

ارزیابی اثر خشکسالی هواشناسی بر پویایی پوشش گیاهی در ایران

سمانه باقری^۱، اسماعیل حیدری علمدارلو^۲، حسن خسروی^{۳*} و اعظم ابوحسنی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۰ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۰۲/۰۸

چکیده

پدیده خشکسالی به عنوان یک بحران اکوسیستمی می‌تواند بر تراکم و سلامت پوشش گیاهی اثرگذار باشد. کشور ایران با اقلیمی خشک و نیمه‌خشک در معرض این پدیده قرار دارد. بنابراین ارزیابی اثر خشکسالی بر پوشش گیاهی امری ضروری می‌باشد. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی اثر خشکسالی هواشناسی بر پویایی پوشش گیاهی در ایران است. در این راستا ابتدا با استفاده از نرم‌افزار MATLAB، شاخص SPEI با مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه برای ۹۹ ایستگاه هواشناسی در کل ایران با طول آماری ۳۰ ساله محاسبه و در نرم‌افزار ArcGIS با روش IDW پهنه‌بندی شد. در مرحله بعد بیشترین مقدار شاخص EVI در ماه، برای بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹ از محصول MOD13Q1 سنجنده MODIS به دست آمد. سپس با استفاده از نرم‌افزار Terrset، همبستگی و شیب تغییرات شاخص EVI بر اساس تغییرات شاخص SPEI محاسبه شد. نتایج نشان داد به ترتیب در ۱۸/۴۶، ۲۲/۶۳، ۳۰/۷۷ و ۲۸/۱۴ درصد از کل مساحت ایران، SPEI ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه بیشترین میزان همبستگی با پوشش گیاهی را دارد. نتایج آنالیز رگرسیون خطی حاکی از آن بود که در دشت لوت و ارتفاعات رشته‌کوه البرز و زاگرس، حساسیت پوشش گیاهی به خشکسالی هواشناسی بسیار کم‌تر است و شیب خط اثر منفی بوده است. در حالی که نواحی مرکزی، جنوب غرب، جنوب شرق و سواحل خلیج فارس دارای شیب خط اثر مثبت بوده و پوشش گیاهی نسبت به خشکسالی هواشناسی، حساسیت بسیار زیادی از خود نشان داده است. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت که شرایط اقلیمی، توپوگرافی، نوع پوشش گیاهی، موقعیت جغرافیایی و مدیریت انسان در تعیین ارتباط بین دو شاخص پوشش گیاهی و خشکسالی تاثیرگذار است. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده با موضوع ارزیابی اثر نوسان اقلیم بر پوشش گیاهی عواملی مثل توپوگرافی، کاربری اراضی و ... نیز در مدل‌سازی در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: SPEI، EVI، همبستگی پیرسون، شیب رگرسیون خطی، MOD13Q1.

^۱ - کارشناس ارشد مدیریت و کنترل بیابان، گروه احیا و مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

^۲ - دکتری بیابان‌زدایی، گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

^۳ - دانشیار گروه احیا و مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

* نویسنده مسئول: hakhosravi@ut.ac.ir

^۴ - دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، گروه احیا و مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

مقدمه

پدیده خشکسالی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، به‌عنوان یک فاجعه محسوب می‌شود (۲). خشکسالی یک وضعیت اقلیمی پر اهمیت است که بخش وسیعی از جهان را تحت تاثیر قرار داده است (۳۵). که می‌توان علت اصلی وقوع آن را، کاهش میزان بارش در یک بازه زمانی مانند یک فصل یا یک سال به شمار آورد (۳۱) و (۳۴). از آن جایی که این پدیده ماهیتی آرام و خزنده دارد، تشخیص دقیق شروع و پایان آن بسیار دشوار است (۳۰). این پدیده به تدریج و در یک بازه زمانی نسبتاً طولانی عمل می‌کند، بطوری که اثرات آن پس از گذشت چند سال ظاهر می‌شود. در نتیجه این مسئله اهمیت ارزیابی پدیده خشکسالی را نمایان می‌کند (۱۵). در صورتی که این پدیده در مدت زمان طولانی ادامه یابد می‌تواند خساراتی را به بخش‌های کشاورزی، زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی وارد سازد (۴۰).

پوشش گیاهی طبیعی یکی از مهم‌ترین عوامل سلامت اکوسیستم است و برنامه‌ریزی منابع محیطی و اراضی، به شدت تحت تاثیر خشکسالی می‌باشد. بنابراین، مدیریت خشکسالی برای توسعه پایدار ضروری است (۹). وقایع طولانی مدت خشکسالی تأثیرات خطرناکی بر روی پوشش گیاهی دارد (۳۸). خشکسالی می‌تواند تأثیرات معنی‌داری بر روی تولید، ترکیب، ساختار و پویایی گیاهان داشته باشد (۲۲). همچنین می‌تواند به عنوان یک عامل مهم، کیفیت و کمیت پوشش گیاهی را تغییر دهد و باعث کاهش پوشش گیاهی شود. این پدیده می‌تواند تراکم پوشش گیاهی را در هر منطقه به‌ویژه مناطق خشک بطور قابل ملاحظه‌ای تحت تاثیر قرار دهد (۲۵). بنابراین اطلاع داشتن از شدت، طول مدت و مکان تحت پوشش پدیده خشکسالی می‌تواند آسیب‌های ناشی از آن را کاهش دهد (۲۹).

در حال حاضر می‌توان میزان کاهش در پوشش گیاهی را با استفاده از تکنیک سنجش از دور تحلیل و بررسی نمود (۲۴). امروزه تصاویر ماهواره‌ای به طور منظم و با دقت تفکیک مکانی بالا، از سطح زمین تهیه می‌شوند و می‌توانند گستردگی فضایی و شرایط منظمی را فراهم کنند (۳۶). تحقیقات گوناگونی در زمینه ارزیابی اثر خشکسالی

هواشناسی بر پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های سنجش از دور انجام شده است که در ادامه به آن‌ها اشاره خواهد شد.

طی پژوهشی در دشت سیستان میزان حساسیت دو شاخص NDVI و EVI نسبت به خشکسالی در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۰۰ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد، شاخص EVI در مقایسه با NDVI در مناطقی که از پوشش گیاهی کم برخوردارند، مناسب‌تر است (۱۶). طی مطالعه‌ای در حوضه غرب تالاب جازمورین، شاخص خشکسالی با استفاده از شاخص NDVI مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود که بیشترین میزان همبستگی بین دو شاخص SPI و NDVI در ایستگاه‌های میانه و دشت کوچ وجود دارد؛ درحالی‌که کمترین همبستگی مربوط به ایستگاه‌های فتح‌آباد اسفندقه، کهنک شیبانی، کراد دلفارد، قلعه ریگی و تنگ سرگز می‌باشد (۱۳). طی پژوهشی در مناطق نیمه‌خشک آفریقای شرقی در بازه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۰، جهت بررسی پویایی پوشش گیاهی در پاسخ به تغییرات آب و هوایی و خشکسالی، از شاخص‌های VHI، SPI و NDVI استفاده شد. نتایج نشان داد، کاهش میزان بارش در راستای تغییرات آب و هوایی باعث افزایش خشکسالی و کاهش تراکم پوشش گیاهی شده است (۲۸). طی مطالعه‌ای در شمال شرق چین در بازه زمانی ۲۰۱۵-۱۹۸۲، جهت ارزیابی کمی اثر خشکسالی بر پوشش گیاهی از شاخص SPEI و NDVI استفاده شد. نتایج نشان داد که اثر تغییر اقلیم بر پوشش گیاهی در سال‌های خشکسالی، ۰/۳۵ درصد بیشتر از کل بازه زمانی مورد نظر است (۲۳).

طی پژوهشی در دشت میقان اراک در بازه زمانی ۲۰۱۷-۱۹۹۷، از شاخص SPI و NDVI جهت بررسی اثر خشکسالی بر تخریب پوشش گیاهی استفاده شد. نتایج نشان داد حساسیت مراتع فقیر به پدیده خشکسالی بیشتر از مراتع کشاورزی است. زیرا مهم‌ترین منبع تأمین آب برای مراتع طبیعی، بارش جوی است که در سال‌های اخیر به دلیل وقوع خشکسالی کاهش یافته است (۱۲). طی پژوهشی در چین در بازه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۰ جهت بررسی تاثیر خشکسالی بر فنولوژی گیاهی، از شاخص SPEI و EVI استفاده شد. نتایج حاکی از آن بود که سال‌های ۲۰۱۱ و

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه

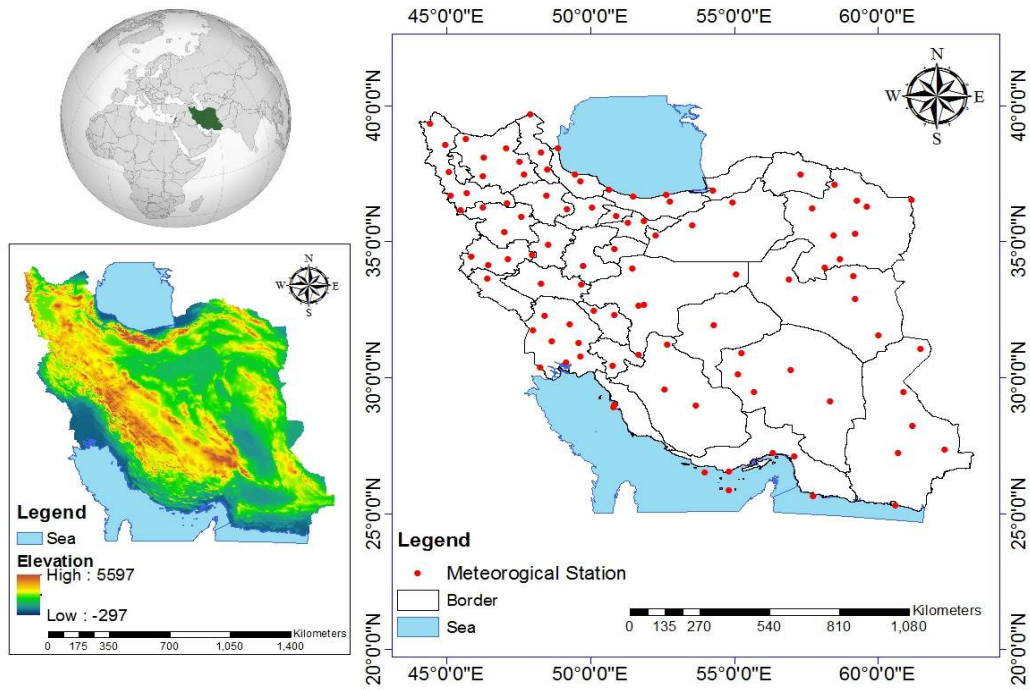
کشور ایران با وسعت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع، بین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۳ درجه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). مجاورت ایران با منطقه نزول پرفشارهای جنب مداری باعث شده که نوار بیابانی نیمکره شمالی از قلب این کشور عبور کند و شرایط نامساعد طبیعی را بر وسعت زیادی از این سرزمین حکم‌فرما سازد. در ایران به دلیل وجود رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس اقلیم بسیار متنوعی وجود دارد (۳۲). بیشترین تنوع گیاهی مربوط به شمال رشته‌کوه البرز تا سواحل دریای خزر است و در مقابل، کمترین تنوع گیاهی در قسمت جنوبی ایران که یک منطقه مسطح می‌باشد، واقع شده است. به طور کلی می‌توان دو عامل توپوگرافی و عوامل محیطی را به عنوان عوامل تاثیرگذار بر توزیع و غنای گیاهان ایران دانست که نقش مهمی در تنوع‌زیستی این کشور دارند (۱۸). در این تحقیق برای بررسی اثر خشکسالی هواشناسی بر خشکسالی کشاورزی در اقلیم مختلف از نقشه طبقه‌بندی اقلیمی استفاده شده است (شکل ۱) که بر پایه نقشه اقلیمی تهیه شده در سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری ایران (<http://www.frw.org.ir/00/En/default.aspx>) است. با این تفاوت که بعضی از کلاس‌های آن برای رسیدن به نتیجه بهتر با هم ادغام شده اند.

روش بررسی

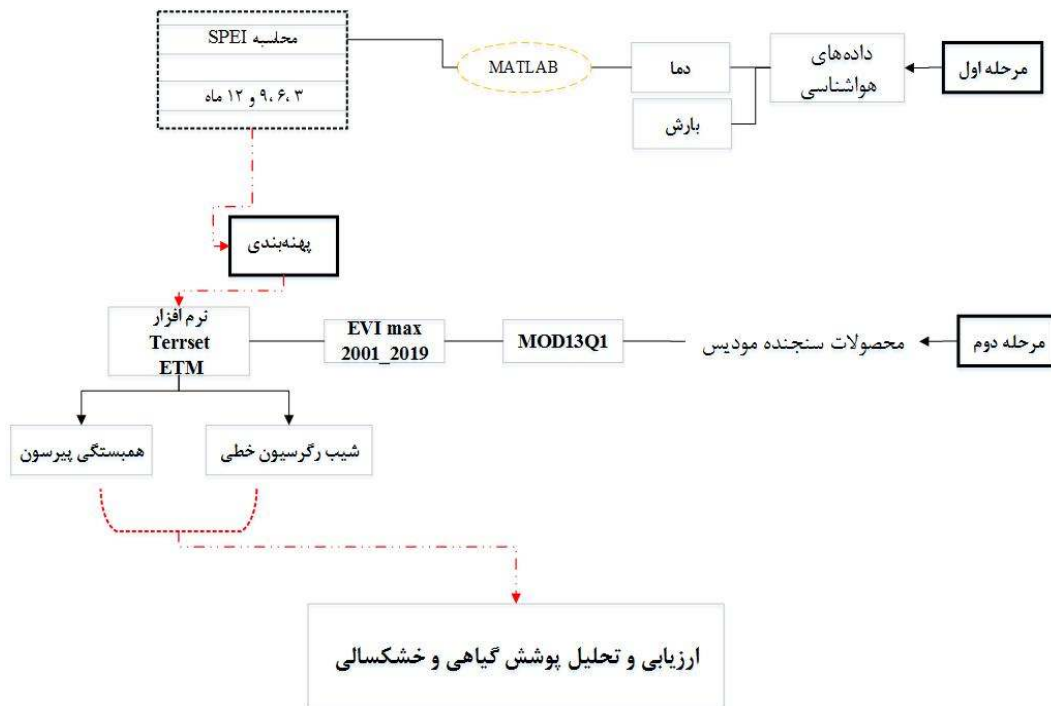
همان‌طور که گفته شد، هدف از این پژوهش ارزیابی ارتباط بین خشکسالی هواشناسی و پوشش گیاهی است. شکل (۲) نمای کلی از روش تحقیق را نشان می‌دهد.

۲۰۱۶ به ترتیب خشک‌ترین و مرطوب‌ترین سال در بازه زمانی مورد نظر بوده است و تغییرات سریع در فنولوژی و بهره‌وری پوشش گیاهی بین سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۶ مشاهده شد (۲۱). طی پژوهشی در خراسان رضوی در بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۰۱، به منظور بررسی اثر خشکسالی بر پوشش گیاهی از شاخص SPI و NDVI استفاده شد. نتایج نشان داد که شاخص SPI توانست ۰/۷۸ درصد از تغییرات NDVI را برآورد سازد و به ازای یک واحد تغییر در شاخص بارش استاندارد شده، NDVI به میزان ۰/۰۲۴ درصد تغییر می‌پذیرد (۱۰).

از جمله روش‌های مرسوم جهت بررسی پدیده خشکسالی، استفاده از شاخص‌های هواشناسی است. اقلیم، به عنوان مهم‌ترین عامل جهت تغییرات پوشش گیاهی طبیعی در یک منطقه محسوب می‌شود. از این‌رو ارزیابی اثر نوسانات اقلیمی که عموماً با شاخص‌های ارزیابی خشکسالی هواشناسی صورت می‌گیرد، می‌تواند در راستای مدیریت، حفظ و احیای پوشش گیاهی ایران نقش شایانی داشته باشد. با توجه به مطالب گفته شده می‌توان با استفاده از تکنیک سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای، اثر خشکسالی بر عملکرد، تراکم و پویایی پوشش گیاهی را مورد ارزیابی قرار داد و به نتایج دقیق و گسترده‌ای در پیرامون این موضوع رسید. از آنجایی که در کل کشور ایران تحقیق جامعی در این راستا انجام نشده است؛ در نتیجه هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی اثر خشکسالی هواشناسی بر پوشش گیاهی در کل کشور ایران می‌باشد.



شکل ۱: نمایی از منطقه مورد مطالعه



شکل ۲: نمای کلی از روش تحقیق

محاسبه شاخص SPEI

معادله (۱)

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^\beta \right]^{-1}$$

در این معادله N_m ضریب تصحیحی است که بر مبنای ماه مورد نظر و عرض جغرافیایی منطقه مورد مطالعه تعیین می‌شود. T_m میانگین دمای ماه مورد نظر بر حسب درجه سانتی‌گراد، I شاخص حرارتی که برای کل سال محاسبه می‌شود و a که بر مبنای I محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از معادله (۲) کمبود یا مازاد آب ماهانه و در گام بعدی $X_{i,j}^k$ از معادله (۳) محاسبه شد. لازم به ذکر است که در این معادلات i سال مورد نظر، j ماه مورد نظر و k مقیاس زمانی می‌باشد. در این تحقیق SPEI در مقیاس زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه محاسبه شد ($k=12$).

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^\beta \right]^{-1}$$

$$X_{i,j}^k = \begin{cases} \sum_{l=13-k+j}^{12} D_{i-1,l} + \sum_{l=1}^j D_{i,j} & \text{if } j < k \\ \sum_{l=j-k+1}^j D_{i,j} & \text{if } j \geq k \end{cases}$$

SPEI یک شاخص مناسب برای پایش و ارزیابی شدت خشکسالی‌ها در شرایط روند افزایش دمای کره زمین می‌باشد (۴۴ و ۴۵). این شاخص همراه با شاخص SPI در National Drought Mitigation Centre and NASA در آمریکا و European Drought Centre (EDC) در اروپا برای هشدار اولیه خشکسالی استفاده می‌شود. برای محاسبه این شاخص از داده‌های بارش و دمای ۹۹ ایستگاه هواشناسی (شکل ۱) در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ به صورت ماهانه استفاده شد. SPEI با استفاده از دو پارامتر بارش (P) و تبخیر تعرق پتانسیل (PET) محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است که مقادیر شاخص SPEI به روش برآورد تبخیر تعرق ارتباطی ندارد (۴۲). در این مطالعه برای برآورد تبخیر تعرق پتانسیل از معادله تورنت وایت^۱ (۱۹۴۸) استفاده شد.

معادله (۲)

معادله (۳)

کردن سری D برای تعیین شاخص SPEI می‌باشد. تابع چگالی احتمال توزیع سه پارامتری log-logistic به صورت معادله (۴) می‌باشد.

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left[1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^\beta \right]^{-2}$$

ویسنت فرانو^۲ (۲۰۱۰) توزیع‌های سازگار با سری مشاهدات D را مورد بررسی و آزمون قرار دادند و نتیجه گرفتند که توزیع سه پارامتری لوگ-لجیستیک مناسب‌ترین توزیع سازگار با آن است و انتخاب مناسبی جهت استاندارد

معادله (۴)

مطمئن‌تر و ساده‌ترین روش است (۱). وقتی گشتاورها محاسبه شدند، پارامترهای توزیع لگ-لجیستیک با استفاده از روابط پیشنهادی سینگ^۳ و همکاران (۱۹۹۳) تخمین زده می‌شود. معادله (۵) تابع توزیع احتمالی سری D با توجه به توزیع log-logistic را نشان می‌دهد.

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^\beta \right]^{-1}$$

معادله (۵)

در معادله (۴) α ، β و γ به ترتیب پارامترهای مقیاسی، شکلی و مرزی برای مقادیر D در بازه $-\infty < D < \infty$ هستند. این پارامترها را می‌توان با استفاده از روش‌های مختلف از روی مشاهدات برآورد نمود. از میان آن‌ها روش گشتاورها

3- Singh

1- Thornthwaite

2- Vicente-Serrano

در نهایت بر مبنای تابع $F(x)$ ، SPEI با استفاده از معادله (۶) محاسبه می‌شود.

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1w + d_2w^2 + d_3w^3} \quad \text{معادله (۶)}$$

استفاده از روش Inverse Distance Weighted (IDW) نقشه‌های شدت خشکسالی به دست آمد.

شاخص EVI

در مناطق با پوشش گیاهی غیر متراکم، ترکیب پیچیده نوع خاک، آثار جوی و پوشش گیاهی، امکان استخراج اطلاعات قابل اعتماد را از داده‌های ماهواره‌ای کاهش می‌دهد. بنابراین همواره تلاش شده تا شاخص‌های پوشش گیاهی که قادرند آثار ناخواسته عواملی مانند خاک زمینه را کاهش دهند، ارائه شود. هیوت^۱ و همکاران (۱۹۹۹) شاخص پوشش گیاهی EVI را برای استفاده در داده‌های MODIS پیشنهاد کرده‌اند که در معادله (۷) الگوریتم باندی برای محاسبه آن ارائه شده است.

$$EVI = \frac{NIR - R}{NIR + C1 \times R - C2 \times B + L} (1 + L) \quad \text{معادله (۷)}$$

سنجده مودیس با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر و تفکیک زمانی ۱۶ روز از ابتدای ۲۰۰۱ تا انتهای ۲۰۱۹ استفاده شد. در مرحله بعد بیشترین مقدار EVI هر ماه محاسبه شد.

آنالیز همبستگی بین SPEI چند مقیاس با EVI

در این مرحله با استفاده از رابطه همبستگی پیرسون لی و نایس‌واندر^۲ (۱۹۸۸)، که در زیر آمده، همبستگی بین نقشه‌های SPEI ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه و بیشترین مقدار EVI هر ماه در نرم‌افزار Earth Trend Modeler (ETM) نرم‌افزار TerrSet محاسبه شد.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad \text{معادله (۸)}$$

و نقشه میانگین شاخص SPEI ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه دوره مطالعاتی و \bar{y}_i و \bar{y} به ترتیب نقشه EVI همان سال و میانگین

در معادله (۶) $C_0 = 2.515517$ ، $C_1 = 0.802853$ ، $C_2 = 0.010328$ و $d_2 = 0.189269$ ، $d_1 = 1.432788$ ، $d_3 = 0.001308$ همچنین در این معادله $W = \sqrt{-2 \ln P}$ اگر $P > 0.5$ اما اگر $P = 1 - F(x) \leq 0.5$ باشد P با $1 - P$ جایگزین می‌شود و علامت SPEI قرینه می‌شود. تمامی محاسبات SPEI ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه در نرم‌افزار MATLAB کدنویسی و برای ۹۹ ایستگاه هواشناسی انجام شد. لازم به ذکر است که SPEI دارای مقادیر مثبت و منفی می‌باشد که هر چه این مقدار منفی‌تر باشد نشان دهنده خشکسالی با شدت بیشتر است. بعد از محاسبه شاخص SPEI در مقیاس ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه برای هر ۹۹ ایستگاه هواشناسی، با

در این معادله NIR، بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک، R بازتاب در باند قرمز، B بازتاب در باند آبی، L برابر ۱، C1 برابر ۶ و C2 برابر ۷/۵ می‌باشد. از مزایای این شاخص این است که با پیشرفت بوسیله‌ی بازتاب باند آبی در محدوده LAI (شاخص سطح برگ)، اثرات خاک پس زمینه را تصحیح می‌کند و از اثرات اتمسفر و پخش آبروسل می‌کاهد (۲۷). در واقع EVI یک NDVI تغییر یافته است که در آن فاکتور تنظیم خاک (L) و دو ضریب C1 و C2 لحاظ می‌گردد. این روش حساسیت به نواحی پوشش گیاهی را افزایش و کاهش آثار جوی را موجب می‌شود (۲۰). در این پژوهش از EVI به دست آمده از محصول MOD13Q1

در این معادله r نقشه ضریب همبستگی پیرسون، x_i و \bar{x} به ترتیب نقشه SPEI ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه مورد نظر

²- Lee Rodgers & Nicewander

¹- Huete

به عبارت دیگر SPEI ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه، متغیر مستقل و EVI متغیر وابسته می‌باشد.

جدول ۱: کلاس بندی ضریب پیروسون بر اساس تقسیم‌بندی ایونس^۲ (۱۹۹۶)

مقادیر r	کلاس
-۰/۸_ -۱	همبستگی منفی خیلی قوی
-۰/۶_ -۰/۸	همبستگی منفی قوی
-۰/۴_ -۰/۶	همبستگی منفی متوسط
-۰/۲_ -۰/۴	همبستگی منفی ضعیف
۰_ -۰/۲	همبستگی منفی خیلی ضعیف
۰_ -۰/۲	همبستگی مثبت خیلی ضعیف
۰/۲_ -۰/۴	همبستگی مثبت ضعیف
۰/۴_ -۰/۶	همبستگی مثبت متوسط
۰/۶_ -۰/۸	همبستگی مثبت قوی
۰/۸_ -۱	همبستگی مثبت خیلی قوی

EVI در هر دوره مطالعاتی می‌باشد. مقدار ضریب همبستگی بین ۱- تا ۱+ متغیر است که ۱+ همبستگی مثبت کامل، صفر نبود همبستگی و ۱- همبستگی منفی کامل را نشان می‌دهد. برای بررسی میزان همبستگی ابتدا قدر مطلق ضریب همبستگی گرفته شد و سپس با توجه به جدول (۱) طبقه بندی، میزان همبستگی در نرم‌افزار ARC GIS 10.7 انجام شد.

آنالیز رگرسیون خطی

در این تحقیق با استفاده از معادله (۹)، شیب خط اثر رابطه بین SPEI ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه و EVI بر اساس معادلات رگرسیون خطی چتفیلد^۱ (۲۰۱۶) محاسبه شد تا اثر نوسانات SPEI ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه بر EVI بررسی شود.

$$slope = \frac{17(\sum_{i=2000}^{2016} SPEI_i EVI_i - \sum_{i=2000}^{2016} SPEI_i \sum_{i=2000}^{2016} EVI_i)}{17 \sum_{i=2000}^{2016} SPEI_i^2 - (\sum_{i=2000}^{2016} SPEI_i)^2} \quad \text{معادله (۹)}$$

معادل ۵۲/۷ درصد است و در مقابل کمترین مساحت، مربوط به کلاس همبستگی منفی ضعیف و معادل ۱/۶۲ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در SPEI ۶ ماهه بیشترین مساحت، مربوط به کلاس همبستگی مثبت خیلی ضعیف و معادل ۴۳/۷۳ درصد است و کمترین مساحت، مربوط به کلاس همبستگی مثبت متوسط و معادل ۲/۰۷ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در SPEI ۹ ماهه بیشترین مساحت، مربوط به کلاس همبستگی مثبت خیلی ضعیف و معادل ۴۲/۳۹ درصد است و کمترین مساحت، مربوط به کلاس همبستگی منفی ضعیف و معادل ۲/۴۴ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه می‌باشد. همچنین در SPEI ۱۲ ماهه بیشترین مساحت، مربوط به کلاس همبستگی مثبت خیلی ضعیف و معادل ۴۳/۴ درصد است و کمترین مساحت، مربوط به کلاس همبستگی منفی ضعیف و معادل ۱/۹۶ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

شیب خط اثر بین SPEI در بازه زمانی مختلف و EVI محاسبه شد به طور کلی شیب منفی نشان‌دهنده رابطه عکس، شیب مثبت نشان‌دهنده رابطه مستقیم است و مقدار شیب، میزان وابستگی متغیرها را بیان می‌کند. شیب اثر همراه با میزان R² که نشان دهنده میزان صحت رگرسیون خطی است در Earth Trend Modeler (ETM) نرم‌افزار TerrSet انجام شد.

نتایج

نتایج همبستگی خشکسالی هواشناسی و شاخص پوشش گیاهی

نتایج آنالیز همبستگی شاخص EVI و SPEI ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه برای سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹ در جدول ۲ آمده است. نتایج نشان می‌دهد که در SPEI ۳ ماهه بیشترین مساحت، مربوط به کلاس همبستگی مثبت خیلی ضعیف و

2- Evans

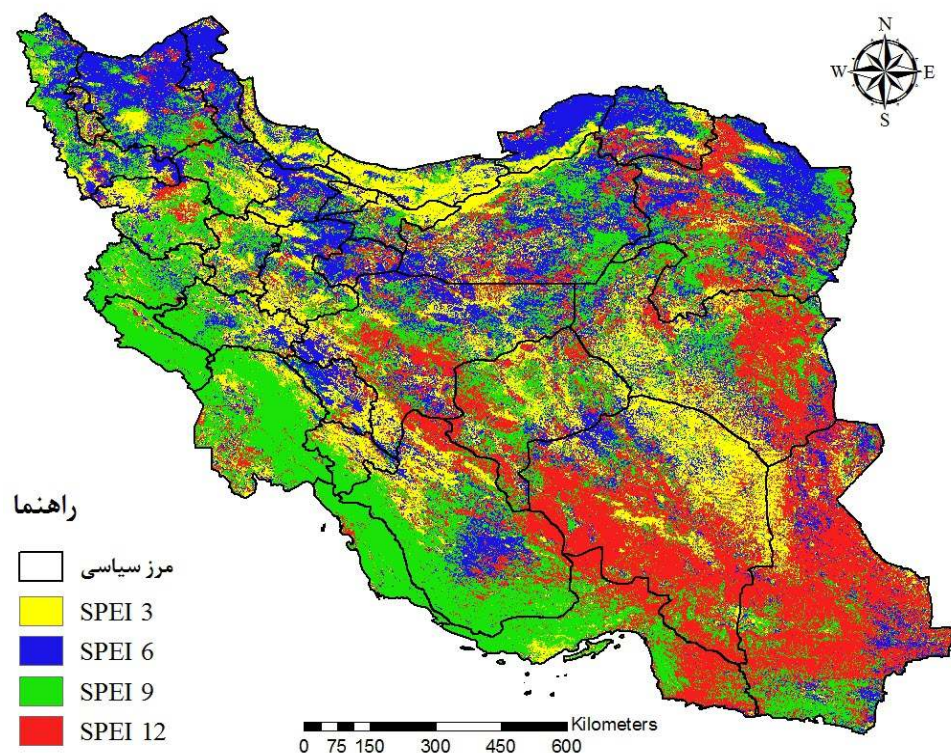
1- Chatfield

جدول ۲: نتایج بیشترین مقدار همبستگی بین خشکسالی هواشناسی و شاخص پوشش گیاهی

spei12	spei9	spei6	spei3	کلاس‌ها
۱/۹۶	۲/۴۴	۲/۴۴	۱/۶۲	همبستگی منفی ضعیف
۱۶/۴۳	۱۳/۴۷	۱۷/۰۸	۲۸/۱	همبستگی منفی خیلی ضعیف
۴۳/۴	۴۲/۳۹	۴۳/۷۳	۵۲/۷	همبستگی مثبت خیلی ضعیف
۳۱/۷۳	۳۴/۴۵	۳۴/۶۸	۱۷/۶	همبستگی مثبت ضعیف
۶/۴۸	۷/۲۶	۲/۰۷	-	همبستگی مثبت متوسط

شمالی و خراسان رضوی مشاهده می‌شود. در ۲۲/۶۳ درصد از مساحت ایران، SPEI ۶ ماهه بیشترین میزان همبستگی را با پوشش گیاهی دارد. همچنین بیشترین مقدار همبستگی میان خشکسالی هواشناسی و پوشش گیاهی مربوط به SPEI ۹ ماهه در بخش‌های غربی کشور از جمله دامنه‌های غربی رشته‌کوه زاگرس و سواحل خلیج فارس شامل استان‌های لرستان، ایلام، کرمانشاه، خوزستان، بوشهر، بخش‌های غربی فارس و هرمزگان مشاهده می‌شود. در ۳۰/۷۷ درصد از مساحت ایران، SPEI ۹ ماهه بیشترین میزان همبستگی را با پوشش گیاهی دارد. نهایتاً بیشترین مقدار همبستگی میان خشکسالی هواشناسی و پوشش گیاهی مربوط به SPEI ۱۲ ماهه در استان‌های شرق و جنوب شرقی مانند سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی و بخش‌هایی از مرکز مانند کرمان، جنوب استان‌های یزد و اصفهان مشاهده می‌شود. در ۲۸/۱۴ درصد از مساحت ایران SPEI ۱۲ ماهه بیشترین میزان همبستگی را با پوشش گیاهی دارد.

شکل (۳) بیشترین مقدار همبستگی میان SPEI با مقیاس زمانی متفاوت و شاخص EVI را در سطح ایران نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که، بیشترین مقدار همبستگی میان خشکسالی هواشناسی و پوشش گیاهی مربوط به SPEI ۳ ماهه در استان‌های همجوار رشته‌کوه البرز مانند مازندران، گیلان، جنوب گلستان و بخش‌های شمالی استان‌های سمنان، تهران و البرز و بخش‌هایی از رشته‌کوه زاگرس شامل بخش‌هایی از استان‌های فارس، کهگیلویه و بویراحمد، مرکزی و بخش‌هایی از مناطق مرکزی مانند استان‌های کرمان و یزد مشاهده می‌شود. در ۱۸/۴۶ درصد از مساحت ایران، SPEI ۳ ماهه بیشترین میزان همبستگی را با پوشش گیاهی دارد. در حالی که بیشترین مقدار همبستگی میان خشکسالی هواشناسی و پوشش گیاهی مربوط به SPEI ۶ ماهه در استان‌های واقع در شمال غرب کشور مانند اردبیل، آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، مرکزی، قزوین و زنجان و بخش‌هایی از استان‌های اصفهان، سمنان، فارس و کهگیلویه و بویراحمد و استان‌های واقع در شمال شرق مانند گلستان، خراسان

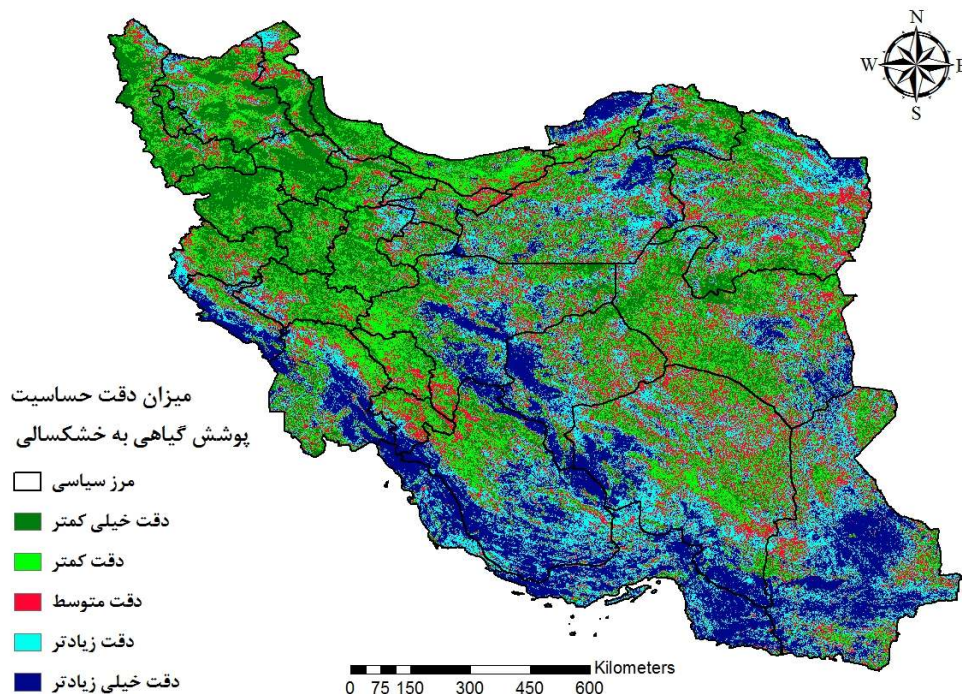


شکل ۳: نقشه بیشترین مقدار همبستگی میان شاخص EVI و SPEI با مقیاس زمانی متفاوت

نتایج آنالیز رگرسیون خطی

شکل ۴ نقشه میزان دقت حساسیت شاخص EVI به شاخص SPEI با مقیاس زمانی متفاوت، در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹ را نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که استان‌های واقع در دامنه‌های رشته کوه البرز مانند گیلان و مازندران، استان‌های واقع در دامنه‌های رشته کوه زاگرس مانند مرکزی، لرستان و همدان، استان‌های واقع در شمال غرب کشور شامل آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اردبیل، زنجان، کردستان و چهارمحال و بختیاری از نظر دقت و صحت حساسیت شاخص پوشش گیاهی به شاخص خشکسالی هواشناسی در طبقه خیلی کمتر قرار گرفته‌اند.

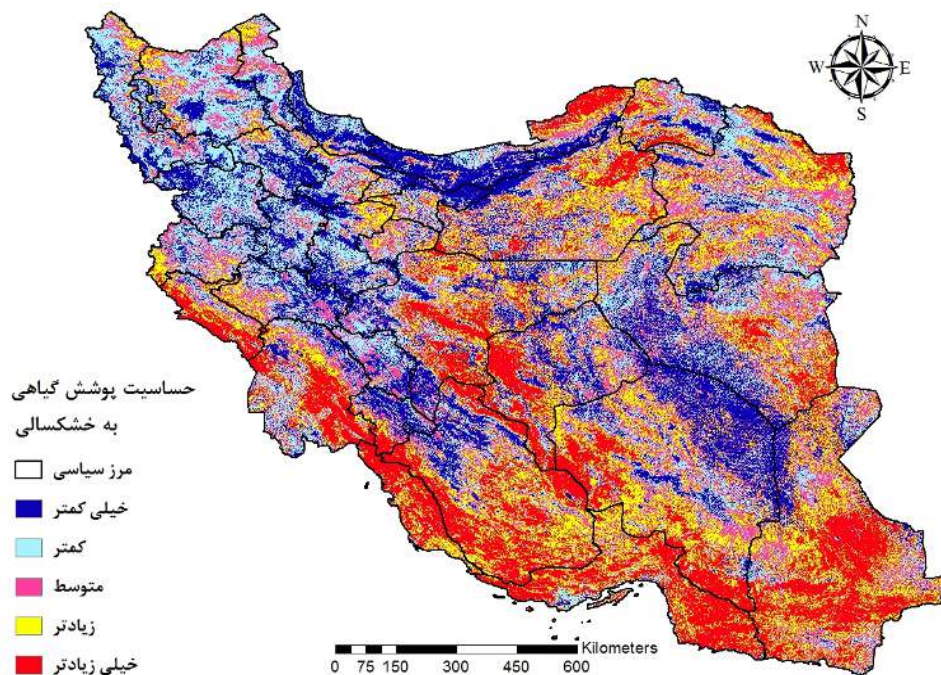
همچنین دشت لوت از نظر دقت و صحت حساسیت شاخص پوشش گیاهی به شاخص خشکسالی هواشناسی در طبقه کمتر قرار گرفته‌اند. در مقابل استان‌های واقع در غرب کشور و سواحل خلیج فارس مانند ایلام، خوزستان، بوشهر، فارس، هرمزگان، جنوب شرق کشور مانند استان سیستان و بلوچستان، بخش‌هایی از مناطق مرکزی مانند غرب و جنوب استان‌های یزد و کرمان و مرکز استان اصفهان و شمال شرق کشور شامل استان گلستان، شرق و جنوب خراسان شمالی و غرب استان خراسان رضوی از نظر دقت و صحت حساسیت شاخص پوشش گیاهی به شاخص خشکسالی هواشناسی در طبقه خیلی زیادتر قرار گرفته‌اند.



شکل ۴: نقشه میزان دقت حساسیت شاخص EVI به شاخص SPEI با مقیاس زمانی متفاوت

شرق استان خراسان جنوبی از نظر حساسیت شاخص پوشش گیاهی به شاخص خشکسالی هواشناسی در طبقه کمتر واقع شده اند. در مقابل استان‌های واقع در دامنه‌های شرقی رشته کوه زاگرس مانند اصفهان و یزد، بخش‌های غربی کشور مانند استان‌های ایلام و جنوب شرق خوزستان، استان‌های واقع در جنوب کشور و سواحل خلیج فارس شامل بوشهر، هرمزگان و جنوب فارس، جنوب شرق کشور مانند استان سیستان و بلوچستان، شمال غرب کشور از جمله شرق استان خراسان رضوی، شمال استان گلستان، مرکز خراسان جنوبی از نظر حساسیت شاخص پوشش گیاهی به شاخص خشکسالی هواشناسی در طبقه خیلی زیادتر واقع شده اند.

شکل ۵ نقشه حساسیت شاخص EVI به شاخص SPEI با مقیاس زمانی متفاوت، در باز زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹ را نشان می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که استان‌های واقع در دامنه‌های رشته کوه البرز مانند مازندران، گیلان، شمال شرق تهران، جنوب گلستان، استان‌های واقع در دامنه‌های رشته کوه زاگرس مانند زنجان، قزوین، مرکزی، کهگیلویه و بویراحمد و شمال فارس و استان‌های واقع در دشت لوت مانند شمال شرق کرمان و شرق خراسان جنوبی از نظر حساسیت شاخص پوشش گیاهی به شاخص خشکسالی هواشناسی در طبقه خیلی کمتر واقع شده اند. اگرچه استان‌های واقع در شمال غرب کشور از جمله آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، کردستان، همدان و چهارمحال و بختیاری، بخش‌هایی از استان‌های مجاور رشته کوه البرز مانند شمال شرق گیلان و مازندران و بخش‌هایی از غرب استان خوزستان، مرکز و شمال شرق استان خراسان رضوی،



شکل ۵: نقشه حساسیت شاخص EVI به شاخص SPEI با مقیاس زمانی متفاوت

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق اثر خشکسالی هواشناسی بر شاخص پوشش گیاهی در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آنالیز همبستگی پوشش گیاهی و خشکسالی هواشناسی نشان داد در ۳۰/۷۷ درصد از مساحت ایران، تغییرات SPEI ۹ ماهه بیشترین همبستگی را با شاخص EVI نسبت به SPEI در دیگر بازه‌های زمانی دارد. در نتیجه بیشترین تاثیر خشکسالی بر پوشش گیاهی در اکثر نقاط ایران مربوط به SPEI ۹ ماهه می‌باشد. اگرچه در اکثر نواحی ایران این مقدار برای SPEI ۳، ۶ و ۱۲ ماهه به ترتیب در ۱۸/۴۶، ۲۲/۶۳ و ۲۸/۱۴ درصد از کل مساحت ایران می‌باشد. دلیل این امر شرایط محیطی متفاوت حاکم بر مناطق مختلف ایران است. دینگ^۱ و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی با هدف ارزیابی مکانی-زمانی اثر خشکسالی بر پوشش گیاهی کشور چین، به این موضوع اشاره کرده‌اند. نتایج حساسیت پوشش گیاهی به خشکسالی هواشناسی نشان داد، که در دشت لوت، ارتفاعات رشته کوه البرز و زاگرس و نواحی اطراف آن حساسیت پوشش گیاهی

به خشکسالی هواشناسی کم است. وضعیت پوشش گیاهی در محدوده‌های ذکر شده یا بدون پوشش گیاهی (مناطق کویری) و یا به صورت درختی و جنگل (محدوده‌های البرز و زاگرس) است. بنابراین در این مناطق تاثیرگذاری گیاهان بوته‌ای و یکساله در میزان شاخص پوشش گیاهی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای کمتر است. بهرنگ‌منش و همکاران (۲۰۱۹) به نتایج مشابهی دست یافتند و بیان نمودند که کاهش همبستگی در این مناطق به علت نوع و تراکم پوشش گیاهی است.

همچنین در ارتفاعات رشته کوه البرز و زاگرس به دلیل شرایط اقلیمی مساعد، وفور بارش، وجود خاک مرطوب، بالا بودن رطوبت نسبی هوا و... این مناطق از پوشش گیاهی مناسبی برخوردارند و امکان احیا شدن پوشش گیاهی در این مناطق بالاست. بنابراین در دامنه‌های رشته کوه البرز و زاگرس پوشش گیاهی نسبت به پدیده خشکسالی، از حساسیت نسبی کمی برخوردار است. از این رو هادیان و همکاران (۱۳۹۲) به این موضوع اشاره داشته‌اند؛ که ارتفاعات رشته کوه زاگرس بدلیل بارش مناسب از

¹- Ding

پوشش گیاهی قابل قبولی برخوردار است و کمتر تحت تاثیر خشکسالی هواشناسی قرار می‌گیرند.

نواحی مرکزی، جنوب غرب، جنوب شرق و سواحل خلیج فارس دارای شیب خط اثر مثبت می‌باشند و پوشش گیاهی نسبت به خشکسالی هواشناسی، حساسیت بسیار زیادی از خود نشان داده است. یکی از ویژگی‌های این نواحی، بالا بودن دمای هوا و دمای سطح زمین است؛ که امکان دارد در دوره خشکسالی تشدید شود. از آنجایی که بین عملکرد پوشش گیاهی و دمای سطح زمین رابطه عکس وجود دارد، طبیعی است که در زمان خشکسالی، پوشش گیاهی حساسیت زیادی از خود نشان دهد. عظیم^۱ و همکاران (۲۰۱۱)، ژاوپینگ^۲ و همکاران (۲۰۱۱) و علمرادی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهش خود به این نکته اشاره کرده‌اند. از طرفی در جنوب شرق کشور از جمله استان سیستان و بلوچستان، به دلیل احداث چاه‌های غیرمجاز و برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، سطح ایستایی با افت شدید مواجه شده و رطوبت خاک کاهش یافته است؛ این امر موجب کاهش عملکرد گیاه و افزایش حساسیت آن به پدیده خشکسالی شده است. این موضوع با پژوهش عزیزیان و همکاران (۱۳۹۷)، شفیع و همکاران (۱۳۹۸) و شریفان و خزیمه نژاد (۱۳۹۸) مطابقت دارد.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که پوشش گیاهی در غرب استان خوزستان برخلاف سایر نقاط، از حساسیت نسبی کمی برخوردار است. زیرا رودهای کرخه و کارون از این استان عبور می‌کنند و عاملی جهت تغذیه آب‌های سطحی و زیرزمینی محسوب می‌شوند. این امر موجب شده تا در هنگام وقوع خشکسالی و کمبود بارش، پوشش گیاهی کمتر دچار تنش شود و آسیب‌پذیری نسبی به‌طور قابل توجهی کاهش یابد. در این راستا روحی و همکاران (۱۳۹۲) و آذری و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهش خود به تغذیه آبخوان‌های استان خوزستان توسط رود کرخه، دز و کارون اشاره کرده‌اند.

بخش وسیعی از ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است. از طرفی مراتع کشور با وسعتی حدود ۹۰ میلیون هکتار، عمدتاً در این مناطق قرار گرفته‌اند و بخش قابل

توجهی از بهره‌برداران و دام‌ها از این مراتع استفاده می‌کنند. در سال‌های اخیر به دلیل بهره‌برداری نادرست، روند گرایش مراتع نگران‌کننده شده و وضعیت این روند با وقوع خشکسالی‌های پی‌درپی وخیم‌تر شده است. در دوره خشکسالی علاوه بر کاهش کمیت گیاهان، از کیفیت آن‌ها نیز کاسته می‌شود. در دوره خشکسالی رقابت برای جذب آب افزایش یافته و گیاهان با سیستم جذب آب ضعیف‌تر به سرعت از سطح مرتع حذف می‌شوند. چنانچه در این دوره چرای دام متعادل با ظرفیت تولید نباشد در اثر فشار ناشی از چرای مفرط و زودرس، گیاهان خوشخوراک به سرعت از سطح مراتع حذف می‌شوند. بنابراین ترکیب گیاهی مرتع تغییر کرده و گیاهان نامرغوب و غیرخوشخوراک جایگزین گیاهان خوشخوراک می‌شوند (۲۵). لذا ارزیابی پدیده خشکسالی و اثر آن بر پوشش گیاهی محدوده مورد نظر می‌تواند در مدیریت مراتع و چرای دام نیز موثر واقع شود. از این‌رو نتایج این تحقیق می‌تواند جهت کنترل و مدیریت صحیح مراتع کشور، زمان چرای دام، ظرفیت چرای دام و... کمک شایانی کند. به‌طور کلی با توجه به نتایج این پژوهش، می‌توان گفت که شرایط اقلیمی، توپوگرافی، نوع پوشش گیاهی و مدیریت انسان تأثیر بسیار مهمی در تعیین ارتباط بین شاخص پوشش گیاهی و شاخص خشکسالی هواشناسی دارد. از طرفی با نظارت و کنترل پدیده خشکسالی می‌توان از اثرات منفی آن تا حد قابل توجهی جلوگیری کرد. بنابراین پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آتی با در نظر گرفتن عوامل مذکور، پیش‌بینی این پدیده و مدل‌سازی تغییرات پوشش گیاهی تحت تأثیر پدیده خشکسالی در الویت قرار گیرد؛ که در جهت دستیابی به این موضوع می‌توان از تکنیک سنجش از دوری، تصاویر ماهواره‌ای، شاخص‌های اقلیمی نظیر SPEI و SPI در بازه‌های زمانی مختلف و در مناطق جغرافیایی متفاوت از لحاظ اقلیمی، توپوگرافی و... استفاده کرد تا ارتباط بین این دو شاخص دقیق‌تر بررسی شود.

¹- Azim

²- Zhaoping

References

1. Ahmad, M.I., C.D. Sinclair & A. Werritty, 1988. Log-logistic flood frequency analysis. *Journal of Hydrology*, 98(3-4): 205-224.
2. Ahmadi, S., H. Azarnivand, H. Khosravi, P. Dehghan & M. Behrang Manesh, 2016. Assessment of the effect of drought and land use change on vegetation using Landsat data. *Desert*, 24(1): 23-31.
3. Ali Moradi, S., A. Khorani & Y. Esmail Poor, 2017. Vegetation dynamics in relation to temperature and rainfall in rangelands of Karun Basin in Khuzestan province. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 44: 155-177. (In Persian)
4. Azari, A., A. Akhound Ali, F. Rradmanesh & A. Haghighi, 2013. Simulation Interaction Water Surface and Groundwater In Conditions Exploitation Combined (Case Study: Dez Plains). *Irrigation Science and Engineering (Scientific Journal of Agriculture)*, 38(2): 34-47. (In Persian)
5. Azim S., B.D. Bharath & Y. Kant, 2011. Relation between Land Surface Temperature and Land Use/Land Cover: A Case Study of New Delhi and its Surrounding, development design consultant's limited Bangladesh. "Satisfactory" on March 2013.
6. Azizan, GH., A. Hashemi Monfared, A. Javan Mohasel & M. Dehghani Dar Miyan, 2018. Investigation of the effect of groundwater level drop on soil erosion process and dust formation. *EchoHydrology*, 5(3): 1017-1035. (In Persian)
7. Behrang Manesh, M., H. Khosravi, E. Heidari Alamdarloo, M. Saadi Alekasir, A. Gholami & V.P. Singh, 2019. Linkage of agricultural drought with meteorological drought in different climates of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 138(1-2): 1025-1033.
8. Chatfield, C., 2016. *The analysis of time series: an introduction*. CRC press.
9. Choubin, B., F. Soleimani, A. Pirnia, F. Sajedi-Hosseini, H. Alilou, O. Rahmati, A. M. Melesse, V.P. Singh & H. Shahabi, 2019. Effects of drought on vegetative cover changes: Investigating spatiotemporal patterns. *Extreme Hydrology and Climate Variability*, 17: 213-222.
10. Dastorani, M., A. Vali, A. Sepehr & C.B. Komaki, 2015. The effect of drought on vegetation using MODIS satellite Khorasan Razavi. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 4(7): 1-8.
11. Ding, Y., J. Xu, X. Wang, X. Peng, & H. Cai, 2020. Spatial and temporal effects of drought on Chinese vegetation under different coverage levels. *Science of the Total Environment*, 716: 137-166.
12. Ebrahimi Khusfi, Z. & M. Zarei, 2020. Relationships between Meteorological Drought and Vegetation Degradation Using Satellite and Climatic Data in a Semi-Arid Environment in Markazi Province, Iran. *Rangeland*, 10(2): 204-216.
13. Eskandari Damane, H., H. Eskandari Damane, H. Khosravi & H. Gholami, 2019. Drought Analysis and Monitoring Using Vegetation Index NDVI (Case Study: West Basin of Jazmourian Wetland). *Rangeland*, 13(3): 461-475. (In Persian)
14. Evans, J.D., 1996. *Straightforward statistics for the behavioral sciences*. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole Publishing.
15. Fatehi Maraj, A.B. & S.A. Heidarian, 2013. Meteorological Drought, Agriculture, and Hydrology Using GIS in Khuzestan Province, *Journal of Watershed Management Sciences and Engineering*, 7(23): 19-32. (In Persian)
16. Firouzi Taghi Tavoosi, F. & P. Mahmoudi, 2019. Valuation of sensitivity of NDVI and EVI vegetation indices to droughts and wetlands in arid and semi-arid regions; Case study: Sistan plain of Iran. *Sepehr*, 110: 163-179. (In Persian)
17. Hadiyan, F., R. Jaefari, H. Boshra & S. Soltani, 2013. Monitoring the effect of rainfall on vegetation changes using remote sensing techniques over a 12-year period (Case study: Semirom and Lordegan). *J. Rangeland and Watershed Management*, 66(4): 621-632. (In Persian)
18. Heshmati, G.A., 2013. Indigenous plant species from the drylands of Iran, distribution and potential for habitat maintenance and repair. In *combating desertification in Asia, Africa and the Middle East Netherlands*. Springer, 355-375.
19. Huete, A., C. Justice & W. Van Leeuwen, 1999. MODIS vegetation index (MOD13). Algorithm theoretical basis document, 3(213).
20. Huete, A., K. Didan, T. Miura, E. Rodriguez, X. Gao & L.G. Ferreira, 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote sensing of environment*, 83(1-2): 195-213.
21. Javed, T., Y. Li, K. Feng, O. Ayantobo, S. Ahmad, X. Chen, S. Rashid & S. Suon, 2020. Monitoring responses of vegetation phenology and productivity to extreme climatic conditions using remote sensing across different sub-regions of China. *Environmental Science and Pollution Research International*, 28: 3644-3659 DOI: 10.1007/s11356-020-10769-1.

22. Jentsch, A., J. Kreyling, M. Elmer, E. Gellesch, B. Glaser & K. Grant, 2011. Climate extremes initiate ecosystem regulating functions while maintaining productivity. *Journal of Ecology*, 99: 689-702.
23. Kaiwei, L., T. Zhijun, L. Xingpeng, Z. Jiquan & T. Sinqin, 2020. Quantitative assessment and driving force analysis of vegetation drought risk to climate change: Methodology and application in Northeast of China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 282-283: 1-12.
24. Karabulut, M., 2003. An examination of relationships between vegetation and rainfall using maximum value composite AVHRR- NDVI data. *Turk Journal of Botany*, 27: 93-101.
25. Karami, E. H. Ahmadpari & M. Hadinejad, 2018. Investigating the impact of drought on rangelands. 2nd International Conference on Applied Research in Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment, AGRIHAMAYESH02_103.
26. Khosravi, H., E. Heidari Alamdarloo, S. Shekoohizadegan & S. Zareie, 2017. Assessment of the Effect of Drought on Vegetation in Desert Area using Landsat Data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 20: S3-S12.
27. Lee Rodgers, J. & W.A. Nicewander, 1988. Thirteen ways to look at the correlation coefficient. *The American Statistician*, 42(1): 59-66.
28. Li, B., H. Tang & D. Chen, 2009. Drought Monitoring Using the Modified Temperature/Vegetation Dryness Index, 2nd International Congress on Image and Signal Processing, China.
29. Measho, S., B. Chen, Y. Trisurat, P. Pellikka, L. Guo, S. Arunyawat, V. Tuankruea, W. Ogbazghi & T. Yemane, 2019. Spatio-Temporal Analysis of Vegetation Dynamics as a Response to Climate Variability and Drought Patterns in the Semiarid Region, Eritrea. *Remote Sensing*, 11(6): 724.
30. Mir Mousavi, H. & H. Karimi, 2013. Study of the effect of drought on vegetation using MODIS sensor images. *Journal of Geography and Development*, 31: 57-76. (In Persian)
31. Mishra, A. & V. Singh, 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391: 202-216.
32. Nalbantis, I., 2008. Evaluation of a hydrological drought index. *European Water*, 23(24): 67-77.
33. Nouri, M., M. Homaei & M. Bannayan, 2017. Climate variability impacts on rainfed cereal yields in west and northwest of Iran. *International Journal of Biometeorology*, 61(9): 1571-1583.
34. Rouhi, H., N. Kalantari, H. Mohammad Behzad & H. Daneshiyan, 2013. Zoning and Investigation of Hazards Due to Irregular Extraction of Groundwater Resources (Case Study: Dasht-e Sarayan). *Journal of Advanced Applied Geology*, 3: 1-9. (In Persian)
35. Saimepour, H., M. Ghorbani, A. Malekian & M. Ramezanzadeh Lesboi, 2018. Assessment and evaluation of local residents' drought distress in the face of drought (Case study area: Nardin village, Miami city, Semnan province). *Rangeland*, 12(1): 62-72. (In Persian)
36. Salimi, M., 2014. Drought analysis with synthesized index (SDI) and TRMM data in Khorasan Razavi Province, University of Ferdowsi, 1p.
37. Salman Bayati, T., S.Z. Hosseini, A. Rashtyan & H. Alirezaee, 2018. Comparison of the accuracy of sampling methods for vegetation percentage in remote sensing studies (Case study: Abbas Abad rangelands of Hamadan). *Rangeland*, 12(2): 169-179. (In Persian)
38. Shafiee, N., M. Zangane Asadi, J. Jamal Abadi & Z. Mojarad Titkanloo, 2018. Investigating the causes of groundwater decline in Noorabad Mamasani plain with emphasis on the role of tectonic activities and exploitation of groundwater resources. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, Nineteenth Year, 52: 235-254. (In Persian)
39. Shahzad, A., M. Henchiri, F. Yao & J. Zhang, 2019. Analysis of vegetation dynamics, drought in relation with climate over South Asia from 1990 to 2011. *Environmental Science and Pollution Research*, 26: 11470-11481.
40. Sharifan, F. & H. Khazime Nejad, 2018. Zoning and investigation of hazards caused by the uncontrolled abstraction of groundwater resources (Case study: Dasht-e Sarayan). *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*, 38: 147-162. (In Persian)
41. Shiravi, M., 2016. Fuzzy Modeling of Desertification Susceptibility of Khorasan Razavi Ecoregions Based on Life Cycle Assessment (LCA). PhD thesis, Ferdowsi University, 84 pp.
42. Singh, V.P., H. Guo & F.X. Yu, 1993. Parameter estimation for 3-parameter log-logistic distribution (LLD3) by Pome. *Stochastic Hydrol Hydraul*, 7: 163-177.
43. Stagge J.H., L.M. Tallaksen, C.Y. Xu & H.A.J. Van Lenen, 2014. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI): Sensitivity to potential evapotranspiration model and parameters. *Hydrology in a Changing World: Environmental and Human Dimensions*, IAHS Publ. 363. International Association of Hydrological Society, Wallingford, 363: 367-374.
44. Thornthwaite C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr Rev*, 38(1): 55-94. doi:10.2307/210739.

45. Vicente-Serrano, S.M., S. Beguería & J.I. López-Moreno, 2010. A multiscale Drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate* 23: 1696-1718.
46. Wang, Q.F., P.J. Shi, T.J. Lei, G.P. Geng, J.H. Liu, X.Y. Mo, X.H. Li, H.K. Zhou & D.C. Liu, 2014. Temporal-spatial characteristics of severe drought events and their impact on agriculture on a global scale. *Quatern. Int.* 349: 10-21.
47. Zhaoping, Y. G. Jixi, Z. Caiping, S. Peili, Z. Lin, S. Wenshou & O. Hua, 2011. Spatio-temporal changes of NDVI and its relation with climatic variables in the source regions of the Yangtze and Yellow rivers, *Journal of Geogr. Sci.*, 21(6): 979-993.

The effect of meteorological drought on vegetation dynamics in Iran

S. Bagheri¹, E. Heydari Alamdarloo², H. Khosravi^{*3} and Azam Abolhasani⁴

Received: 30 July 2020, Accepted: 22 November 2021

Abstract

Drought as a complex ecosystem crisis can affect vegetation density and health. Iran with an arid and semi-arid climate is exposed to this phenomenon. Therefore, it is necessary to evaluate the effect of drought on vegetation. The purpose of this study is to evaluate the effect of meteorological drought on vegetation dynamics in Iran. In this regard, using MATLAB software, SPEI index with time scales of 3, 6, 9, and 12 months years was calculated and zoned for 99 meteorological stations with a statistical length of 30 years in Arc GIS software. In the next step, the highest value of EVI index per month was obtained from MOD13Q1 MODIS sensor product for the period 2001-2019. Then, using Terrset software, the correlation and slope of EVI index changes were calculated based on SPEI index changes. The results showed that in 18.46, 22.63, 30.77, and 28.14% of the total area of Iran, the SPEI of 3, 6, 9, and 12 months have the highest correlation with vegetation, respectively. The results of linear regression analysis showed that in Lut plain and the heights of Alborz and Zagros mountain ranges, the sensitivity of vegetation to meteorological drought is much lower and the slope of the line has been negative. While the central, southwestern, southeastern, and coastal areas of the Persian Gulf have a positive line slope and vegetation has shown great sensitivity to meteorological drought. According to the obtained results, it can be concluded that climatic conditions, topography, type of vegetation, geographical location, and human management are effective in determining the relationship between the two indicators of vegetation and drought. As a result, it is suggested that in future studies on the effect of climate change on vegetation, factors such as topography, land use, etc. should be considered in the modeling.

Keywords: Zagros and Central Iran, Medicinal species, Habitat modeling, Ecological niche, Species response curve.

¹- M.Sc. Student of Desert Management and Control, Department of Arid and Mountains Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

²- PhD in Combating Desertification, Department of Arid and Mountains Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

*: Corresponding Author: hakhosravi@ut.ac.ir

³- Associate Professor, Department of Arid and Mountains Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

⁴- PhD Student of Desert Management and Control, Department of Arid and Mountains Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.