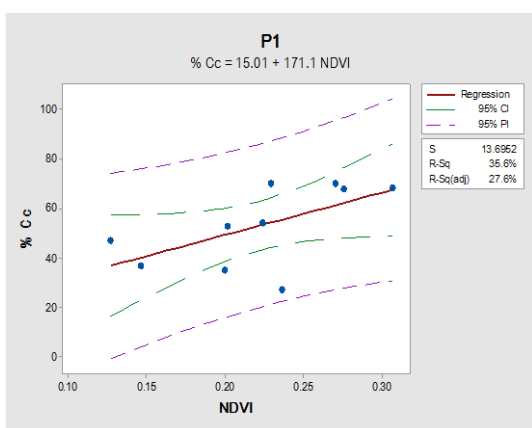
مدل رگرسیونی شد (جدول ۶). مقدار $RMSE^1$ و MAE^2 برای روش (9P) برابر با ۱۲/۲ درصد و برای روش (1P) برابر با ۱۳/۳ درصد و ۹/۵ به دست آمد که تقریباً مشابه هستند. نتایج مشابهی توسط رنگزن و همکاران در استفاده از این دو روش در واسنجی تصاویر ماهواره‌ای [۲۳] به دست آمد.

واسنجی شاخص ماهواره‌ای (NDVI)

در شکل ۸، مدل رگرسیونی حاصل از واسنجی مقادیر شاخص ماهواره‌ای نماینده پوشش و درصد تاج پوشش گیاهی، به دو روش مقدار تک پیکسل (1P) و روش (9P) نشان داده شده است. نتایج نشان داد ضریب همبستگی پارامتری پیرسون و ناپارامتری اسپیرمن در روش واسنجی 9P بیشتر از روش 1P بوده است. روش (9P) باعث بهبود و افزایش ضریب تعیین و ضریب همبستگی پیرسون و اسپیرمن و در نهایت، معناداری

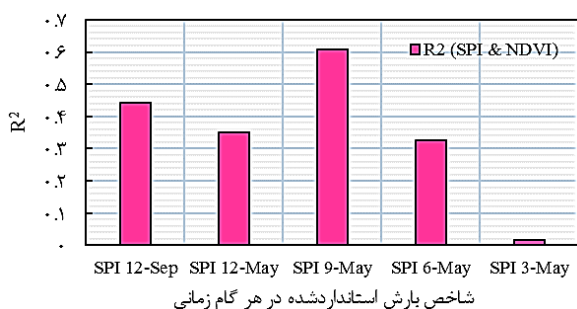
1. Root Mean Square Error

2. Mean Absolute Error



شکل ۸. واسنجی نقطه‌ای شاخص NDVI و درصد تاج پوشش گیاهی (% Cc) در مراتع زیرحوضه کندر و ارنگه با روش 1P و روش 9P با ترسیم حدود اطمینان

شاخص خشکسالی هواشناسی ۱۲ ماهه منتهی به شهریور (SPI12-Sep) بیشترین ضریب تعیین و ضریب همبستگی پارامتری پیروسون و ناپارامتری اسپیرمن را با NDVI در دوره پیک رشد مرتع دارد و در مراتب بعدی شاخص خشکسالی هواشناسی ۱۲ ماهه منتهی به اردیبهشت (SPI12-May) و ۶ ماهه منتهی به اردیبهشت (SPI6-May) به ترتیب بیشترین ضریب تبیین و همبستگی را دارد و شاخص خشکسالی هواشناسی ۳ ماهه منتهی به اردیبهشت (SPI3-May) کمترین تأثیر را بر شاخص NDVI دوره پیک رشد مرتع دارد.



شکل ۹. تغییرات (R^2) یا ضریب تعیین شاخص NDVI با SPI در گام زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه منتهی به آخر اردیبهشت و ۱۲ ماهه منتهی به آخر شهریور در سال‌های نرمال بارشی

در جدول ۶، علاوه بر SPI، اثر بارش تجمعی (PRCP) در گام‌های زمانی مختلف مطابق با SPI بر شاخص NDVI در دوره پیک رشد بررسی و مقایسه شده است. نتایج به‌دست‌آمده مشابه با رابطه شاخص خشکسالی هواشناسی بر شاخص گیاهی ماهواره‌ای و در راستای نتایجی است که در برخی مقالات در نواحی نیمه‌خشک با پوشش کم تراکم مانند اوسطی و همکاران دیده می‌شود [۲۴].

بررسی عوامل مؤثر بر مدل‌سازی شاخص گیاهی ماهواره‌ای (NDVI)

برای مدل‌سازی شاخص گیاهی ماهواره‌ای، ابتدا باید پارامترهایی که بیشترین ارتباط و اثرگذاری را روی شاخص دارند، پیدا کرد و سپس، بهترین مدل رگرسیونی را به آنها برآزش داد. در مطالعات پیشین برای تعیین ظرفیت بهره‌برداری مرتع فقط از شاخص خشکسالی هواشناسی سالانه (۱۲ ماهه منتهی به آخر شهریور) استفاده شده است. در مطالعه حاضر به بررسی اثر خشکسالی هواشناسی در سایر گام‌های زمانی روی شاخص ماهواره‌ای پوشش (NDVI) و همچنین، بر تعیین آستانه بهره‌برداری پایدار از مرتع پرداخته شده و نتایج به‌دست‌آمده با توجه به گام‌های زمانی مختلف خشکسالی با هم مقایسه شده است. به این منظور، در شکل ۹ و جدول ۶، برای سهولت مقایسه ارتباط بین شاخص بارش استاندارد شده با شاخص ماهواره‌ای پوشش، تغییرات ضریب تعیین (R^2) و ضرایب همبستگی پارامتری و ناپارامتری (r) بین NDVI دوره پیک با SPI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه منتهی به آخر اردیبهشت و ۱۲ ماهه منتهی به آخر شهریور در سال‌های نرمال بارشی که SPI در گام مورد نظر در محدوده -0.5 تا $+0.5$ باشد، نشان داده شده است. ضریب تبیین از این نظر مورد توجه ویژه قرار دارد که نشان می‌دهد چند درصد از تغییرات متغیر پاسخ توسط متغیر پیش‌بینی‌کننده قابل تعریف است. نتایج نشان داد NDVI در دوره پیک رشد مرتع، با شاخص خشکسالی هواشناسی ۹ ماهه منتهی به اردیبهشت (SPI9-May) دارای بیشترین مقدار ضریب تعیین و ضریب همبستگی پارامتری پیروسون و ناپارامتری اسپیرمن است. همچنین، بعد از این گام زمانی،

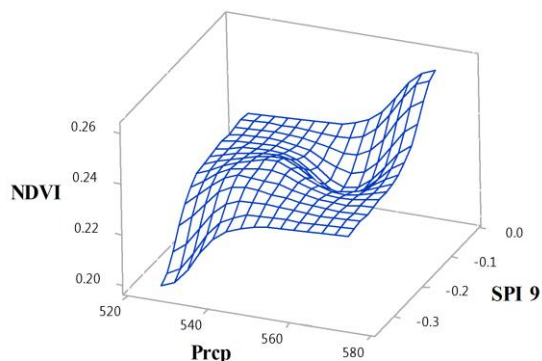
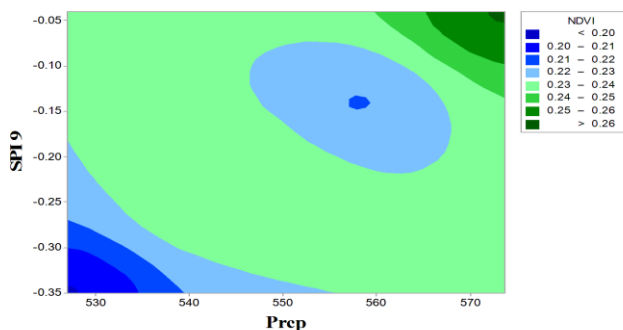
جدول ۶. ضریب همبستگی (r) پارامتری پیرسون (p) و ناپارامتری اسپیرمن (s) برای بیان ارتباط بین متغیرها

همبستگی بین متغیرها	P-Value-s	ضریب همبستگی اسپیرمن	P-Value-p	ضریب همبستگی پیرسون
SPI12 (Sep)&NDVI (GP)	۰/۱۸۸	۰/۷۰	۰/۲۲۱	۰/۶۷
NDVI(GP) & PRCP12 (Sep)	۰/۱۸۸	۰/۷۰	۰/۲۲۸	۰/۶۶
NDVI(GP) & SPI12 (May)	۰/۷۴۷	۰/۲۰	۰/۵۳۰	۰/۳۸
NDVI(GP) & PRCP12 (May)	۰/۷۴۷	۰/۲۰	۰/۵۱۹	۰/۳۹
NDVI(GP) & SPI9 (May)	۰/۱۸۸	۰/۷۰	۰/۱۲۰	۰/۷۸
NDVI(GP) & PRCP9 (May)	۰/۱۸۸	۰/۷۰	۰/۱۲۲	۰/۷۸
NDVI(GP) & SPI6 (May)	۰/۳۹۷	۰/۴۳	۰/۳۰۲	۰/۵۱
NDVI(GP) & PRCP6 (May)	۰/۳۹۷	۰/۴۳	۰/۲۹۴	۰/۵۲
NDVI(GP) & SPI3 (May)	۰/۶۰	۰/۴۰	۰/۸۶۸	۰/۱۳
NDVI(GP) & PRCP3 (May)	۰/۶۰	۰/۴۰	۰/۸۴۹	۰/۱۵
%Cc (1P)&NDVI(TWY)	۰/۰۸۹	۰/۵۷	۰/۰۶۸	۰/۶۰
%Cc (9P)&NDVI(TWY)	*۰/۰۱۲	۰/۶۳	*۰/۰۰۸	۰/۶۵

* معناداری در سطح اعتماد ۵ درصد، GP = پیک رشد، TWY = کل سال، Sep = شهریور، May = اردیبهشت، PRCP = بارش تجمعی، NDVI = شاخص ماهواره‌ای اختلاف از نرمال پوشش گیاهی، SPIn(month) = شاخص خشکسالی هواشناسی در گام زمانی n ماهه منتهی به ماه مورد نظر (month)، %Cc = درصد تاج پوشش گیاهی، (1P) = روش واسنجی تک‌پیکسلی، (9P) = روش واسنجی ۹ پیکسلی، اعداد توپر = بیشترین همبستگی‌ها را نشان می‌دهند.

است. غالباً گونه‌های علفی و گندمیان یک‌ساله تأثیر بیشتری از بارش نسبت به علفی‌های پهن‌برگ دریافت می‌کنند و حتی بارش ماه‌های پیشین تأثیر بیشتری بر شرایط و ذخیره رطوبتی خاک مرتع و در نهایت، گیاه اعمال می‌کند. این مطالعه بر خلاف مطالعات پیشین مانند معتمدی و همکاران، که برای تعیین بهره‌برداری درازمدت مرتع از شاخص خشکسالی هواشناسی سالانه (۱۲ ماهه منتهی به آخر شهریور) در بازه ۵ تا ۱۰ ساله، استفاده کردند [۲]، نشان می‌دهد SPI9 و PRCP9 ماهه منتهی به آخر اردیبهشت بیشترین همبستگی با شاخص پوشش گیاهی در یک بازه ۲۰ ساله دارند و بهتر می‌توانند رفتار پوشش در سال‌های نرمال بارشی آینده را با استفاده از پارامترهای اقلیمی، قابل تخمین و برآورد سازند.

شکل ۱۰، تغییرات مقادیر NDVI با SPI9 و PRCP9 (مجموع بارش نه‌ماهه منتهی به آخر اردیبهشت) که در بین سایر متغیرها مطابق جدول ۶، بیشترین همبستگی را داشتند، به‌صورت شکل سه‌بعدی نشان می‌دهد. نتایج وجود یک یا دو داده پرت که روند افزایش شاخص ماهواره‌ای با افزایش بارش تجمعی و افزایش شاخص خشکسالی را مختل کرده است، نشان می‌دهد. منبع خطا در این حالت ممکن است ناشی از روش یا وسایل اندازه‌گیری داده بارش، روش بازسازی بارش و یا وجود آفت و بیماری در پوشش مرتعی در سال مورد نظر باشد، که نیاز به بررسی بیشتری دارد. در مقالات سایر محققان مانند دمی‌زاده و همکاران [۱۴] نیز به اثر مثبت و یا متفاوت بارش بر افزایش درصد تاج پوشش و تراکم گیاهان مرتعی با توجه به نوع و محل گونه تأکید شده

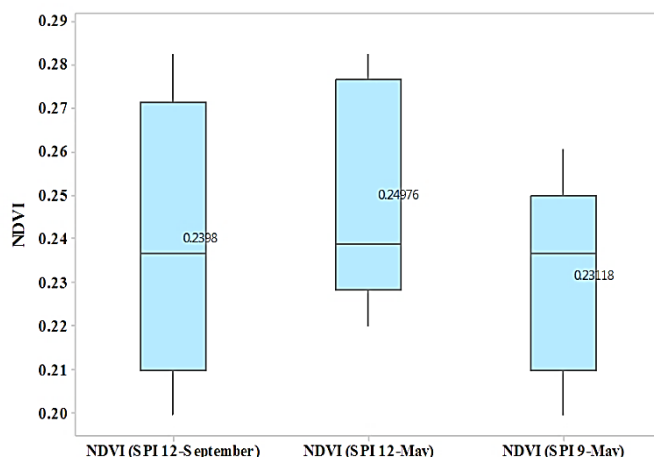


شکل ۱۰. نوسانات شاخص NDVI با SPI9 و PRCP9 به صورت نقشه سه‌بعدی سطح و کنتور

ممکن است از پوشش، اضافه‌برداشت صورت گیرد، و اگر از سال‌های با بارش نرمال SPI12 منتهی به اردیبهشت‌ماه و یا SPI12 منتهی به شهریور (سالانه) استفاده شود، منجر به هدرفت منابع پوششی در سطح اکوسیستم مرتع شود. اما طبق شکل ۹ و جدول ۶، بیشترین همبستگی بین SPI9 منتهی به اردیبهشت و NDVI و در نهایت، تراکم گیاهی وجود دارد و این شاخص، منجر به نتایج قابل اتکاتری برای تصمیم‌گیران و مدیران در بهره‌برداری‌های آینده ذی‌نفعان از اکوسیستم مرتع خواهد شد. بنابراین، برنامه‌ریزی براساس شاخص NDVI در سال‌های نرمال با SPI9 منتهی به اردیبهشت‌ماه به مدیریت توسعه پایدار حوضه آبریز نزدیک‌تر خواهد بود.

آستانه مجاز قابل بهره‌برداری از مرتع

شکل ۱۱، محدوده شاخص NDVI در سال‌های با بارش نرمال SPI در بازه (-۰/۵ تا +۰/۵) و برای دو گام زمانی ۹ و ۱۲ ماهه منتهی به اردیبهشت و ۱۲ ماهه منتهی به شهریور را نشان می‌دهد. مقدار میانه شاخص ماهواره‌ای NDVI در سال‌های نرمال از نظر شاخص خشکسالی ۱۲ ماهه منتهی به اردیبهشت برابر با ۰/۲۴۹۷۶ بوده و این مقدار بیشتر از مقادیر میانه این شاخص در سال‌های نرمال با شاخص خشکسالی ۱۲ ماهه منتهی به شهریور (با میانه برابر با ۰/۲۳۹۸) و ۹ ماهه منتهی به اردیبهشت (با میانه برابر با ۰/۲۳۱۲) است. این امر در نگاه اول به آن مفهوم است که اگر برای محاسبه آستانه مجاز شاخص NDVI از سال‌های با بارش نرمال مانند SPI9 منتهی به اردیبهشت استفاده شود،



شکل ۱۱. تغییرات شاخص NDVI در سال‌های نرمال بارشی با توجه به SPI در گام زمانی ۹ و ۱۲ ماهه منتهی به آخر اردیبهشت و ۱۲ ماهه منتهی به آخر شهریور (اعداد، میانه‌ها هستند)

محافظه کارانه تروکسل- وایت با ضریب برداشت برابر با ۲۵ درصد سطح، در سال‌های نرمال یادشده در جدول‌های ۷ و ۸ ارائه شده است. درخور یادآوری است از رابطه مدل واسنجی بین درصد تاج پوشش گیاهی و شاخص ماهواره‌ای پوشش برگرفته از سنجنده مودیس (NDVI) به روش (9P) با ضریب همبستگی و ضریب تعیین بیشتر برای تعیین این آستانه‌ها استفاده شده است. ضریب $(1-\alpha)$ در جدول ۷، به معنای درصد غیر قابل برداشت از مرتع برای بهره‌برداری پایدار است.

در نهایت، محدوده مجاز درصد تاج پوشش غیر قابل برداشت و آستانه مجاز شاخص NDVI بعد از بهره‌برداری پایدار از مرتع مطابق با روش هولچک برای مراتع با بارش بیش از ۲۵ اینچ و فاقد آمار درازمدت تولید و عملکرد مرتع، با ضریب برداشت (α) برابر با ۴۵ درصد، ۶۰ درصد و ۵۰ درصد سطح $(\alpha = \% n)$ ، در سال‌های نرمال بارشی به‌دست‌آمده در گام‌های زمانی ۹ و ۱۲ ماهه منتهی به اردیبهشت و ۱۲ ماهه منتهی به شهریور و روش

جدول ۷. محدوده آستانه غیر قابل برداشت مرتع بر اساس درصد تاج پوشش گیاهی و مدل واسنجی با تلفیق روش‌های سنجش از دور و شاخص خشکسالی هواشناسی

محدوده آستانه مجاز درصد تاج پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI سال‌های نرمال در سه گام زمانی مؤثر و مدل واسنجی به روش (9P) $\% Cc (\mu \pm \sigma)$			روش تعیین ضریب بهره‌برداری مجاز $(\alpha = \% n)$
$\% Cc = (1-\alpha) \times (219.99NDVI(SPI_{n-month}) + 6.5645)$, (9P)			روش هولچک و روش تروکسل - وایت
NDVI (SPI 12-September)	NDVI (SPI 12-May)	NDVI (SPI 9-May)	
$31/345 \pm 3/11$	$32/85 \pm 2/58$	$30/70 \pm 2/2$	(Holchek, 1988), $(\alpha = \%45)$
$22/80 \pm 2/26$	$23/89 \pm 1/877$	$22/33 \pm 1/6$	(Holchek, 1988), $(\alpha = \%60)$
$28/50 \pm 2/83$	$29/87 \pm 2/35$	$27/91 \pm 2/00$	(Holchek, 1988), $(\alpha = \%50)$
$44/49 \pm 5/36$	$46/13 \pm 4/26$	$43/07 \pm 3/74$	(Troxel & White, 1989), $(\alpha = \%25)$

μ = میانگین، σ = انحراف از معیار، $\% Cc$ = درصد تاج پوشش گیاهی، $NDVI (SPI_{n-month})$ = شاخص ماهواره‌ای اختلاف از نرمال پوشش گیاهی در سال‌های نرمال بارشی در گام زمانی n و منتهی به ماه $month$

واسنجی شاخص ماهواره‌ای پوشش سنجنده مودیس (شاخص NDVI) در منطقه مطالعه شده قرار داد تا آستانه‌های مجاز بهره‌برداری پایدار بر اساس شاخص NDVI به دست آید.

برای تعیین جدول ۸ باید مقادیر درصد تاج پوشش گیاهی غیر قابل برداشت به‌دست‌آمده در سال‌های نرمال در هر گام زمانی شاخص خشکسالی هواشناسی را در مدل برتر

جدول ۸. محدوده آستانه بهره‌برداری پایدار مرتع بر اساس شاخص NDVI با تلفیق روش‌های سنجش از دور و شاخص خشکسالی هواشناسی

محدوده آستانه مجاز شاخص NDVI سال‌های نرمال در سه گام زمانی مؤثر و مدل واسنجی به روش (9P) $NDVI (\mu \pm \sigma)$			روش تعیین ضریب بهره‌برداری مجاز $(\alpha = \% n)$
$NDVI = (1/219.99) \times (\% Cc(NDVI(SPI_{n-month})) - 6.5645)$, (9P)			روش هولچک و روش تروکسل - وایت
NDVI (SPI 12-September)	NDVI (SPI 12-May)	NDVI (SPI 9-May)	
$0/11850 \pm 0/1787$	$0/12398 \pm 0/1422$	$0/11375 \pm 0/1248$	(Holchek, 1988), $(\alpha = \%45)$
$0/07804 \pm 0/1299$	$0/08202 \pm 0/1034$	$0/07459 \pm 0/0908$	(Holchek, 1988), $(\alpha = \%60)$
$0/10501 \pm 0/1624$	$0/10999 \pm 0/1293$	$0/10070 \pm 0/1135$	(Holchek, 1988), $(\alpha = \%50)$
$0/1724 \pm 0/2440$	$0/17991 \pm 0/1939$	$0/16597 \pm 0/1702$	(Troxel & White, 1989), $(\alpha = \%25)$

μ = میانگین، σ = انحراف از معیار، $NDVI (SPI_{n-month})$ = شاخص ماهواره‌ای اختلاف از نرمال پوشش گیاهی در سال‌های نرمال بارشی در گام زمانی n و منتهی به ماه $month$ ، $\% Cc(NDVI(SPI_{n-month}))$ = آستانه غیر قابل برداشت مرتع بر اساس درصد تاج پوشش گیاهی

بررسی اثر خشکسالی هواشناسی در سایر گام‌های زمانی روی شاخص ماهواره‌ای پوشش (NDVI) در یک بازه ۲۰ ساله و همچنین، بر تعیین آستانه بهره‌برداری پایدار از مرتع با استفاده از تراکم پوشش پرداخته شده و نتایج به دست آمده با توجه به گام‌های زمانی مختلف خشکسالی با هم مقایسه شده است.

در این پژوهش با فرض وجود رابطه همبستگی زیاد بین تولید و تراکم پوشش و با تلفیق تکنیک‌های سنجش از دور، شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و ضریب برداشت از مرتع بر اساس روش‌های مبتنی بر مقدار بارش منطقه مانند روش هولچک، روش تروکسل- وایت اقدام به تعیین آستانه‌های مجاز برای بهره‌برداری از مرتع شد. بازدیدها و پایش صحرائی از منطقه حوضه آبریز رودخانه کرج در یک دوره یک‌ساله و استفاده از سنجنده مودیس و محصول رستری شاخص NDVI ۱۶ روزه آن منجر به ارائه روشی شد که با استفاده از شاخص ماهواره‌ای (NDVI) و درصد تاج پوشش گیاهی، ظرفیت مجاز قابل برداشت از مرتع را بدون نمونه‌برداری از تولید میسر می‌سازد. این روش در امر ممیزی مراتع و مدیریت پایدار حوضه آبریز راهگشاست و می‌تواند با صرف زمان و هزینه کمتر، نقص‌های روش‌های پیشین در تعیین و پایش ظرفیت مجاز قابل برداشت از مرتع و برای برنامه‌ریزی‌های آینده در سطح حوضه را تا حدود زیادی جبران کند.

نتایج نشان داد با استفاده از شاخص NDVI، دوره پیک رشد مراتع حوضه آبریز رودخانه کرج، در محدوده ۱۹ اردیبهشت تا ۴ خرداد رخ می‌دهد که برای حذف اثرات مدیریتی نظیر چرای دام، بهترین زمان برای پیک دوره رشد همان ۱۹ اردیبهشت است. نتایج نشان داد شاخص NDVI ۱۶ روزه سنجنده مودیس با پارامتر درصد تاج پوشش گیاهی (تراکم گیاهی) به روش واسنجی میانگین نه‌پیکسلی (9P) دارای همبستگی قوی و معنادار است. همچنین، نتایج نشان داد شاخص NDVI در دوره پیک رویش با مقدار SPI9 و PRCP9 منتهی به آخر اردیبهشت‌ماه در سال‌های نرمال بارشی، بیشترین همبستگی و با SPI3 و PRCP3 کمترین همبستگی را دارد. به این معنا که پوشش گیاهی در سطح این حوضه به بارش‌های ۹ ماه پیش و ذخیره رطوبتی حاصل از آنها وابسته است.

همچنین، نتایج نشان داد سال‌های نرمال با توجه به مقیاس‌های زمانی متفاوت شاخص خشکسالی SPI بر هم

جدول ۸ نشان می‌دهد چنانچه مقدار آستانه‌های مجاز بهره‌برداری از اکوسیستم مرتعی با توجه به شاخص ماهواره‌ای NDVI در سال‌های نرمال و در گام‌های زمانی متفاوت خشکسالی هواشناسی به دست آید، نتایج بر هم منطبق نیستند و با توجه به شرایط منطقه می‌توان تصمیم‌های درخور را در هر حالت، برای بهره‌برداری پایدار گرفت، اما در نهایت به علت همبستگی بیشتر NDVI با SPI9 منتهی به اردیبهشت در این حوضه، در سال‌های نرمال بارشی، آستانه‌های بهره‌برداری مبتنی بر SPI9 منتهی به اردیبهشت، نتایج قابل اتکاتری ارائه می‌کند. در نهایت، مقدار شاخص ماهواره‌ای مجاز مرتع (NDVI) برای پایش مراتع در حوضه آبریز رودخانه کرج به خصوص بخش میانی آن در بهره‌برداری پایدار، حد پایین شاخص $(0/07459 \pm 0/0908)$ برای سال‌های تر (با توجه به توان زادآوری بیشتر مرتع در این سال‌ها) یعنی $0/065$ و حد بالای شاخص $(0/16597 \pm 0/01702)$ برای سال‌های خشک (با زادآوری کمتر) و معادل $0/183$ پیشنهاد می‌شود.

از آنجا که تا کنون تعیین ظرفیت قابل برداشت از یک مرتع فقط بر مبنای بارش منطقه و یا بر مبنای نمونه‌برداری یک‌ساله و یا بازه ۵ تا ۱۰ ساله از مقدار تولید مرتع و سپس، انتخاب یک متوسط خوب تولید بوده است [۱-۵] و تا کنون به علت نبود مطالعه‌ای مستقل در خصوص تعیین و پایش آستانه‌های بهره‌برداری پایدار از اکوسیستم مراتع در سطح حوضه آبریز بر مبنای درصد تاج پوشش گیاهی و استفاده هم‌زمان از شاخص خشکسالی هواشناسی در گام‌های زمانی مختلف و شاخص ماهواره‌ای، مقایسه نتایج این تحقیق با نتایج کار دیگر پژوهشگران میسر نیست. در عین حال، نتایج برخی از مطالعات انجام‌شده در سطح آزمایشگاه و مزرعه که در آنها به گونه‌های گیاهان بومی در مراتع توجه شده (نظیر مطالعات حسینی و قصریانی [۶]) و توانسته‌اند درصد قابل برداشت مراتع بدون آسیب رسیدن به توان احیای آنها را ارائه کنند، مؤید نتایج حاصل از مطالعات حاضر است.

نتیجه‌گیری

در مطالعات پیشین برای تعیین ظرفیت بهره‌برداری مرتع فقط از شاخص خشکسالی هواشناسی سالانه (۱۲ ماهه منتهی به آخر شهریور) و با تکیه بر نمونه‌برداری از تولید مرتع در بازه ۵ تا ۱۰ ساله و تعیین یک متوسط خوب تولید در این بازه محدود استفاده شده است. در مطالعه حاضر به

- [6]. Hosseini (Seyed Reza) S A, Ghasriani F. Investigation on allowable use of sheep fescue (*Festuca ovina* L.) at Saraliabad Gorgan rangelands. *Iranian Journal of Range and Desert Research*. 2013; 20(2):407-416. [Persian]
- [7]. Holechek J L. An Approach for Setting the Stocking Rate. *Rangelands journal*. 1988; 10(1):10-14.
- [8]. Teague R. Barnes M. Grazing management that regenerates ecosystem function and grazingland livelihoods. *African Journal of Range & Forage Science*. 2017; 34(2):77-86.
- [9]. Anonymous. Bureau of Land Management California State Office. *Rangeland Health Standards and Guidelines [CA, NV]: Environmental Impact Statement*. 1998.
- [10]. Mirdashtvan M, Malekian A. A regional assessment of wet/dry spells characteristics using RCPs scenarios in a semiarid region. *Arabian Journal of Geosciences*. 2020; 13(781):11.
- [11]. Fakhimi E, Arzani H, Javadi S A. Estimation of production and long-term grazing capacity using rainfall pattern in the steppe pastures of Abbas Abad Taft. *Journal of Plant and Ecology*. 2018; 14(54):57-71. [Persian]
- [12]. Souri M, Bayat M, Arzani H, Khodaghali M. Estimation of long-term forage production of Fars steppe rangelands Based on climatic parameters. *Rangeland and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources*. 2019; 72(4):995-1009. [Persian]
- [13]. Komaki CH B, Asadikia R, Niknahad Gharmakhar H. Estimation of vegetation cover percentage and biomass using remote sensing indices (Case study: protected areas of Southern Alborz, Karaj). *RS & GIS for Natural Resources*. 2019; 10(1):1-16. [Persian]
- [14]. Damizadeh M, Saghafian B, Gieske A. Studing Vegetation Rensponses and Rainfall Relationship based-on NOAA/AVHRR Images. 22nd Asian Conference on Remote Sensing, 5-9 November, Singapore. 2001.
- [15]. Akbarzadeh M. Preparation of vegetation map of Sirachal region by floristic and physiognomic methods. Ministry of Jihad Agriculture, Deputy of Education and Research, Publications of Forests and Rangelands Research Institute. 1994; 1373(92):71. [Persian]
- [16]. McKee T B, Doesken N J, Kleist J. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. 8th Conference on Applied Climatology, January 17-22, American Meteorological Society, Anaheim, California. 1993; 179-184.

منطبق نیستند و چنانچه آستانه بهره‌برداری با توجه به متوسط خوب تولید در سال نرمال در هر مقیاس تعیین شود، نتایج درصد تاج پوشش مجاز (% Cc) غیر قابل برداشت و آستانه بهره‌برداری مجاز NDVI متفاوت خواهد بود. در نهایت، مقدار شاخص ماهواره‌ای مجاز مرتع در بهره‌برداری پایدار در سال‌های تر، ۰/۰۶۵ و برای سال‌های خشک، معادل ۰/۱۸۳ تعیین شد.

پیشنهاد می‌شود منحنی واسنجی شاخص NDVI را با استفاده از سنجنده لندست ۸ و نتایج نمونه‌برداری‌های زمینی واسنجی کرد و خط رگرسیونی با ضریب همبستگی بیشتر برای ارائه به ممیزان به دست آورد. همچنین، پیشنهاد می‌شود چرای متعادل برای بهبود اکوسیستم‌های مرتعی تخریب‌شده انجام شود. با توجه به اینکه روستا به عنوان یکی از عوامل اثرگذار بر تخریب مراتع پیرامون محسوب می‌شود، برای اجتناب از اثرات آن، توجه به استراتژی‌های مدیریت مرتع مانند محدود کردن دوره‌های چرای دام در نقاط بحرانی توسط قرق یا چرای تناوبی و پایش مداوم آن، کاهش تراکم دام و یا تأمین علوفه توسط دولت در مراتع اقدام کرد.

منابع

- [1]. Motamedi J, Arzani H. A model of estimating short-term and long-term grazing capacity. 7th National Conference on Rangeland and Rangeland Management of Iran, Alborz, Karaj. 2018. [Persian]
- [2]. Motamedi J, Arzani H, Jafari M, Farahpour M, Zare Chahouki M A. A model for estimating long-term grazing capacity. *Iranian Journal of Range and Desert Research*. 2019; 26(1):241-259. [Persian]
- [3]. Martin R, Müller B, Linstädter A, Frank K. How much climate change can pastoral livelihoods tolerate? Modeling rangeland use and evaluating risk. *Journal of Global Environmental Change*. 2014; 24:183-192.
- [4]. Arzani H, Dehdari S, King G. Models for estimating range production by cover measurement. *Iranian journal of Range and Desert Reseach*. 2011; 18(1):1-16. [Persian]
- [5]. Hosseini S A, Mesdaghi M. Estimating herbage standing crop and grazing capacity by using regression model. (Case study: Sar-Ali-abad summer rangelands of Golestan province, Iran). 7nd national conference on natural resource management March 19-18, Gonbad Kavous University, Gorgan. 2018. [Persian]

- [22]. Didan K, Barreto Munoz A, Solano R, Huete A. MODIS Vegetation Index User's Guide (MOD13 Series). Version 3.00, June 2015 (Collection 6), Vegetation Index and Phenology Lab. <http://vip.arizona.edu>. The University of Arizona. 2015.
- [23]. Rangzan K, Kabolizadeh M, Karimi D. Evaluation of Sentinel-2 and Landsat-8 Satellite Images Capability and Evaluation of Image Fusion Capability in Seasonal Zoning of NSFWQI and IRWQIsc Qualitative Indices in Surface Water (Case Study: Karoun River). *Journal of Geography and Environmental Planning*. 2020; 31(1):73-102. [Persian]
- [24]. Owsati Kh, Junidi H, Azizi N. Determining the relationship between rangeland production fluctuations and drought In order to predict production using meteorological drought indicators. *Rangeland and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resource*
- [17]. Shokoohi A. Comparison of RDI and SPI indices for analysis of drought at station scale based on agricultural drought (Case study: Qazvin and Takestan). *Irrigation and Water Engineering*. 2012; 3(9):111-122. [Persian]
- [18]. McKee T B, Doesken N J, Kleist J. Drought monitoring with multiple timescales. 9th conference on Applied Climatology, TX. USA. 1995; 233-236.
- [19]. Hughes BL, Saunders MA. A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology*. 2002; 22:1571-1592.
- [20]. Fazel Dehkordi L, Azarnivand H, Zareh Chahouki M A, Mahmoodikhan F, Khaliqi Sigaroodi Sh. Drought Monitoring Using NDVI Vegetation Index (Case Study: Rangelands of Ilam Province). *Rangeland and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources*. 2016; 69(1):141-154. [Persian]
- [21]. Campbell J B. *Introduction to Remote Sensing*, New York: the Guilford Press; 1987.