

بررسی تغییرات مکانی - زمانی سرسبزی جنگل‌های بلوط زاگرس در واکنش به خشکسالی

محدثه قنبری مطلق^{۱*}، مسعود کیادلبری^۲ و منصور حلیمی^۳

۱) دانش‌آموخته دکتری رشته جنگلداری، گروه علوم محیط زیست و جنگل، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد

اسلامی، تهران، ایران. *رایانامه نویسنده مسئول مکاتبات: mohadeseh.motlagh@gmail.com

۲) استادیار گروه محیط زیست، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران.

۳) دانش‌آموخته دکتری رشته اقلیم شناسی، گروه اقلیم شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۷

چکیده

تغییرات آب و هوایی که در ایران عمدتاً به صورت تشدید دوره‌های خشکسالی و افزایش دما تظاهر کرده است، می‌تواند تأثیرات عمیقی در اکوسیستم‌های جنگلی زاگرس در غرب ایران داشته باشد. در این مطالعه، روند خشکسالی (با شاخص PDSI) و اثرات آن بر پویایی زمانی - مکانی شاخص سبزیگی EVI محصول سنجنده MODIS از طریق بررسی رابطه همبستگی در دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ در جنگل‌های بلوط زاگرس در استان کهگیلویه و بویراحمد بررسی گردید. برای تعیین مقدار آستانه سبزیگی شاخص از نمونه‌برداری در ۲۰ نقطه در جنگل‌های استان و مقادیر شاخص EVI در این مناطق استفاده شد. نتایج نشان داد مقدار آستانه سبزیگی شاخص EVI در این جنگل‌ها در ماه خرداد حداکثر بوده است. از میزان شاخص سبزیگی و از مساحت جنگل‌های بلوط استان در دوره مطالعه کاسته شده است. سبزیگی پیک جنگل‌های بلوط استان حساسیت معنی‌داری به تغییر در بارش و خشکسالی در اواخر دوره سرد سال و فصل بهار داشت. فازهای منفی شاخص‌های خشکسالی کاملاً منطبق بر دوره‌های افت سبزیگی بوده است. شاخص EVI، به‌عنوان شاخص سبزیگی جنگلی حساسیت بالایی را به شاخص خشکسالی PDSI نشان داده است. شاخص PDSI نیز توانسته است ۰/۷۴٪ از تغییرات فضای EVI را در سه ماه فروردین، اردیبهشت و خرداد تبیین نماید.

واژه‌های کلیدی: پویایی زمانی - مکانی، سنجش از دور، شاخص پالمر، همبستگی، EVI.

مقدمه

همکاران، ۱۳۹۸؛ Hosseini et al., ۲۰۱۷)، اما متأسفانه با مشکلات زیست محیطی متعددی روبه‌رو هستند. یکی از موضوعاتی که این روزها به‌عنوان مهمترین تهدید زیست محیطی جنگل‌های زاگرس شناخته شده، بحران زوال یا خشکیدگی درختان بلوط است که هر روزه بر وسعت آن افزوده می‌شود (زند و همکاران، ۱۴۰۰؛ شیراوند و همکاران، ۱۳۹۹؛ Attarod et al., ۲۰۱۷؛ Ghanbari Motlagh et al., 2020). از مهم‌ترین علایم اولیه وقوع بحران زوال بلوط، بروز خشکیدگی در بخش‌هایی از تاج درختان است که در صورت پیشرفت بحران، سبب خشکیدگی کامل درخت و مرگ آن می‌شود (Touhami et al., ۲۰۲۰). در جنگل‌های زاگرس اگر

جنگل‌های زاگرس به‌عنوان وسیعترین ناحیه رویشی ایران با مساحتی حدود ۵ میلیون هکتار ۴۰ درصد کل جنگل‌های ایران را به خود اختصاص داده است (زند و همکاران، ۱۴۰۰؛ عزیزی و همکاران، ۱۳۹۴). حدود ۷۰ درصد تیپ گونه‌های جنگلی زاگرس را گونه بلوط تشکیل می‌دهد (پورهایمی و صادقی، ۱۳۹۹؛ میرموسوی و کریمی، ۱۳۹۲). این جنگل‌ها به‌عنوان دومین اکوسیستم جنگلی طبیعی در ایران، نقش بسیار ارزنده‌ای در تامین منابع آب، جلوگیری از فرسایش خاک، محافظت از تنوع زیستی گیاهی و جانوری، تعدیل آب و هوا و تعادل اقتصادی و اجتماعی در ایران دارند (علیرضایی و

پوشش گیاهی را در هر منطقه به‌ویژه مناطق خشک تحت تاثیر قرار دهد (Enriquez-de-Salamanca, ۲۰۱۸; Zhou et al., ۲۰۲۲). آثار پدیده خشکسالی بر پوشش گیاهی، به صورت تدریجی ظاهر می‌شود، بنابراین اگر میزان تغییرات پوشش گیاهی از روی تصاویر ماهواره‌ای نظارت و پایش شود، می‌توان با بررسی تغییرات و کاهش تدریجی سبزیگی پوشش گیاهی، پدیده مخرب خشکسالی را به موقع شناسایی نمود (میرموسوی و کریمی، ۱۳۹۲؛ Filizzola et al., ۲۰۲۲; Guo et al., ۲۰۱۸; Zhang et al., ۲۰۱۷). همچنین به‌منظور مدیریت خشکسالی، کسب اطلاعات از دوره زمانی قبل از وقوع خشکسالی، هنگام وقوع و پس از آن اهمیت زیادی دارد. از این‌رو آشکارسازی پویایی مکانی- زمانی میزان سبزیگی جنگل در پاسخ به خشکسالی بسیار مهم است (علیرضایی و همکاران، ۱۳۹۸؛ ناصرزاده و احمدی، ۱۳۹۱؛ شیراوند و همکاران، ۱۳۹۹؛ Rahimzadeh Bajgiran et al., 2008).

بدین منظور یکی از قدم‌های مهم و اساسی در مطالعات خشکسالی و ترسالی در هر منطقه تعیین شاخص‌هایی است که بتوان بر اساس آنها میزان شدت و تداوم خشکسالی و ترسالی را ارزیابی کرد. از موثرترین و پرکاربردترین این شاخص‌ها، شاخص پوشش گیاهی بارز شده^۱ می‌باشد (Filizzola et al., ۲۰۲۲; Rahimzadeh Bajgiran et al., 2008). با استفاده از این شاخص می‌توان آثار خشکسالی را بر پوشش گیاهی نشان داد و به نتایج دقیق‌تری برای مدل‌سازی خشکسالی دست یافت، زیرا مقادیر بالاتر این شاخص نشان‌دهنده قدرت و ظرفیت فتوسنتزی بالاتر تاج‌پوشش گیاهی است. درحالی‌که مقادیر کمتر، منعکس‌کننده کاهش کلروفیل در پوشش گیاهی و تغییرات در ساختار داخلی برگ‌ها به دلیل پژمردگی است (فرخزاده و همکاران، ۱۳۹۶؛ ناصرزاده و احمدی، ۱۳۹۱؛ عزیزی و همکاران، ۱۳۹۴؛ Gu et al., ۲۰۰۷). شاخص‌های دیگر بر پایه معیارهای هواشناسی بوده و متغیرهایی مانند میزان رطوبت خاک، دما و به‌ویژه بارش را مورد بررسی قرار می‌دهند (فرخزاده و همکاران، ۱۳۹۶). از پرکاربردترین این شاخص‌ها، شاخص شدت خشکسالی پالمر^۲ می‌باشد (Palmer, ۱۹۶۵). استفاده از رابطه شاخص های سبزیگی پوشش گیاهی و خشکسالی در

چه عوامل متعددی دست‌اندرکار این وضعیت هستند و باید از طریق انجام مطالعات دقیق شناسایی شوند، اما می‌توان یکی از عوامل اصلی را خشکسالی‌های پی‌درپی در نظر گرفت که سبب کاهش شادابی، سلامت و کارکرد تاج‌پوشش جنگل می‌گردند (کریمان و میرزایی، ۱۳۹۹؛ احمدی و رستمی، ۱۳۹۹). تغییر درازمدت عوامل اقلیمی در اثر پدیده گرمایش به‌عنوان یکی از فرضیه‌هایی که زوال جنگل‌ها را تسریع می‌کند، مطرح می‌باشد. مطالعه‌های مختلفی نشان داده است که خشکسالی به‌عنوان یکی از مخاطرات اقلیم‌شناختی، تاثیرات چشمگیری بر پوشش گیاهی جنگل‌های بلوط زاگرس در غرب ایران و پدیده خشکیدگی تاجی جنگل‌های آن داشته است (میرموسوی و کریمی، ۱۳۹۲؛ ناصرزاده و احمدی، ۱۳۹۱؛ علیرضایی و همکاران، ۱۳۹۸؛ Attarod et al., ۲۰۱۷; Hosseini et al., ۲۰۱۷). ارتباط مرگ‌ومیر و خشکیدگی درختان در جنگل‌های جهان با تغییرات آب‌وهوایی مربوط به خشکسالی و تنش گرمایی نیز در مطالعه‌های متعددی نشان داده شده است (Allen et al., ۲۰۱۰; Filizzola et al., ۲۰۲۲; Enriquez-de-Salamanca, ۲۰۲۲; Klos et al., ۲۰۰۹; Zhang et al., ۲۰۱۷; Gulácsi & Kovács, ۲۰۱۸). بنابراین ضرورت دارد انطباق فرضیه ارتباط تغییرات اقلیمی و خشکسالی‌ها با گستره و پویایی زمانی- مکانی زوال تاج پوشش و کاهش سبزیگی جنگل‌های زاگرس مورد آزمون قرار گیرد.

خشکسالی عبارت است از کمبود رطوبت مستمر و غیرطبیعی در یک دوره زمانی معین که معمولاً یکسال می‌باشد (ناصرزاده و احمدی، ۱۳۹۱). خشکی از طریق کاهش میزان بارندگی موجبات کاهش رطوبت خاک را فراهم می‌آورد. با کاهش تدریجی رطوبت قابل دسترس خاک، کاهش آب در بافت‌ها و اندام‌های گیاه رخ داده و نتیجه اولیه آن به صورت پژمردگی ظاهر می‌شود. بنابراین پژمردگی اولین اثر قابل رویت خشکی در درخت است. این اثر به تدریج به سرشاخه‌ها و شاخه‌ها سرایت کرده، سرخشکیدگی و کاهش سبزیگی در تاج درخت ظاهر می‌شود و سرانجام منجر به تضعیف و زوال تدریجی درختان می‌شود (احمدی و رستمی، ۱۳۹۹؛ Allen et al., ۲۰۱۰). علاوه بر آن پدیده خشکسالی یکی از بلایای طبیعی است که می‌تواند تنوع زیستی، تراکم و مساحت

1 EVI

2 Palmer Drought Severity Index (PDSI)

بررسی تغییرات مکانی - زمانی سرسبزی جنگل‌های بلوط زاگرس در واکنش به خشکسالی/۱۳۳

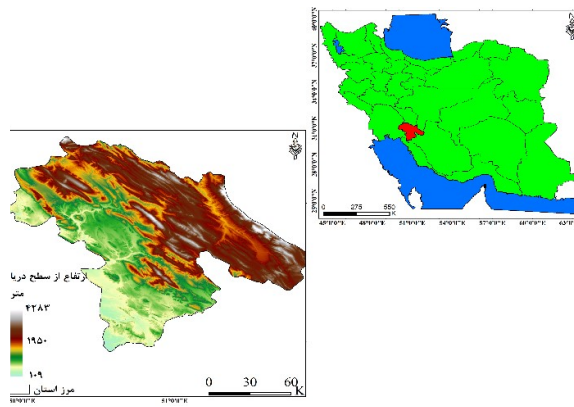
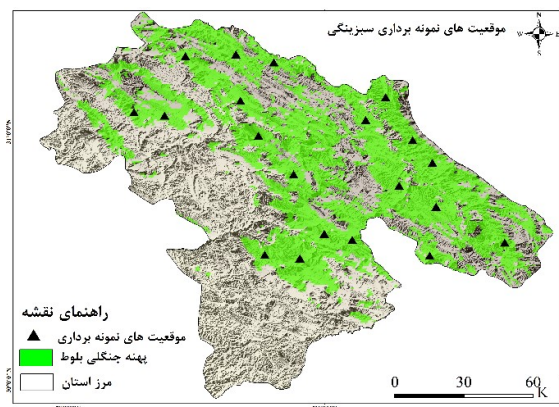
در این مطالعه جنگل‌های بلوط زاگرس در غرب ایران در استان کهگیلویه و بویراحمد به‌منظور پایش روند خشکسالی و اثرات آن بر پویایی زمانی- مکانی این جنگل‌ها از طریق بررسی ارتباط شاخص سبزیگی EVI استخراج شده از ماهواره MODIS و شاخص خشکسالی PDSI در دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ انتخاب شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه این تحقیق جنگل‌های بلوط استان کوهستانی کهگیلویه و بویراحمد در غرب ایران است که بخشی از جنگل‌های بلوط زاگرس به‌شمار می‌رود. این استان به سبب تنوع، ارتفاعی کمتر از ۱۵۰ متر تا بیشتر از ۴۲۰۰ متر، بارندگی و دمای مناسب، از تنوع اقلیمی و پوشش گیاهی متنوعی برخوردار است. حدود ۸۷۴۰ کیلومترمربع از جنگل‌های زاگرس در این استان قرار دارد و در منطقه رویشی بلوط زاگرس، چهارمین استان از لحاظ مساحت جنگل است. بلوط ایرانی گونه غالب جنگل‌های استان است. غالب رویشگاه‌های بلوط استان در بخش شمالی و با یک روند شمال‌غرب-جنوب‌شرق کشیده شده اند (طرح آمایش سرزمین استان کهگیلویه و بویراحمد، ۱۳۹۳) (شکل ۱، راست).

مطالعه‌های مختلفی بررسی شده است. Ji و Peters (۲۰۰۳) پاسخ پوشش گیاهی با سری زمانی شاخص NDVI/AVHRR در طول فصل رشد دوره ۱۹۸۹-۲۰۰۰ به خشکسالی شاخص SPI در شمال و مرکز دشت بزرگ ایالات متحده را بررسی نمودند. تجزیه و تحلیل شاخص‌های NDVI و NDWI تصاویر MODIS برای ارزیابی خشکسالی در دشت‌های بزرگ آمریکا در کانزاس، اوکلاهاما و نگزاس توسط Gu و همکاران (۲۰۰۷) انجام شد. نتایج بررسی اثرات خشکسالی با شاخص SPI بر پوشش گیاهی اکوسیستم‌های خشکی در جنوب‌غربی چین توسط Zhou و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد در دوره ۱۲ ساله این مطالعه، دو رویداد خشکسالی شدید در سال‌های ۲۰۰۹، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ به وقوع پیوسته و میزان سبزیگی پوشش گیاهی (NDVI و EVI) در خشکسالی ۲۰۱۰/۲۰۰۹ کاهش یافته است. در ایران، بررسی اثرات خشکسالی بر خشکیدگی جنگل‌های بلوط در استان لرستان در غرب ایران با استفاده از NDVI/MODIS و شاخص SPI در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ بررسی شد (زند و همکاران، ۱۴۰۰). عزیزی و همکاران (۱۳۹۴) نیز در جنگل‌های استان ایلام طی دوره ۱۴ ساله ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ رابطه بارش و زوال جنگل و علیرضایی و همکاران (۱۳۹۸) همبستگی سری زمانی ۱۸ ساله شاخص پوشش جنگلی EVI با شاخص SPI را بررسی نموده‌اند.



شکل ۱. راست: موقعیت جنگل‌های استان کهگیلویه و بویراحمد، چپ: مکان داده‌های نمونه‌برداری میدانی برای به‌دست آوردن آستانه سبزیگی جنگل با شاخص EVI با محصول MODIS

MODIS جهت تعیین میزان سبزیگی پوشش جنگلی استفاده شد^۱. فرمول این شاخص در جدول (۲) بخش ۱ ارائه شده است. این شاخص در بازه زمانی -۱ تا +۱ قرار دارد. از مزایای این شاخص آن است که از اثرات اتمسفر و پنخس

روش پژوهش

۱) پایگاه داده‌ای شاخص سبزیگی پوشش گیاهی

در این پژوهش از شاخص EVI به‌دست آمده از اطلاعات سری زمانی (۲۰۰۰-۲۰۲۰) محصول MODIS^{۱۳A۳} سنجنده

¹ <https://modis.gsfc.nasa.gov/>

آروسل می‌کاهد. در واقع EVI یک NDVI تغییر یافته است که در آن فاکتور تنظیم تاج پوشش جنگلی (L) و دو ضریب C_1 و C_2 لحاظ می‌گردد (Huete et al., ۲۰۰۲).

تعیین آستانه تجربی پوشش جنگلی

برای تعیین آستانه پوشش جنگلی بر اساس شاخص سبزیگی از یک نمونه‌گیری هدفمند از ۲۰ نقطه از جنگل‌های بلوط با سلامت بالا و تاج پوشش شاداب در استان استفاده گردید. موقعیت این سایت‌های نمونه‌برداری با دستگاه GPS در سیستم مختصات WGS۱۹۸۴ ثبت گردید. کلیه نمونه‌ها از بلوط‌های سالم که فاقد علائم زوال مانند زردی برگ و دفع صمغ قهوه‌ای بودند، انتخاب شدند. از مقایسه موقعیت این نمونه‌های میدانی با موقعیت همان نقاط روی تصاویر، آستانه مقدار شاخص‌ها به‌عنوان آستانه حضور جنگل‌های بلوط سرسبز و شاداب در نظر گرفته شدند. در شکل (۱)، چپ موقعیت نمونه‌برداری‌های میدانی از رویشگاه‌های جنگلی استان ارایه شده است. این نمونه‌برداری‌های تجربی طی فروردین تا آبان سال ۲۰۲۱ در ۲۰ سایت استان به‌صورت ماهانه انجام گرفت و مقادیر شاخص EVI برای این ۲۰ موقعیت از روی محصول MOD۱۳A۳ سنجنده مادیس تعیین گردید (علیرضایی و همکاران، ۱۳۹۸). میزان متوسط سبزیگی در ماه/ماه‌های اوج سبزیگی در مناطق نمونه‌برداری بر اساس شاخص EVI به‌دست آمد. در ادامه نقشه فضایی توزیع شاخص‌های سبزیگی ماهانه جنگل‌های بلوط استان بر اساس مقادیر آستانه به‌دست آمده در ماه خرداد (پیک سبزیگی) برای دوره مطالعه در محیط ArcGIS ساخته شده و مقادیر حداقل و حداکثر و متوسط آن در طول دوره مطالعه تعیین شد.

۲) پایگاه داده‌ای اطلاعات خشکسالی

شاخص خشکسالی استفاده شده در این مطالعه، شاخص شدت خشکسالی پالمر است. شاخص یاد شده به‌عنوان یکی از مهمترین و رایجترین شاخص‌های پایش و آشکارسازی خشکسالی شناخته شده است (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۴؛ زند و همکاران، ۱۴۰۰). این شاخص در اوایل دهه ۱۹۶۰ توسط پالمر^۱ به‌عنوان روشی استاندارد برای کمی کردن خشکسالی ارایه شد. پالمر با استفاده از متغیرهای بارش، دما و رطوبت قابل دسترس خاک و بر اساس یک مدل ترازمندی آب ساده

آن را فرمول‌بندی کرد (Klos et al., ۲۰۰۹). برای محاسبه آن ابتدا می‌بایست پارامترهای مرتبط با رطوبت خاک شامل شاخص تبخیر و تعرق، اتلاف رطوبت، تغذیه رطوبت و رواناب در حالت واقعی و پتانسیل برآورد شوند. اجزای شاخص و فرمول‌های به‌کار رفته در جدول (۱)، بخش ۲ توضیح داده شده‌اند (Palmer, ۱۹۶۵). پالمر مدل دو لایه‌ای خاک را به‌کار گرفت. محاسبه تبخیر و تعرق بالقوه از روش تورنت‌وایت^۲ برآورد گردید (Thorntwaite, ۱۹۴۸). مقادیر این مولفه‌ها ارتباط زیادی با ظرفیت نگهداری آب در دسترس^۳ دارند. محاسبه ظرفیت نگهداری آب در دسترس به بافت خاک بستگی دارد که مقادیر آن برای خاک‌های مختلف از جدول ارایه شده توسط سازمان حفاظت خاک امریکا به‌دست آمده است. این مقادیر با توجه به بافت خاک برگرفته از نقشه خاک‌شناسی سازمان زمین‌شناسی ایران با توجه به مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مشخص شده است (Klos et al., ۲۰۰۹). در کنار محاسبه مقادیر پتانسیل (PR, PRO, PL, PET) مقادیر واقعی آنها (L, RO, R, ET) نیز محاسبه می‌شوند. قواعد تعیین این ۴ مقدار واقعی بسیار پیچیده بوده و به رابطه بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل بستگی دارد. مقادیر این مولفه‌ها بر اساس اقلیم هر منطقه و به کمک ضرایب α , β , γ و δ که ضرایب «بیان آبی» نامیده می‌شوند و متوسط نسبت هر یک از مقادیر واقعی به مقادیر پتانسیل می‌باشند، تعیین می‌گردند. روابط در جدول (۲)، بخش ۲ موجود است. همچنین این ضرایب برای برآورد میزان تفاوت بارش واقعی هر ماه (P) و بارش فرضی (\hat{P}) می‌باشد. بارش فرضی مقداری از بارش است که بر اثر بیان ساده آب به‌دست می‌آید. مقدار آن تابع تبخیر و تعرق، رواناب و هر نوع تغییر در نگهداشت رطوبتی خاک است. برای محاسبه شاخص خشکسالی پالمر برای هر ماه شاخص ناهنجاری رطوبت (Z) در هر ماه محاسبه می‌گردد. برای این منظور پارامترهای K و D محاسبه می‌گردند. D، تغییرات رطوبت است که در مرحله قبل محاسبه شد و شاخص شدت خشکسالی پالمر برای هر ماه خاص (X_i) از معادله نهایی جدول (۲)، بخش ۲ به‌دست آمد (Palmer, ۱۹۶۵). بر اساس تعریف پالمر، دوره‌های خشک و تر به وسیله این شاخص به صورت جدول (۱) طبقه‌بندی می‌شوند (Palmer, ۱۹۶۵). همچنین داده‌های بارش

1 Palmer

2 Thornthwaite

3 AWC

بررسی تغییرات مکانی - زمانی سرسبزی جنگل‌های بلوط زاگرس در واکنش به خشکسالی/۱۳۵

استفاده شد. به منظور تحلیل مکانی- زمانی داده‌های خشکسالی ابتدا روند داده‌ها بررسی شد و نمودار سری زمانی آنها رسم گردید.

ماهانه ایستگاهی ۱۰ ایستگاه سینوپتیک استان کهگیلویه و بویراحمد برای دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ از سایت هواشناسی ایران^۱ استخراج گردید. در ادامه از روش درون‌یابی کری‌جینگ^۲ در محیط نرم‌افزار ArcGis برای تولید لایه بارش

جدول ۱. طبقه‌بندی شدت خشکسالی و ترسالی بر اساس شاخص پالمِر

| کد | طبقات | مقادیر شاخص |
|-------|---------------------|-------------|
| D_4 | خشکسالی خیلی شدید | کمتر از -۴ |
| D_3 | خشکسالی شدید | -۴ تا -۳ |
| D_2 | خشکسالی متوسط | -۳ تا -۲ |
| D_1 | خشکسالی ملایم | -۲ تا -۱ |
| N | خشکسالی نزدیک نرمال | -۱ تا +۱ |
| W_1 | ترسالی ملایم | +۱ تا +۲ |
| W_2 | ترسالی متوسط | +۲ تا +۳ |
| W_3 | ترسالی شدید | +۳ تا +۴ |
| W_4 | ترسالی خیلی شدید | بیشتر از +۴ |

جدول ۲. مشخصات شاخص‌های مورد استفاده در مطالعه و محاسبات اجزای فرمول‌ها

| منبع | پارامترها و توضیحات | فرمول | شاخص | ردیف |
|---------------------|---|---|------|------|
| Huete et al. (۲۰۰۲) | EVI: شاخص پوشش گیاهی بارزسازی شده P_{NIR} : بازتاب در ناحیه مادون قرمز نزدیک P_{RED} : بازتاب در ناحیه قرمز R_{BLUE} : بازتاب در باند آبی $C_2 = -7.5$ و $C_1 = -6$, $L = -1$ به ترتیب فاکتور تنظیم یا پس‌زمینه خاک، فاکتور مقاومت اتمسفر یا تصحیح اتمسفری می‌باشند. | $EVI = \left[\frac{P_{NIR} - P_{RED}}{P_{NIR} + C_1 R_{RED} - C_2 R_{BLUE} + 1} \right]_{1+L}$ | EVI | ۱ |
| Palmer (۱۹۶۵) | PET: تبخیر و تعرق پتانسیل ET: تبخیر و تعرق PR: نگهداشت رطوبت بالقوه یا پتانسیل تغذیه R: نگهداشت رطوبت یا تغذیه PRO: پتانسیل رواناب RO: رواناب L: اتلاف رطوبت PL: اتلاف رطوبت بالقوه AWC: میزان آب در دسترس Ss: محتوی رطوبت خاک سطحی Su: محتوی رطوبت لایه زیرین خاک ضرایب $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ که ضرایب بیلان آبی آ بیانگر ماه سال است. P: بارش واقعی هر ماه \hat{P} : بارش فرضی D: تغییرات رطوبت Z: شاخص ناهنجاری رطوبت D_i : مقادیر میانگین مطلق D برای ماه نام است. K_i : خصوصیات اقلیمی Z_i : شاخص ناهنجاری رطوبت هر ماه X_i : شاخص شدت خشکسالی پالمِر برای هر ماه خاص | PR= AWC - (Su + Ss) PRO= AWC- PR= Su + Ss PL= ((PET - Ss) × Su) / AWC+ Ss $\alpha_i = \frac{\overline{ET}_i}{\overline{PET}_i}$ $\beta_i = \frac{\overline{R}_i}{\overline{PR}_i}$ $\gamma_i = \frac{\overline{RO}_i}{\overline{PRO}_i}$ $\delta_i = \frac{\overline{L}_i}{\overline{PL}_i}$ $D = P - \hat{P}$ $\hat{P} = \alpha_i PE + \beta_i PR + \gamma_i PRO + \delta_i PL$ $Z = D \times K_i$ $K_i' = 1.5 \times \log_{10} \left[\frac{\overline{PET}_i + \overline{R}_i + \overline{RO}_i + 2.8}{\overline{P}_i + \overline{L}_i} \right] + 0.75$ $K_i = \frac{17.67 K_i'}{\sum_{j=1}^{12} \overline{D}_j \times K_j'}$ $X_i = 0.897 X_{i-1} + \frac{1}{3} Z_i$ | PDSI | ۲ |

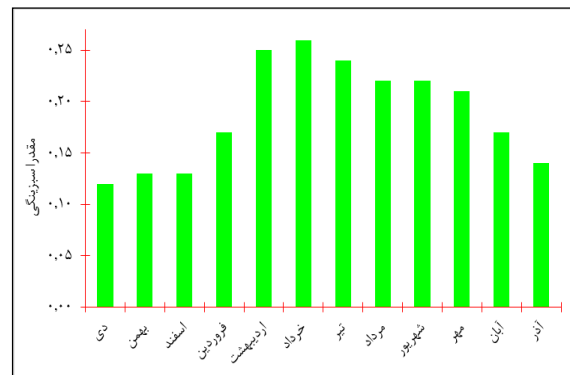
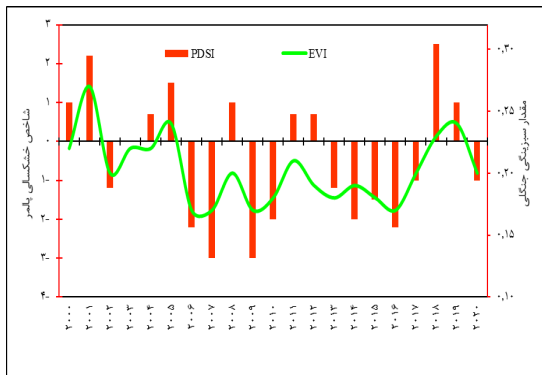
۳) آشکارسازی دینامیک سبزیگی جنگلی در پاسخ به تغییرات خشکسالی‌ها

جهت تعیین ارتباط منطقی بین متغیرهای شاخص خشکسالی و شاخص سبزیگی پهنه جنگلی استان از تحلیل همبستگی فضایی پیرسون در سطح احتمال ۰/۹۵^۱ استفاده شد (Ji & Peters, ۲۰۰۳). شاخص‌های EVI-Jun (مقدار شاخص EVI در ماه خرداد) به‌عنوان متغیر مستقل (x) و شاخص PDSI و بارش به‌عنوان متغیر وابسته (y) در دوره مطالعه در نظر گرفته شدند.

نتایج

بررسی تغییرات درون‌ساله میزان سبزیگی پوشش

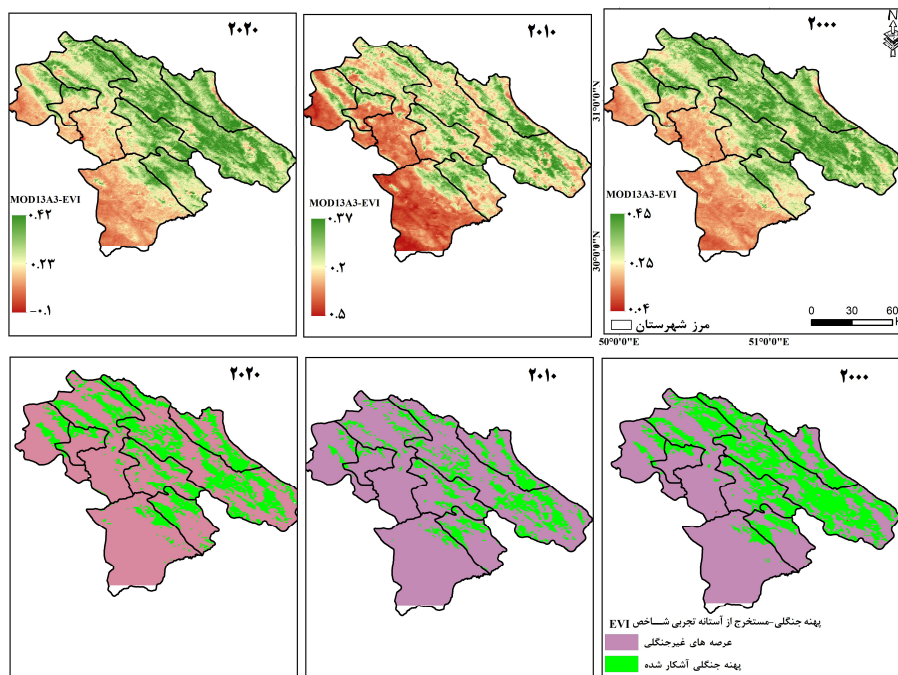
جنگلی استان کهگیلویه و بویراحمد در دوره ۲۰ ساله مطالعه با استفاده از شاخص پوشش گیاهی EVI به‌صورت ماهانه بیانگر آن بود که بیشترین میانگین فضایی سبزیگی در پوشش جنگلی استان در یک دوره ۳ ماه اردیبهشت، خرداد و تیر بوده و در ماه خرداد به پیک خود رسیده است. در ماه خرداد میانگین فضایی سبزیگی در سطح پوشش جنگلی استان بر اساس شاخص EVI به ۰/۲۶ رسیده است (شکل ۲ راست). این میانگین متوسط که می‌توان آن را آستانه سبزیگی درختان بلوط در ماه پیک سبزیگی یعنی ماه خرداد نامید، به‌طور متوسط $EVI > 0/2$ به‌دست آمد.



شکل ۲. راست: نوسان‌های متوسط ۲۰ ساله مقادیر EVI ماهانه؛ چپ: روند ۲۰ ساله میانگین فضایی EVI-Jun و MAM-PDSI

۳۰ درصدی مواجه شده است. در سال ۲۰۲۰، این روند کاهشی نسبت به سال ۲۰۱۰ تعدیل شده است، اما مجدداً مساحت پهنه جنگلی دارای آستانه سبزیگی نسبت به سال ۲۰۰۰ کمتر بوده است (شکل ۴). توزیع فضایی شاخص سبزیگی EVI ماه خرداد جنگل‌های بلوط استان در شکل (۳) ارایه شده است. بنابراین علی‌رغم نوسان‌های سالانه و دوره‌ای در میزان سبزیگی و مساحت پهنه جنگلی استان به‌طور کلی می‌توان اظهار داشت که میزان سبزیگی و مساحت پهنه‌های دارای سبزیگی جنگلی طی دوره ۲۰ ساله روند کاهشی داشته است. این کاهش سبزیگی و مساحت در تمام قسمت‌ها دیده شد ولی در قسمت‌های شمالی و مرکزی مشهودتر بوده است (شکل ۳).

کمترین مقدار شاخص EVI در سال ۲۰۰۶، ۲۰۰۷، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۶ و بیشترین آن در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۹ گزارش شد. اولین کاهش را در سال ۲۰۰۲ داشته، سپس روند افزایشی تا ۲۰۰۶ و سپس یک روند کاهنده تا ۲۰۱۶ داشته است (شکل ۲، چپ). نتایج این بررسی دوره‌ای نشان داد طی دوره ۲۰ ساله مورد بررسی هم از میزان شاخص سبزیگی جنگل‌های بلوط استان کم شده و هم مساحت جنگل‌های بلوط استان روند کاهشی توأم با نوسان داشته است. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد مساحت پهنه‌ای که در ماه ژوئن دارای آستانه سبزیگی آشکار شده بوده است، در سال ۲۰۰۰ بر اساس شاخص EVI برابر ۵۱۰۲ کیلومتر مربع بوده، درحالی‌که در سال ۲۰۱۰ این پهنه با یک کاهش قابل توجه

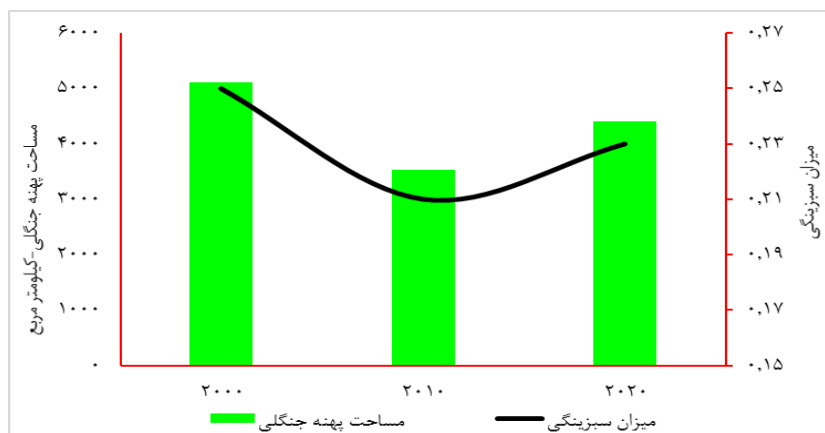


شکل ۳. تغییرات مناطق جنگلی بلوط با استفاده از آستانه تجزیه شاخص EVI در دوره مطالعه

اردیبهشت (دوره مارس، آوریل، می MAM) همبستگی فضایی معنی‌داری نشان داده است. بنابراین سبزیگی پیک ماه خرداد پهنه جنگلی استان حساسیت قابل توجهی به بارش دوره MAM دارد (جدول ۳). بر این اساس بارش دوره MAM، در واقع تعیین‌کننده اصل تغییرات سبزیگی ماه خرداد جنگل‌های بلوط استان است. ماتریس همبستگی اجرا شده بین میانگین فضایی سبزیگی جنگل‌های استان با شاخص خشکسالی بیانگر آن بود که بروز خشکسالی یا آنومالی بارش در بارش اواخر زمستان و اوایل بهار (MAM) می‌تواند به صورت معنی‌داری سبزیگی پهنه جنگلی استان را تحت تاثیر قرار دهد.

بررسی روند شاخص پالمر نشان داد سال‌های ۲۰۱۸، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۵ پرباران‌ترین سال‌ها و سال‌های ۲۰۰۹، ۲۰۰۷، ۲۰۰۶، ۲۰۰۲، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ خشک‌ترین سال‌ها را داشته‌اند. دو دوره خشکسالی عمده از ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ به جز در سال ۲۰۰۸ و دوره ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷ مشهود بوده است (شکل ۲، چپ).

نتایج حاصل از تحلیل همبستگی فضایی بین میزان سبزیگی ماه خرداد مربوط به شاخص EVI با توزیع فضایی درون‌سالی مقادیر بارش ماهانه بیانگر آن بود که به صورت کلی سبزیگی جنگل‌های استان با بارش یک دوره ۳ ماهه قبل و آغاز فصل رویش یعنی ماه‌های اسفند، فروردین و



شکل ۴. تغییر سطح جنگل بلوط با استفاده از آستانه تجزیه سبزیگی EVI

جدول ۳. همبستگی مکانی-زمانی بین آستانه شاخص EVI-JUN و میانگین بارندگی ماهانه ۲۰ ساله، شاخص PDSI

| ماه | همبستگی بارش ماهانه / EVI (R) | همبستگی شاخص پالمر ماهانه/ EVI (R) |
|----------|-------------------------------|------------------------------------|
| دی | ۰/۱۲ | ۰/۱۹ |
| بهمن | ۰/۲۶* | ۰/۲۷* |
| اسفند | ۰/۴۴* | ۰/۴۱* |
| فروردین | ۰/۴۳* | ۰/۳۸* |
| اردیبهشت | ۰/۴۲* | ۰/۳۵* |
| خرداد | ۰/۱۲ | ۰/۲۰ |
| تیر | ۰/۱۵ | ۰/۰۰ |
| مرداد | ۰/۰۷ | ۰/۰۰ |
| شهریور | ۰/۰۵ | ۰/۰۰ |
| مهر | ۰/۰۹ | ۰/۰۹ |
| آبان | ۰/۱۱ | ۰/۰۸ |
| آذر | ۰/۱۴ | ۰/۱۷ |

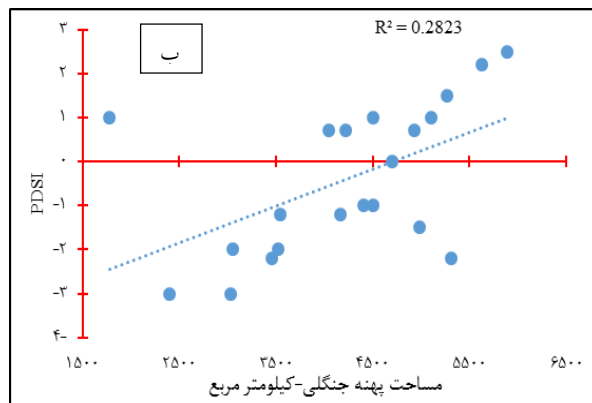
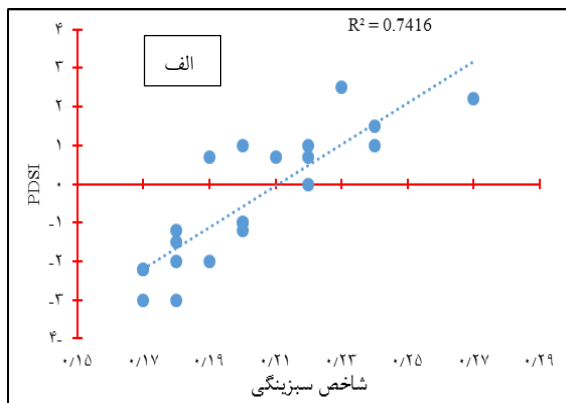
** معنی داری در سطح احتمال ۹۹ درصد، * معنی داری در سطح احتمال ۹۵ درصد

توانسته است ۰/۷۴ از تغییرات فضایی سبزینگی پهنه جنگلی استان را تبیین نماید (شکل ۵، الف). اپیزودهای خشکسالی در دوره MAM علاوه بر سبزینگی پهنه جنگلی، توانسته است مساحت پهنه‌های دارای سبزینگی جنگلی را نیز با شدت کمتری متاثر سازند (شکل ۵، ب).

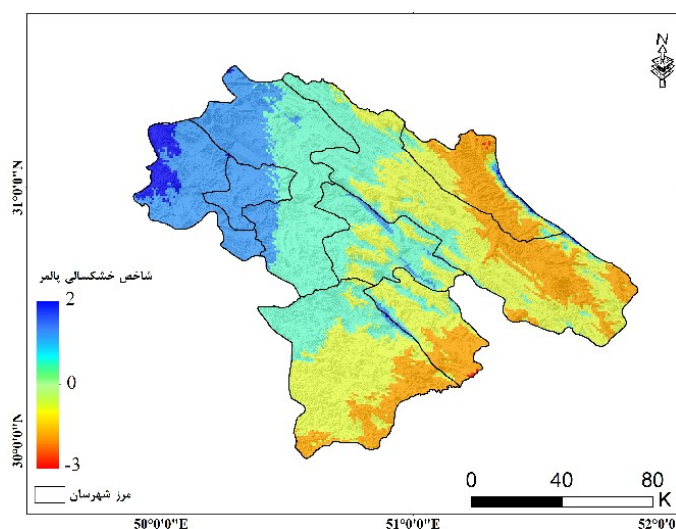
در انتها نتایج نشان داد میزان همبستگی و حساسیت بالایی بین سبزینگی جنگل‌های بلوط استان و آنومالی‌های بارشی دوره MAM، توسط دو شاخص PDSI و EVI وجود دارد. بنابراین شاخص خشکسالی پالمر (MAM-PDSI) که علاوه بر آنومالی بارش، آنومالی رطوبت خاک را نیز در بردارد، می‌تواند به صورت معنی داری دینامیک زمانی- مکانی شاخص سبزینگی پوشش گیاهی را در پهنه جنگلی استان کهگیلویه و بویراحمد تبیین کند. نقشه وضعیت خشکسالی بر اساس توزیع فضایی شاخص MAM-PDSI دوره مطالعه در شکل (۶) نشان داده شده است. خشکسالی‌های شدیدتر بیشتر در جنگل‌های قسمت شرقی و شمال شرقی استان دیده می‌شود. با توجه به اینکه رژیم بارشی استان تابع سیستم‌های بارش‌زای بادهای غربی است، بخش‌های غربی استان درگیر خشکسالی‌های خفیف‌تری شده، درحالی‌که به سمت شرق استان، رژیم ایران مرکزی حاکمیت می‌یابد و نفوذ و بارش زایی بادهای غربی کمرنگ‌تر می‌شود، بنابراین شرق استان عموماً درگیر خشکسالی‌های شدیدتری نسبت به غرب استان است.

در روندنگار ۲۰ ساله ۲ متغیره‌ای که مقایسه سری‌زمانی میانگین فضایی شاخص سبزینگی جنگل‌های استان را با میانگین شاخص خشکسالی (MAM-PDSI) نشان می‌دهد، مشاهده گردید که فازهای منفی این شاخص که به معنی خشکسالی است، کاملاً منطبق بر دوره‌های افت سبزینگی و فازهای مثبت این شاخص‌ها که بیانگر ترسالی است، انطباق دقیقی با دوره‌های افزایش سبزینگی دارد. دوره خشکسالی که از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ حاکم بوده است (به جز در سال ۲۰۰۸) و همچنین دوره ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷، سبزینگی جنگل‌های استان را به صورت قابل توجهی کاهش داده است، درحالی‌که در دوره‌هایی که ترسالی‌های نسبی حاکم بوده، به‌ویژه در ترسالی‌های سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۰۱ سبزینگی پیک پهنه جنگلی استان به صورت قابل توجهی افزایش پیدا کرده است. طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۰، تغییرات مساحت پهنه‌های جنگلی همبستگی مستقیمی با شاخص خشکسالی داشته است، به طوری‌که سال‌های با بارش نرمال یا ترسالی توام با گسترش پهنه‌های دارای پیک سبزینگی جنگلی بوده و سال‌های دارای خشکسالی یا آنومالی منفی بارش (به همراه تنش رطوبت خاک در شاخص خشکسالی پالمر) با کاهش مساحت در پهنه‌های جنگلی همراه بوده است (شکل ۲، چپ).

در اسکا ترپلات‌های شکل (۵) مشاهده شد که سبزینگی جنگل‌های بلوط بر اساس شاخص EVI، همبستگی معنی دار مستقیمی با شاخص خشکسالی PDSI دوره MAM نشان داده است. شاخص شدت خشکسالی پالمر در دوره MAM



شکل ۵. رابطه بین میانگین EVI-Jun و MAM-PDSI



شکل ۶. توزیع فضایی MAM-PDSI در دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۰

جنگل‌های سرسبز در تمام قسمت‌های استان به‌ویژه در قسمت‌های شمالی و مرکزی مشهودتر است. کاهش در سبزی‌نگی در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۶ با نوساناتی همراه بوده است. مطالعه عزیزی و همکاران (۱۳۹۴) در جنگل‌های استان ایلام در غرب ایران اوج سبزی‌نگی (NDVI/MODIS) را در ماه اردیبهشت گزارش نموده است. علیرضایی و همکاران (۱۳۹۸) نیز در استان لرستان آستانه $EVI > 0/4$ را به‌عنوان آستانه پوشش جنگلی به‌دست آورده‌اند. در همین مطالعه بیشترین کاهش قابل توجه سبزی‌نگی در سال ۲۰۰۵ و به میزان بیشتری در سال ۲۰۰۸ به همراه یک روند نزولی تا سال ۲۰۱۳ بوده است. کاهش در میزان سبزی‌نگی NDVI در مطالعه عزیزی و همکاران (۱۳۹۴) در

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی تغییرات میزان سبزی‌نگی پوشش جنگلی استان کهگیلویه و بویراحمد در دوره ۲۰ ساله مطالعه با استفاده از شاخص پوشش گیاهی EVI نشان داد بیشترین میانگین فضایی سبزی‌نگی در پوشش جنگلی استان، در دوره ۳ ماهه اردیبهشت، خرداد و تیر بوده که در ماه خرداد سبزی‌نگی جنگل به پیک خود رسیده است. مقادیر آستانه این شاخص در ماه پیک سبزی‌نگی یعنی ماه خرداد بزرگ‌تر از ۰/۲ بوده است. توزیع فضایی ۲۰ ساله شاخص سبزی‌نگی در ماه خرداد نشان داد هم از میزان سبزی‌نگی کاسته شده و هم مساحت جنگل‌های بلوط استان روند کاهشی (۱۵ درصد) توأم با نوسان داشته است. این کاهش میزان سبزی‌نگی و مساحت

جنگل‌های استان ایلام در غرب ایران طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ نیز گزارش شده است. بررسی سری‌های زمانی مقادیر سبزیگی NDVI جنگل‌های بلوط در استان لرستان طی دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۷ توسط زند و همکاران (۱۴۰۰) نشان داد اولین کاهش محسوس در سبزیگی NDVI در ۲۰۰۴ و در ادامه با شدت بیشتر در سال ۲۰۰۸ رخ داده و کاهش در سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ نیز قابل توجه بوده است.

نتایج حاصل از تحلیل همبستگی فضایی بین میزان سبزیگی شاخص سبزیگی با توزیع فضایی بارش و شاخص خشکسالی بیانگر آن بوده است که به صورت کلی آنومالی بارش دوره MAM (دوره ۳ ماهه قبل و آغاز فصل رویش یعنی ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت)، در واقع تعیین کننده اصلی تغییرات سبزیگی جنگل‌های بلوط است. شاخص خشکسالی نیز در همین دوره زمانی (اواخر زمستان و اوایل بهار) به صورت مشخص و معنی‌داری سبزیگی پهنه جنگلی استان را تحت تاثیر قرار داده است. فازهای منفی این شاخص که به معنی خشکسالی است، کاملاً منطبق بر دوره های افت سبزیگی و فازهای مثبت این شاخص که بیانگر ترسالی است، انطباق دقیقی با دوره‌های افزایش سبزیگی داشته‌اند. با رخداد خشکسالی‌های با شدت و بزرگی بیشتر مقدار سبزیگی درختان بلوط نیز کاهش پیدا کرده است و با کاهش شدت و تداوم خشکسالی مقدار سبزیگی جنگل‌های استان افزایش یافته است. به طوری که در سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۶ که بیشترین خشکسالی در استان بوده، سبزیگی و شادابی جنگل‌های استان نیز به شدت کاهش پیدا کرده است. از این رو می‌توان گفت که یکی از دلایل کاهش سبزیگی جنگل‌های استان تغییر در مقدار بارش و رخداد پدیده‌های حدی همچون خشکسالی است. در این تحقیق دیده شد که کاهش بارش و وقوع رخداد خشکسالی در اواخر زمستان (آغاز دوره رشد) و ادامه آن در فصل بهار (کاهش بارش در دوره رشد درختان جنگل) سبب تنش رطوبتی و افزایش تنش دمایی می‌شود و در نهایت سبب کاهش سبزیگی درختان جنگل‌های استان در ماه‌های دوره گرم سال می‌گردد، زیرا وقوع خشکسالی در ابتدای فصل رشد مانع از جوانه‌زنی گیاهان شده و تولید را کاهش می‌دهد (زند و همکاران، ۱۴۰۰؛ Zhou et al., ۲۰۱۸). پوشش گیاهی معمولاً در اوایل

فصل رشد پاسخ بیشتری به پارامتر بارش می‌دهد، به خصوص در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک، بارش در تابستان بسیار نادر است و این امر منجر به وابستگی زیاد پوشش گیاهی تابستانی به بارش بهاره می‌شود (Rahimzadeh Bajgiran et al., ۲۰۰۸). این موضوع در مطالعه Enriquez-de-Salamanca (۲۰۲۲) در جنگل‌های بلوط مدیترانه در اسپانیا، مطالعه Zhou (۲۰۲۲) و همکاران (۲۰۱۸) در چین و Gu و همکاران (۲۰۰۷) در آمریکا نیز دیده شده است.

در پژوهش زند و همکاران (۱۴۰۰) در جنگل‌های بلوط در استان لرستان، بیشترین میزان همبستگی بین رخداد خشکسالی SPI و NDVI منطقه با شروع دوره رشد جنگل‌ها از ماه مارس گزارش شده است. بیشینه تاثیرگذاری خشکسالی بر کاهش سبزیگی جنگل‌های بلوط این استان نیز مانند پژوهش حاضر در اواخر دوره سرد سال و فصل بهار می‌باشد. عزیزی و همکاران (۱۳۹۴) در جنگل‌های بلوط ایلام طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ دریافتند که بیشترین روند منفی بارش در مارس (همزمان با اوایل دوره رشد جنگل) مشاهده شده و یکی از عامل‌های اصلی خشکیدگی و کاهش سبزیگی در جنگل‌های این منطقه، کاهش معنی‌دار بارش و ایجاد تنش خشکی در مقیاس سالانه و به‌ویژه فصل رشد گزارش شده است. مطالعه‌های Touhami و همکاران (۲۰۲۰) و Gentilesca و همکاران (۲۰۱۷)، زوال جنگل‌های بلوط چوب پنبه (*Quercus suber L.*) در حوضه مدیترانه را تحت تاثیر شرایط خشکسالی شدید گزارش نموده‌اند. در این مطالعه شاخص PDSI در دوره MAM ضریب تبیین بالایی با شاخص EVI نشان داده است (۰/۷۴). علیرضایی و همکاران (۱۳۹۸) در جنگل‌های بلوط لرستان در غرب ایران همبستگی ۰/۶۸ شاخص EVI با شاخص SPI را گزارش نموده‌اند که به نتایج مطالعه حاضر نزدیک می‌باشد. شاخص PDSI علاوه بر در نظرگیری آنومالی‌های بارش، تغییرات در رطوبت خاک را نیز شامل می‌شود که این مسئله می‌تواند کارایی این شاخص را در تبیین تغییرات سبزیگی جنگل ارتقا دهد. Zhao و همکاران (۲۰۲۲) اظهار داشتند که با استفاده از PDSI به‌عنوان مرجع، می‌توان به‌طور موثر عملکرد هر شاخص خشکسالی دیگر را تایید نمود. تجزیه و تحلیل همبستگی شاخص‌های NDVI و SPI در دشت‌های آمریکا توسط Ji و Peters

بررسی تغییرات مکانی - زمانی سرسیزی جنگل‌های بلوط زاگرس در واکنش به خشکسالی/۱۴۱

پورهاشمی، م. و صادقی، م. (۱۳۹۹) مروری بر علل بوم‌شناختی پدیده زوال بلوط در جنگل‌های ایران. نشریه بوم‌شناسی جنگل‌های ایران، ۸(۱۶): ۱۶۴-۱۴۸.

زند، م.، میری، م.، رضیعی، ط. و نوروزی، ع. (۱۴۰۰) بررسی اثرات خشکسالی هواشناسی بر خشکیدگی جنگل‌های بلوط غرب ایران، مورد مطالعه جنگلهای استان لرستان. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۱۲(۴۶): ۱-۱۶.

شیراوند، ه.، خالدی، خ.، بهزادی، س. و شکری‌سنجایی، ح. (۱۳۹۹) پایش و ارزیابی تغییرات پوشش و زوال جنگل‌های بلوط در استان لرستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل BFAST. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۰(۵۷): ۲۶۵-۲۸۰.

طرح آمایش سرزمین استان کهگیلویه و بویراحمد. (۱۳۹۳) تحلیل وضعیت استان، منابع طبیعی و محیط زیست، شرکت مهندسی مشاور پایش سبز اندیش (SAP)، ۲۰۵ صفحه.

عزیزی، ق.، میری، م.، محمدی، ح. و پورهاشمی، م. (۱۳۹۴) واکاوی زوال جنگل‌های استان ایلام و ارتباط آن با تغییرات بارش. فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۳(۳): ۵۰۲-۵۱۵.

علیرضایی، ز.، گندمکار، ا.، خدافل، م. و عباسی، ع. (۱۳۹۸) آشکارسازی تاثیر خشکسالی بر پویایی زمانی- مکانی جنگل‌های بلوط زاگرس، نمونه موردی جنگل‌های بلوط لرستان. نشریه علمی تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران، ۱۷(۱): ۱۰۷-۱۲۳.

فرخزاده، ب.، منصوری، ش. و سپهری، ع. (۱۳۹۶) تعیین میزان همبستگی بین شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI و EVI با شاخص خشکسالی هواشناسی SPI، مطالعه موردی مراتع دشتی استان گلستان. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۵(۲): ۵۶-۶۵.

کرمان، م. و میرزایی، ج. (۱۳۹۹) مهم‌ترین عوامل موثر بر خشکیدگی بلوط ایرانی (*Quercus branti*) در استان ایلام. نشریه بوم‌شناسی جنگل‌های ایران، ۸(۱۵): ۹۳-۱۰۳.

میرموسوی، س.ح. و کریمی، ح. (۱۳۹۲) مطالعه اثر خشکسالی بر روی پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر

(۲۰۰۳) نشان داد بالاترین همبستگی بین NDVI و SPI سه ماه بوده است که نشان‌دهنده تاخیر و اثرات تجمعی بارش بر پوشش گیاهی است. بر خلاف مطالعه حاضر، بیشترین همبستگی در اواسط فصل رشد و مقادیر کمتر همبستگی در ابتدا و انتهای فصل رشد در بیشتر منطقه مشاهده شد. در دشت‌های بزرگ آمریکا در کانزاس، اوکلاهاما و تگزاس (Gu, 2005-2007) و همکاران (2007) دریافتند که مانند مطالعه حاضر رویداد خشکسالی بهاره به‌طور چشمگیری بر رشد پوشش گیاهی تاثیرگذار بوده است.

در نهایت ذکر این نکته لازم است که عوامل متعدد و متنوعی در پهنه جنگل‌های زاگرس محرک زوال و خشکیدگی جنگل‌های بلوط می‌باشند که دربرگیرنده عوامل طبیعی و انسانی هستند. از یک‌طرف فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی در زیراشکوب جنگلی، چرای دام، استفاده از چوب درختان برای ذغال، تبدیل زمین‌های جنگلی به اراضی کشاورزی و از طرف دیگر، عوامل طبیعی از قبیل آنومالی‌های بارش و دمای ناشی از تغییر اقلیم، مخاطراتی از قبیل گردوغبار و آفات و بیماری‌ها، آتش‌سوزی‌های عرصه‌های طبیعی، همگی از مولدهای عمده روند تخریب جنگل‌های زاگرس هستند.

در این تحقیق تنها اثر رخداد‌های خشکسالی مورد بررسی قرار گرفت و اثر سایر فاکتورها مورد توجه قرار نگرفت. روند به‌دست آمده در این تحقیق نشان داد در صورت تداوم وضعیت موجود در ۲۰ سال اخیر، خشکسالی‌های ناشی از تغییر اقلیم در آینده می‌تواند پهنه جنگلی بلوط را نه تنها کاهش دهد، بلکه از میزان شادابی و سبزیگی آن نیز بکاهد. اما اگر روند عوامل مدیریتی و محافظتی در عرصه‌های جنگلی استان بهبود پیدا کند، می‌توان گفت شاید تا حدودی خسارات ناشی از خشکسالی در عرصه‌های جنگلی استان کاهش می‌یابد.

منابع

احمدی، م. و رستمی، ع. (۱۳۹۹) بررسی ارتباط خشکیدگی درختان بلوط ایرانی با ساختار توده، عوامل فیزیوگرافی و خاک، مطالعه موردی جنگل‌های میان تنگ ایلام. مجله تحقیقات منابع طبیعی تجدیدشونده. ۲(پیاپی ۳۴): ۱۶۷-۱۵۵.

- during ۱۹۶۶-۲۰۱۵. *Science of the Total Environment*, ۶۲۴(۲۰۱۸): ۱۵۲۳-۱۵۳۸.
- Hosseini, A., Hosseini, S.M. and Calderón, J.C.L. (۲۰۱۷) Site factors and stand conditions associated with Persian oak decline in Zagros mountain forests. *Forest Systems Journal*, ۲۶(۳): e۰۱۴, ۱۳.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X. and Ferreira, L.G. (۲۰۰۲) Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, ۸۳(۱-۲): ۱۹۵-۲۱۳.
- Ji, L. and Peters, A.J. (۲۰۰۳) Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices. *Remote Sensing of Environment*, ۸۷(۱): ۸۵-۹۸.
- Klos, R.J., Wang, G.G., Bauerle, W.L. and Rieck, J.R. (۲۰۰۹) Drought impact on forest growth and mortality in the southeast USA: An analysis using forest health and monitoring data. *Ecological Applications Journal*, ۱۹(۳): ۶۹۹-۷۰۸.
- Palmer, W.C. (۱۹۶۵) *Meteorological Drought*. vol. ۳۰. US Department of Commerce, Weather Bureau Washington, DC, USA, U.S., ۵۸p.
- Rahimzadeh Bajgiran, P.R., Darvishsefat, A.A., Khalili, A. and Makhdoum, M.F. (۲۰۰۸) Using AVHRR-based vegetation indices for drought monitoring in the Northwest of Iran. *Journal of Arid Environments*, ۷۲(۶): ۱۰۸۶-۱۰۹۶.
- Thornthwaite, C.W. (۱۹۴۸) An approach to a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1): 85-94.
- Touhami, I., Chirino, E., Aouinti, H., El Khorchani, A., Elaieb, M.T., Khaldi, A. and Nasr, Z. (۲۰۲۰) Decline and dieback of cork oak (*Quercus suber* L.) forests in the Mediterranean basin: A case study of Kroumirie, Northwest Tunisia. *Journal of Forestry Research*, ۳۱(۵): ۱۴۶۱-۱۴۷۷.
- Zhang, Q., Shao, M.A., Jia, X. and Wei, X. (۲۰۱۷) Relationship of climatic and forest factors to drought-and heat-induced tree mortality. *PLoS One*, 12(1): e0169770.
- Zhao, X., Xia, H., Liu, B. and Jiao, W. (۲۰۲۲) Spatiotemporal comparison of drought in Shaanxi-Gansu-Ningxia from ۲۰۰۳ to ۲۰۲۰ using various drought indices in Google Earth Engine. *Remote Sensing*, ۱۴(۷): ۱۵۷۰.
- Zhou, L., Wang, S., Chi, Y. and Wang, J. (۲۰۱۸) Drought impacts on vegetation indices and productivity of terrestrial ecosystems in southwestern China during ۲۰۰۱-۲۰۱۲. *Chinese Geographical Science*, ۲۸(۵): ۷۸۴-۷۹۶.
- سنجنده MODIS، مورد استان کردستان. نشریه جغرافیا و توسعه، ۱۱(۳۱): ۵۷-۷۶.
- ناصرزاده، م. و احمدی، ا. (۱۳۹۱) بررسی عملکرد شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در ارزیابی خشکسالی و پهنه‌بندی آن در استان قزوین. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۲(۲۷): ۹۰-۱۶۲.
- Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D.D., Hogg, E.T. and Gonzalez, P. (۲۰۱۰) A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, ۲۵۹(۴): ۶۶۰-۶۸۴.
- Attarod, P., Sadeghi, S.M.M., Pypker, T.G. and Bayramzadeh, V. (۲۰۱۷) Oak trees decline: A sign of climate variability impacts in the west of Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, ۱۵(۴): 373-384.
- Enriquez-de-Salamanca, Á. (۲۰۲۲) Effects of climate change on forest regeneration in central Spain. *Atmosphere Journal*, ۱۳(۷): ۱۱۴۳-۱۱۴۳.
- Filizzola, C., Carlucci, M.A., Genzano, N., Ciancia, E., Lisi, M., Pergola, N., Ripullone, F. and Tramutoli, V. (۲۰۲۲) Robust satellite-based identification and monitoring of forests having undergone climate-change-related stress. *Land Journal*, ۱۱(۶): ۸۲۵-۸۲۵.
- Gentilesca, T., Camarero, J.J., Colangelo, M., Nole, A. and Ripullone, F. (۲۰۱۷) Drought-induced oak decline in the western Mediterranean region: an overview on current evidences, mechanisms and management options to improve forest resilience. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, ۱۰(۵): ۷۹۶-796.
- Ghanbari Motlagh, M., Amraei, B. and Halimi, M. (۲۰۲۰) Evaluating the hazardous potential of the dieback of the Zagros Oak forests using the multi-criteria decision-making methods. *Arabian Journal Geosciences*, ۱۳(۹۹۵): ۹۹۵-۹۹۵.
- Gu, Y., Brown, J.F., Verdin, J.P. and Wardlow, B. (۲۰۰۷) A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central great plains of the United States. *Geophysical Research Letters*, ۳۴(۶): ۱-۶.
- Gulácsi, A. and Kovács, F. (۲۰۱۸) Drought monitoring of forest vegetation using MODIS-based normalized difference drought index in Hungary. *Hungarian Geographical Bulletin*, ۶۷(۱): ۲۹-۴۲.
- Guo, H., Bao, A., Liu, T., Ndayisaba, F., Jiang, L., Kurban, A. and De Maeyer, P. (۲۰۱۸) Spatial and temporal characteristics of droughts in Central Asia

Investigating spatiotemporal changes in greenness of Zagros Oak forests in response to drought

Mohadeseh Ghanbari Motlagh^{1*}, Masoud Kiadaliri² and Mansour Halimi³

1) Ph.D. of Forestry, Department of Environment and Forest Sciences, Faculty of Natural resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

*Corresponding Author Email Address: mohadeseh.motlagh@gmail.com

2) Assistant Professor, Department of Environment, Tonekabon Branch, Islamic Azad University, Tonekabon, Iran.

3) Ph.D. of Climatology, Department of Climatology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Date of Submission: ۲۰۲۳/۰۱/۰۷

Date of Acceptance: ۲۰۲۳/۰۳/۰۶

Abstract

Climate changes in Iran, which have mainly manifested in the form of intensifying periods of drought and increasing temperature, can have profound effects on the forest ecosystems of Zagros in the west of Iran. In this study, the drought trend (with PDSI index) and its effects on the spatial-temporal dynamics of EVI greenness index from MODIS sensor were investigated through correlational relationship in the statistical period from ۲۰۰۰ to ۲۰۲۰ in Zagros oak forests in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province. To determine the greenness index threshold value, sampling at ۲۰ points in the forests of the province and EVI index values in these areas were used. The results showed that the greenness threshold value of EVI in these forests was at the maximum level in June. The greenness index value and the area of the oak forests of the province have decreased during the study period. The peak greenness of the oak forests of the province had a significant sensitivity to changes in rainfall and drought at the end of the cold period of the year and in the spring season. The negative phases of the drought indices have been completely consistent with the periods of greenness loss. The EVI, as an index of forest greenness, has shown a high sensitivity to the PDSI drought index. The PDSI index has also been able to explain ۰/۷۴ of the spatial changes of EVI in the three months of April, May, and June.

Keywords: Correlation, EVI, Palmer index, Remote sensing, Spatiotemporal dynamic.