

بررسی تأثیر خشکسالی در تغییرات پوشش گیاهی مرتعی و جنگلی استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از داده های سنجنده مودیس

لیلا یغمایی^{۱*}، سعید سلطانی^۲، رضا جعفری^۳، حسین بشری^۴ و حسن جهانبازی گوجانی^۵

*^۱ - دانشجوی دکتری علوم مرتع، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، پست الکترونیک: Leila.yaghmaie@gmail.com

^۲ - استاد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران

^۳ - دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران

^۴ - استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران

^۵ - استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۳۰

چکیده

هدف از این مطالعه بررسی رابطه تغییرات پوشش گیاهی و نوسانات ویژگیهای اقلیمی مانند بارندگی و پدیده خشکسالی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس در طول سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۹۳ در استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد. به منظور بررسی میزان تأثیر بارش و خشکسالی بر تغییرات پوشش گیاهی در ۳۲ ایستگاه سینوپتیک، اقلیم‌شناسی و باران‌سنجی داخل و اطراف استان، شاخص SPI در دوره‌های زمانی کوتاه مدت (سه، شش و نه ماهه) و بلندمدت (۱۲ و ۲۴ ماهه) محاسبه شد. تمامی مقیاس‌های زمانی منتهی به اوایل خرداد (ماه می) یعنی ماه حداکثر رویش پوشش گیاهی استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد. بدین منظور، نقشه‌های گستره خشکسالی و تصاویر شاخص NDVI در مقیاس‌های مختلف زمانی (سالانه، فصلی) با استفاده از روش میان‌یابی کریجینگ تهیه و روش رگرسیون خطی برای پایش تغییرات پوشش گیاهی در اثر نوسانات بارندگی و خشکسالی استفاده شد. بررسی تغییرات شاخص گیاهی و SPI طی دوره مورد مطالعه حاکی از آن بود که نوع فرم رویشی و گونه گیاهی نقش مهمی در تأثیرپذیری پوشش گیاهی از خشکسالی دارد. در بین تیپ‌های گیاهی مطالعه شده، در مناطق مرتعی با پوشش علفزار یکساله- فورب بالاترین میزان همبستگی میان تغییرات شاخص پوشش گیاهی و SPI وجود داشت، این مطلب مؤید اثر بیشتر کاهش بارندگی بر زوال و از بین رفتن پوشش گیاهی مرتعی نسبت به پوشش جنگلی است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که داده‌های NDVI مستخرج از سنجنده مودیس ابزار مؤثری در برآورد و پایش خشکسالی مؤثر بر پوشش گیاهی است. با مطالعه و شناخت پوشش گیاهی و استفاده از شاخص NDVI، برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی می‌توان تیپ‌های حساس و آسیب‌پذیر را در شرایط خشکسالی تشخیص داد.

کلمات کلیدی: بارندگی، شاخص SPI، کریجینگ، شاخص نرمال شده تغییرات پوشش گیاهی NDVI، رگرسیون خطی.

مقدمه

مراغ و جنگل‌ها از مهمترین سرمایه‌های ملی با استفاده- های فراوان هستند که مدیریت آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شناخت رفتار گونه‌های گیاهی نسبت به تغییرات محیطی راهنمای مهمی در مدیریت مرتع محسوب می‌شود (Hadian et al, 2014 ; Assal et al, 2016).

همبستگی بین پوشش گیاهی و عوامل محیطی از عوامل تأثیرگذار بر پراکنش پوشش گیاهی به حساب می‌آید. اقلیم باعث شکل‌دهی الگوهای پوشش گیاهی از طریق تعادل بین ذخایر انرژی، رطوبت و زمان‌بندی فصلی بین این دو می‌شود (Stephenson, 1990). بنابراین اقلیم یک منطقه یک کنترل از بالا به پایین بر الگوهای اکوسیستم و فرآیندهای آن ایجاد می‌کند. اختلالات اکوسیستم بویژه اختلالات بزرگ و نادر به عنوان یک مکانیسم کلیدی در شکل‌دهی الگوهای چشم اندازی در جنگل‌ها و مراتع شمرده می‌شود (Foster et al., 1998; Turner et al., 1998).

با این حال، آشوب و به‌هم‌ریختگی در اکوسیستم در مقیاس‌های بزرگ، کمتر عمل می‌کند و دامنه تأثیرات اختلالات در طی زمان‌های طولانی مشخص می‌شود (Sousa, 1984). خشکسالی و تنش خشکی یکی از اختلالات اکوسیستمی است که هنوز درک و محاسبه کمی زمانی و مکانی آن بسیار مشکل است (Assal et al., 2016).

در اوایل سال‌های ۱۳۸۰ کل ایران از جمله استان چهارمحال و بختیاری با شرایط خشکسالی شدید مواجه شدند و رکورد حداقل بارندگی در بسیاری از مناطق کشور شکسته شد (Hejazizadeh, 2004). این عامل باعث شد که توجه بیشتری به آسیب‌پذیری جنگل‌ها و مراتع در مناطق استپی و نیمه استپی طی این سال‌ها شود. خشکسالی‌های شدید از اوایل دهه گذشته به‌عنوان یک عامل ایجاد تنش و مرگ و میر درختان و گیاهان مرتعی در اکوسیستم‌های جنگلی و مرتعی در بسیاری از مناطق دیده شده است (Baguskas et al., 2014). این وقایع همچنین باعث افزایش قابلیت اشتعال سوخت‌ها و کاهش سطح برف و

افزایش آتش‌سوزی در فصول مربوطه می‌شود (Littell et al., 2009).

خشکسالی می‌تواند اثرات مستقیم و غیر مستقیمی را بر روی گیاهان ایجاد کند. با این حال اثرات شاخصی مانند کاهش تولیدکنندگی متعاقب خشکسالی، ممکن است وجود داشته باشد. واکنش پوشش گیاهی به خشکسالی بستگی به الگوی مکانی، ساختار جنگل‌ها و مراتع و عملکرد آنها دارد. مدت زمان خشکسالی نیز یک عنصر کلیدی در واکنش گیاه محسوب می‌شود (Hogg et al., 2000; Dorman et al., 2013; Baguskas et al., 2014).

Hamzehpoor و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیقی به بررسی مقدماتی خشکیدگی درختان بلوط ایرانی در دشت برم کازرون پرداختند. نتایج بررسی متغیرهای اقلیمی در تحقیق آنها نشان داد که کاهش بارندگی در سال‌های اخیر اثر معنی‌داری بر خشکیدگی داشته، اما تأثیر تغییرات دمایی معنی‌دار نبوده است.

نتایج پژوهشی که به بررسی اثرگذاری عوامل اقلیمی و تبخیر-تعرق بر زوال جنگل‌های زاگرس مرکزی در استان لرستان و با انطباق نقشه زوال جنگل با نقشه‌های اقلیمی پرداخت، نشان داد که عوامل بارش، دمای هوا، رطوبت نسبی و تبخیر و تعرق مرجع همبستگی معنی‌داری با طبقات زوال دارند. همچنین نتایج تحقیق مذکور حاکی از آن بود که که تغییر عوامل اقلیمی و تبخیر و تعرق مرجع یکی از مهم-ترین دلایل خشکیدگی بوم سازگان جنگلی زاگرس در کوتاه مدت می‌تواند باشد (Attarod et al, 2015).

Baaeghideh و همکاران (۲۰۱۱) برای بررسی شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، به‌منظور ارزیابی و پایش خشکسالی، از شاخص بارش استاندارد شده استفاده کرده و سپس همبستگی بین این دو شاخص در نواحی مختلف استان اصفهان سنجیده شد. نتایج نشان داد که شاخص گیاهی NDVI می‌تواند جایگزین مناسب برای شاخص‌های اقلیمی در ارزیابی و پایش خشکسالی‌ها باشد. با توجه به زوال جنگل‌های زاگرس همراه با کاهش بارش سالیانه و گرم شدن هوا در سال‌های اخیر، تغییر دراز

خشکسالی می‌تواند گزینه مناسبی باشد (Assal et al., 2016).

شاخص‌های پوشش گیاهی توسط بسیاری از دانشمندان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل برای بررسی بارش، تخمین اثرات آب و هوایی، محاسبه میزان بیوماس، بازدهی محصول و فرآوری مرتع، بررسی اثرات خشکسالی و مقدار توان گیاهان مطرح شده است (Dabrowska-Zielinska et al., 2002). یکی از مؤثرترین شاخص‌های پوشش گیاهی، شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی NDVI می‌باشد (Peters et al., 2002).

بررسی خصوصیات طیفی گیاهان نشان می‌دهد که گیاهان سالم بیشترین بازتاب را در طیف سبز و مادون قرمز و بیشترین جذب را در طیف قرمز و آبی دارند. تغییرات ویژگیهای برگ و کلروفیل نقش مهمی در بازتاب طیفی گیاهان ایفا می‌کند. بنابراین هر عاملی اعم از بیماری و خشکسالی می‌تواند توسط تغییرات طیفی گیاهان قابل تشخیص باشد (Hadian et al., 2014).

نتایج پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تطابق زیادی با روش‌های تحلیل آب و هوایی در بررسی خشکسالی دارد (Gu et al., 2008). بطور مثال، نتایج حاصل از تحقیق Birtwistle و همکاران (۲۰۱۶) در آمریکا که به بررسی رابطه تغییرات بارش و شاخص گیاهی NDVI تصویر ماهواره‌ای مودیس (MODIS) پرداختند حاکی از آن بود که میان بارندگی و پوشش گیاهی ۷۳ درصد همبستگی دیده می‌شود.

مشاهدات نشان داده است که بر حسب نوع پوشش گیاهی و شرایط منطقه تأثیرات بارش نیز متفاوت خواهد بود (Birtwistle et al., 2016, Moreno-de las Heras et al., 2015). مشاهدات رابطه نوسانات بارندگی و تغییرات پوشش گیاهی در دوره زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۸ در بخشی از مراتع استان یزد توسط Hosseini (۲۰۱۳) بررسی شد. نتایج تحقیق مذکور نشان‌دهنده ارتباط معنی‌دار تیپ‌های پوشش گیاهی فورب و گراس با نوسانات بارندگی و عدم

مدت عوامل اقلیمی مانند بارندگی و بروز پدیده خشکسالی نیز، به‌عنوان یکی از فرضیه‌های است که زوال این جنگل‌ها و مراتع را تسریع می‌کند. مرورمنابع در ناحیه رویشی زاگرس، نشان می‌دهد که دمای بیشینه و متوسط سالیانه افزایش و مقدار بارندگی کاهش یافته است (Shirgholami & Ghahraman, 2005; khoshakhlagh et al, 2011; Alijani et al., 2011; Attarod et al, 2015).

پژوهش Jagerbrand و همکاران (۲۰۰۹) در سودان با موضوع تغییرات جوامع گیاهی (بوته‌ای‌های همیشه سبز، بوته‌ای‌های خزان کننده، فورب‌ها، گل‌سنگ‌ها و خزها) طی یک دوره ۵ ساله حاکی از آن بود که جوامع مختلف پاسخ‌های گوناگونی به میزان بارندگی از خود نشان می‌دهند. Moreno-de las Heras و همکاران (۲۰۱۵) در آمریکا به این نتیجه رسیدند که گراسلندها به بارش دو ماهه اما گیاهان بوته‌ای به بارش ۵ ماهه حساسیت زیادی دارند. سنچش از دور یک محیط قوی برای به‌دست آوردن وضعیت قبل و بعد از اختلالاتی مانند خشکسالی در جنگل‌ها و مراتع و آشکارسازی این تغییرات که ممکن است به راحتی قابل تشخیص نباشد، ارائه می‌نماید (Assal et al., 2016).

آثار پدیده خشکسالی بر روی پوشش گیاهی، به صورت تدریجی ظاهر می‌شود. بنابراین اگر با الگوریتمی بر میزان پوشش گیاهی از روی تصاویر ماهواره‌ای نظارت و پایش شود، می‌توان با کاهش تدریجی پوشش گیاهی مناطق، پدیده‌ی مخرب خشکسالی را به موقع هشدار داد (Mirrmoosavi & Karimi, 2013).

از آنجا که امروز سنجنده‌های متعددی در مطالعات پایش خشکسالی به‌کار می‌روند، در مطالعه حاضر از سنجنده مودیس (اسپکترورادایومتر تصویربردار با قدرت تفکیک متوسط) (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) استفاده شد. زیرا در مقایسه با سنجنده‌های دیگر، سنجنده مودیس با داشتن باندهای مختلف و طیف الکترومغناطیسی بالقوه برای نظارت بر

امکان پذیر می‌سازد. بنابراین ضرورت مطالعه و پایش تأثیرات خشکسالی بر تغییرات پوشش گیاهی یک منطقه با استفاده از سنجش از دور احساس می‌شود. هدف از این مطالعه استفاده از توان شاخص‌های ماهواره‌ای مودیس در تشخیص تغییرات رخ داده در پوشش گیاهی در یک دوره ۱۵ ساله (۱۳۷۹-۱۳۹۳) در استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد. فرض اولیه در این مطالعه این است که تغییرات رخ داده در پوشش گیاهی در اثر خشکسالی که با استفاده از شاخص SPI بررسی می‌گردد، بوده است.

مواد و روش‌ها

۱. منطقه مورد مطالعه

استان چهارمحال و بختیاری با مساحت حدود ۱۶۵۳۳۰۰ هکتار بین ۳۱ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۴ دقیقه طول شرقی و در محدوده ارتفاعی ۷۰۰ تا ۴۲۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد. متوسط بارش سالیانه آن، ۵۱۴ میلی‌متر برآورد شده است (Yekom Consulting Engineers, 1995). به‌طور کلی بارندگی‌های منطقه بیشتر متأثر از توده‌های مرطوب مدیترانه‌ای است. رطوبت نسبی متوسط ماهیانه از حداقل ۳۲ تا ۳۷ درصد تا حداکثر ۶۸ تا ۷۳ درصد نوسان دارد (Khalili, 2003).

این استان بر اساس روش طبقه‌بندی اقلیمی گوسن به سه طبقه اقلیم استپی سرد، مدیترانه‌ای گرم و خشک و مدیترانه-ای گرم و بر اساس روش طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن به پنج طبقه مرطوب، خیلی مرطوب الف، خیلی مرطوب ب، مدیترانه‌ای و نیمه مرطوب طبقه‌بندی می‌شود (Yaghmaei et al., 2009).

۲. پوشش گیاهی منطقه مطالعاتی

مراعات استان چهارمحال و بختیاری، با وسعتی معادل ۱۰۹۳۰۰۰ هکتار قریب به ۶۶ درصد مساحت استان را به خود اختصاص می‌دهد. براساس مطرح شناخت مناطق اکولوژیک کشور، حدود ۱۰۶ تیپ گیاهی عمده با بیش از

ارتباط یا ارتباط ضعیف تیپ‌های بوت‌زار، درختی و درختچه‌ای با بارندگی بود.

در بررسی و تحلیل تولید درمنه‌زارها بر اساس شاخص‌های خشکسالی هواشناسی، در استان اصفهان که توسط Shirani et al. (2016) انجام گرفت، مشاهده شد که تأثیر بازه‌های زمانی بیشتر از نوع شاخص‌های مورد استفاده برای بررسی خشکسالی می‌باشد و بارش‌های بهاره بیشترین تأثیر را بر روی تولید درمنه‌زارهای استان اصفهان داشته است.

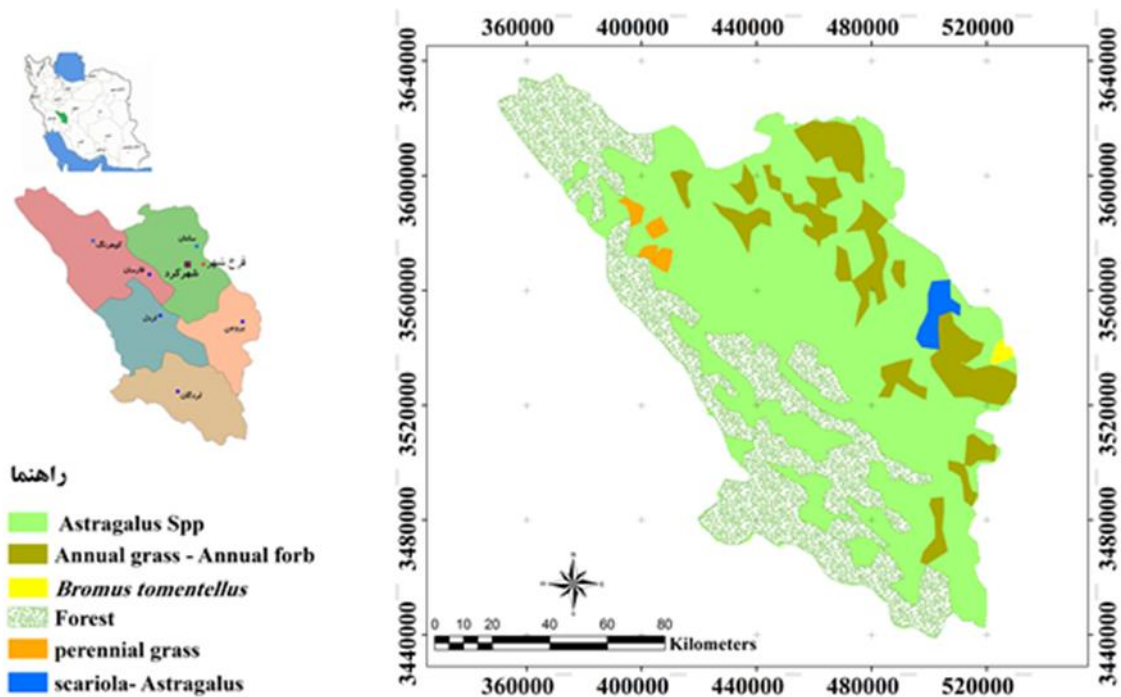
در مطالعه دیگری رابطه تغییرات فنولوژی، غنای گونه‌ای و تولید گیاهان در آمریکا با کمک شاخص گیاهی NDVI مطالعه شد. در این تحقیق میزان درصد پوشش، تولید گیاهان و فنولوژی گیاهان در پلات‌های ۸۱ متری (۹×۹ متری) بررسی شد و رابطه پارامترهای اندازه‌گیری شده با استفاده از رگرسیون خطی بررسی گردید. نتایج حاکی از آن بود که شاخص NDVI با پارامترهای مذکور در اواسط فصل رویش همبستگی بیشتری دارد (Wang et al., 2016).

از این رو با توجه به تغییرپذیری پوشش گیاهی و از طرفی نوسانات عوامل محیطی، ارزیابی و پایش مراتع و جنگل‌ها از جمله موارد حیاتی در مدیریت این اکوسیستم‌ها به‌شمار می‌آیند. با توجه به گستردگی سطح و جایگاه جنگل‌ها و مراتع و همچنین بروز پدیده زوال در سال‌های اخیر که یکی از عوامل مؤثر بر پیدایش آن می‌تواند پدیده خشکسالی و کاهش بارندگی باشد، ضرورت برنامه‌ریزی برای مدیریت بهینه این منابع اهمیت ویژه‌ای می‌یابد (Eskandari et al., 2008).

هزینه‌های اقتصادی، وسعت مراتع و جنگل‌ها و نیز وجود مناطق صعب‌العبور از جمله مسایلی است که ارزیابی و پایش این اکوسیستم‌های طبیعی را با مشکل روبرو می‌کند. از طرفی شدت واکنش اکوسیستم‌ها به تغییرات مدیریتی و اقلیمی از دلایلی است که ضرورت پایش منظم عرصه‌های طبیعی را روشن می‌سازد. استفاده از سنجش از دور یکی از روش‌هایی است که ارزیابی و پایش اکوسیستم‌ها را با هزینه کمتر نسبت به روش‌های زمینی و در مقیاس‌های مختلف

که شامل ۵ تیپ مرتعی شامل (Annual grass-annual forb) (گراسها و فوربهای یکساله)، *Bromus tomentellus* (علف پشمکی) ، - *Scariola spp.* perennial grass (گاو چاق کن - گون)، *Astragalus spp.* (گراس چندساله)، *Astragalus spp.* (گون) و شامل یک تیپ جنگل با غالبیت گونه *Quercus brantii* (بلوط ایرانی) می باشد (شکل ۱).

۱۲۰۰ گونه گیاهی در سطح مراتع استان شناسایی شده است که گونه های مختلف جنس گون (*Astragalus spp.*) در ۵۲ تیپ گیاهی به عنوان گونه اصلی و در سایر تیپها به عنوان گونه همراه با گیاهانی از خانواده گرامینه، لگومها، مرکبیان، چتریان و نعناعیان حضور دارد، مساحت جنگل های استان در حدود ۳۰۷ هزار هکتار است (Fayaz et al., 2011). در این تحقیق مطالعه پوشش گیاهی در یک دیدگاه کلی



شکل ۱. انواع پوشش اراضی در منطقه مورد مطالعه

ها و کالیبراسیون مربوطه صورت گرفت (Pack, 2009). شاخص گیاهی NDVI با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می شود.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در این رابطه مقدار ρ_{NIR} مقدار بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک با طول موج ۸۶۷-۸۴۱ نانومتر (باند ۲ مودیس) و مقدار ρ_{red} به عنوان مقدار بازتاب در باند قرمز با طول موج ۶۷۰-۶۲۰ نانومتر (باند ۱ مودیس) است.

۳. داده های ماهواره ای

در این تحقیق از تصاویر تولیدات ۱۶ روزه شاخص NDVI ماهواره مودیس - ترا (MOD13Q1) با ابعاد تصویر ۲۵۰×۲۵۰ متر استفاده شد که متعلق به روزهای ۲۴ یا ۲۵ ماه می (خرداد) در یک دوره زمانی ۱۵ ساله (۱۳۷۹-۱۳۹۳) بودند. تولیدات مذکور به تعداد ۱۸۰ عدد، با فرمت HDF از سایت سازمان نقشه برداری جغرافیایی آمریکا (USGS) دانلود و با کمک ابزار (MODIS Conservation MCTK Toolkit) در نرم افزار انوی (ENVI) پیش پردازش

۵. شاخص بارندگی استاندارد شده (Standard Precipitation Index) SPI

این شاخص توسط McKee و همکاران از دانشگاه ایالت کلرادو در سال ۱۹۹۳ تدوین شد. اساس آن احتمالات بارندگی برای هر مقیاس زمانی است (McKee et al., 1993). بسیاری از محققین خشکسالی، به قابلیت انعطاف-پذیری این روش اشاره داشته‌اند (Hayes et al., 1999). شاخص SPI برای هر منطقه براساس ثبت بارندگی‌های طولانی مدت آن محاسبه می‌شود. در ابتدا توزیع آماری مناسب، بر آمار بلند مدت بارندگی‌ها برازش داده می‌شود. سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال تبدیل می‌گردد، بطوریکه استاندارد شده و متوسط آن برای هر منطقه و دوره مورد نظر صفر شود (رابطه ۲) (Edwards, 1997). که این توزیع معمولاً گاما در نظر گرفته می‌شود. مقادیر مثبت SPI نشان‌دهنده بارندگی بیشتر از بارش متوسط و مقادیر منفی آن معنای عکس را دارد. طبق این روش دوره خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کمتر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که SPI مثبت گردد. بنابراین مدت دوره خشکسالی با شروع و خاتمه ارقام منفی SPI تعیین می‌شود و مقادیر تجمعی SPI نیز بزرگی و شدت دوره خشکسالی را نشان می‌دهد (جدول ۱).

$$SPI = \frac{X - \bar{X}}{\sigma}$$

رابطه ۲

شاخص خشکسالی = SPI

انحراف معیار = σ

طبق بررسی‌های انجام شده این شاخص توانایی کافی جهت پایش پوشش گیاهی در مناطق نیمه خشک را دارد که در مناطق بسیار وسیع نیز استفاده شده است (Richard and Pocard, 1998).

۴. داده‌های اقلیمی مورد نیاز

در تحلیل خشکسالی یک منطقه هر چه که دوره آماری ثبت شده برای ایستگاه‌ها بیشتر باشد، دقت نتایج بیشتر خواهد شد. نکته مهم دیگر در انتخاب ایستگاه‌ها، پراکندگی مناسب آنها در سطح استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد. با توجه به این موارد، از بین ایستگاه‌های سینوپتیک، اقلیم‌شناسی، تبخیرسنجی و باران‌سنجی در داخل و اطراف استان چهارمحال و بختیاری، ۳۲ ایستگاه که دارای بیشترین دوره آماری بودند، برای این پژوهش انتخاب شدند. ایستگاه‌های سینوپتیک استان شامل بروجن، شهرکرد، کوه‌رنگ و لردگان، ایستگاه‌های اقلیم‌شناسی شامل آورگان، امام قیس، یل زمانخان و دزک و ایستگاه‌های تبخیرسنجی منتخب نیز شامل منج، دزک-آباد و بهشت‌آباد و سایر ایستگاه‌ها شامل ایستگاه‌های باران‌سنجی استان و ایستگاه‌های مجاور استان هستند. با بررسی‌های انجام شده در نهایت دوره آماری مشترک ۱۵ ساله از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳ میلادی برای انجام محاسبات و تحلیل خشکسالی منطقه انتخاب شد.

میانگین بارندگی = \bar{X}

مقدار بارندگی = X

جدول ۱. استاندارد وضعیت بارش بر اساس شاخص SPI (خداقلی، ۱۳۸۷)

وضعیت خشکسالی	مقدار شاخص SPI
شدیدا مرطوب	۲ و بالاتر
بسیار مرطوب	۱/۹۹ تا ۱/۵
مرطوب متوسط	۱ تا ۱/۴۹
مرطوب ملایم	۰/۹۹ تا ۰/۵
تقریبا نرمال	-۰/۴۹ تا -۰/۴۹
خشک ملایم	-۰/۹۹ تا -۰/۵
خشک متوسط	-۱ تا -۱/۴۹
بسیار خشک	-۱/۵ تا -۱/۹۹
شدیدا خشک	-۲ و کمتر

۵-۱. محاسبه شاخص SPI

به منظور بررسی میزان تأثیر بارش و خشکسالی بر تغییرات پوشش گیاهی در ۳۲ ایستگاه انتخابی، شاخص SPI در پنج مقیاس زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه محاسبه گردید. تعیین SPI در دوره‌های زمانی کوتاه مدت (سه، شش و نه ماهه) و بلندمدت (۱۲ و ۲۴ ماهه) انجام شد. سری‌های زمانی کوتاه مدت برای بررسی خشکسالی‌های کشاورزی و سری‌های بلندمدت برای بررسی خشکسالی‌های هیدرولوژیکی کاربرد دارند (Huete et al., 2002). تمامی مقیاس‌های زمانی منتهی به اوایل خرداد (ماه می) یعنی زمان حداکثر رویش پوشش گیاهی استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد. تعیین پراکنش SPI در هر یک از مقیاس‌های زمانی با استفاده از پهنه‌بندی مقدار SPI در نرم افزار ArcGIS انجام گرفت و نقشه‌های سطحی SPI با استفاده از روش میانبایی کریجینگ (kriging) تهیه شدند.

روش کریجینگ بر اساس تعریف واریوگرام استوار بوده و از واریوگرام برای محاسبه وزن در این روش استفاده می‌شود. معادله اساسی کریجینگ به شکل رابطه ۳ است.

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i \times f_i \quad \text{رابطه ۳}$$

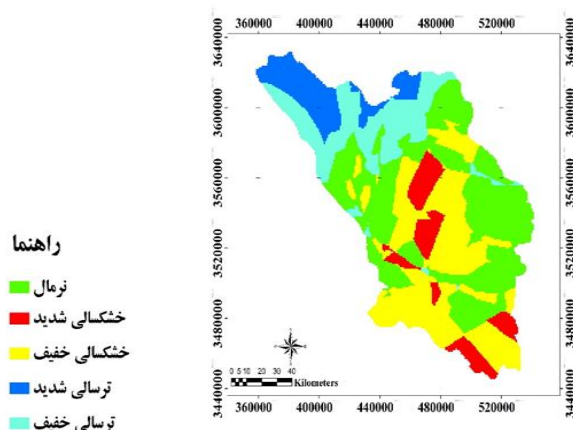
که در آن $F(x, y)$ مقدار تخمین زده شده شاخص در نقطه‌ای با مختصات x, y و n تعداد نقاط اندازه‌گیری شده، w_i وزن نسبت داده شده به نقطه i و f_i مقادیر شاخص در نقطه اندازه‌گیری i است. مقدار وزن از طریق مدل واریوگرام تامین می‌شود (Fathi et al., 2014).

۶. بررسی تغییرات فصلی پوشش گیاهی

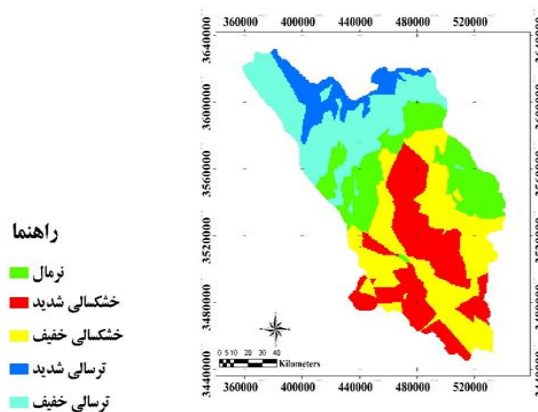
برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی در طول سال از تصاویر ۱۶ روزه مودیس استفاده شد و در هر دوره زمانی از مقادیر NDVI سال‌های مختلف میانگین‌گیری شد. وضعیت خشکسالی نیز با کمک شاخص SPI ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه به دست آمد. شکل ۲ نمونه‌ای از نقشه‌های تهیه شده SPI طبقه‌بندی شده در مقیاس زمانی ۳ و ۱۲ ماهه مختوم به ماه می (اوایل خرداد) را نشان می‌دهد. ضمن اینکه آزمون معنی‌داری رگرسیون بین شاخص گیاهی (NDVI) و شاخص خشکسالی (SPI) نیز انجام شد. در نهایت رابطه بارندگی و پوشش گیاهی در تیپ‌های مختلف گیاهی شامل (*Annual grass-annual forb*)، (گراس‌ها و فورب-های یکساله)، *Bromus tomentellus* (علف پشمکی)، *Scariola spp. -Astragalus Spp.* (گاو چاق کن-گون)، *Astragalus spp.* (گراس چندساله)،

فنولوژیک تیپ‌های گیاهی در مقاطع زمانی مختلف نیز ترسیم گردید (Brown and de Beurs, 2008).

(گون) و شامل یک تیپ جنگل با غالبیت گونه *Quercus brantii* (بلوط ایرانی) می‌باشد محاسبه شد. نمودار تغییرات



(ب)



(الف)

شکل ۲. نقشه طبقه بندی شاخص SPI، در مقیاس ۳ ماهه (الف) و ۱۲ ماهه (ب)

نتایج

کلی منطقه جنگلی نسبت به تیپ‌های مرتعی همبستگی کمتری را با شاخص SPI نشان داد ولی به دلیل وجود گیاهان یکساله در زیر اشکوب در اوایل خرداد، میزان همبستگی بیشتری با SPI سه ماهه مشاهده شد. در مناطق مرتعی نیز با توجه به نوع تیپ گیاهی میزان همبستگی پوشش گیاهی با شاخص خشکسالی SPI متفاوت بود به طوری که تیپ‌های مرتعی یکساله نسبت به گراس‌های چندساله همبستگی بیشتری با SPI سه ماهه و شش ماهه داشتند و حساسیت کمتری در دوره‌های ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه دیده شد. تیپ مرتعی *Astragalus spp.* دارای بیشترین همبستگی میان SPI ۹ ماهه و NDVI بوده و میزان همبستگی ۳، ۱۲ و ۲۴ ماهه در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. در حالی که تیپ‌های *Bromus tomentellus* و گراس‌های چندساله همبستگی بسیار مشابهی با شاخص SPI در دوره‌های بررسی شده داشتند.

بررسی میزان همبستگی تغییرات پوشش و میزان خشکسالی نتایج این تحقیق بیانگر این است که میزان بارش و متعاقب آن خشکسالی نقش مهمی در تغییرات پوشش گیاهی ایفا می‌کند. بررسی میزان همبستگی میان شاخص NDVI و SPI بیانگر این نکته است که در تیپ‌های گیاهی مختلف همبستگی‌های متفاوتی میان خشکسالی و تغییرات شاخص گیاهی NDVI دیده می‌شود (جدول ۲). چنانچه تیپ‌های مرتعی گراس‌اند نسبت به بوته‌ای‌ها همبستگی بیشتری نشان دادند و بیشترین همبستگی میان شاخص NDVI و SPI سه ماهه مشاهده شد.

در این تحقیق هم همانند مطالعه Ji & Peters (2003)، Hadian et al. (2014) و Baaghideh et al. (2011) شاخص SPI دوره زمانی سه ماهه بالاترین ضریب همبستگی را با شاخص NDVI نشان داد. به طور

جدول ۲. میزان همبستگی بین تغییرات شاخص NDVI و SPI در هریک تیپ‌های گیاهی □

دوساله	سالیانه	سه ماهه منتهی به خرداد	شش ماهه منتهی به خرداد	نه ماهه منتهی به خرداد	نام تیپ گیاهی
۰/۴۳(۰/۰۱۱)**	*۰/۴۳۸(۰/۰۱)	۰/۴۴(۰/۰۰۹)*	۰/۳۴۱(۰/۰۲۸)	۰/۳۴(۰/۰۲۹)**	<i>Astragalus Spp</i>
۰/۱۷(۰/۱۱۸)	۰/۲۹(۰/۰۳۸)**	۰/۲۸(۰/۰۴۱)**	۰/۴(۰/۰۱۱)**	۰/۳۹(۰/۰۱۲)**	<i>Scariola spp.-Astragalus spp.</i>
۰/۲۷(۰/۰۵۹)	۰/۴۵(۰/۰۰۷)*	۰/۴۷(۰/۰۰۶)*	۰/۷۰(۰)*	۰/۷۶(۰)*	<i>Annual grass - Annual forb</i>
۰/۳۹۶(۰/۰۲۱)**	۰/۴(۰/۰۲۱)**	۰/۳۹۵(۰/۰۲۲)**	۰/۶۴۳(۰/۰۰۱)*	۰/۷۱(۰)*	<i>Bromus tomentellus</i>
۰/۳۹۵(۰/۰۲۲)**	۰/۴(۰/۰۲۱)**	۰/۴(۰/۰۲۱)**	۰/۶۶(۰/۰۰۱)*	۰/۷۰۹(۰)*	<i>perennial grass</i>
۰/۲۰(۰/۱۰۵)	۰/۱۹(۰/۱۰۸)	۰/۱۸(۰/۱۱۴)	۰/۳(۰/۰۳۵)*	۰/۳۲(۰/۰۰۳)**	<i>Forest (Quercus brantii) b</i>

* در سطح یک درصد معنی دار ** در سطح پنج درصد معنی دار

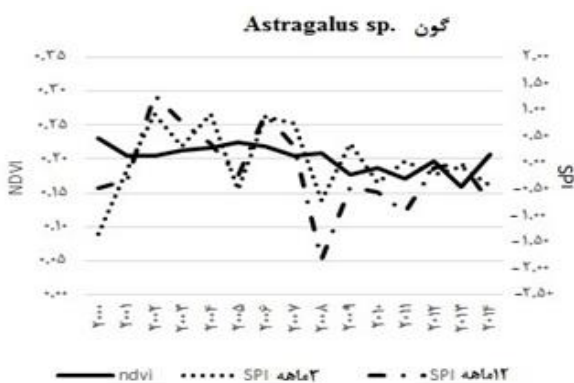
□ اعداد سمت چپ (درون جدول) نشان دهنده مقادیر ضریب تبیین (r^2) و اعداد داخل پرانتز نشان دهنده آزمون معنی داری (p-value)

همبستگی (r^2) در نمودار تیپ جنگلی ملاحظه می‌شود.

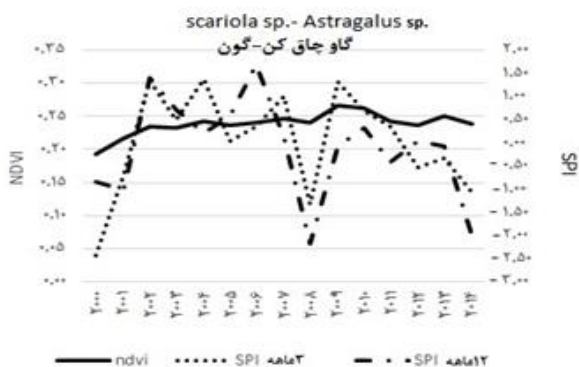
بررسی تغییرات خشکسالی و شاخص گیاهی NDVI

اشکال ۳ تا ۸ تغییرات شاخص NDVI و شاخص SPI

در تیپ‌های مختلف مرتعی و جنگلی را در سال‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. با دقت در این نمودارها می‌توان دریافت که تیپ گیاهی با فرم‌های مختلف دامنه نوسان متفاوتی دارند. در بین تیپ‌های گیاهی مطالعه شده در مناطق مرتعی همبستگی بیشتری میان تغییرات پوشش گیاهی و SPI مشاهده می‌شود، ضمن اینکه در تیپ *Annual grass-Annuual forb* نیز این میزان بیشتر بوده و تغییرات فاحش‌تری را نسبت به سایر تیپ‌های مرتعی نشان می‌دهد. به نحوی که در سال ۲۰۰۸ که کمترین میزان بارندگی رخ داده و SPI ۳ و ۱۲ ماهه به کمترین میزان خود در بین سال‌های مورد مطالعه (به ترتیب ۱/۵- و ۲/۱-) رسیده است، شاخص NDVI نیز پایین‌ترین میزان (۰/۲۴) را در بین سال‌های مورد مطالعه، نشان می‌دهد. در مورد بالاترین میزان SPI ۳ و ۹ ماهه و NDVI به ترتیب (۰/۹۱، ۰/۵ و ۰/۳) در سال ۱۳۸۵ (۲۰۰۶ میلادی) نیز این مورد صدق می‌کند (شکل ۶). سپس، بالاترین همبستگی (r^2) و هماهنگی بین تغییرات پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص SPI را می‌توان در نمودار مرتبط با گونه *Bromus tomentellus* مشاهده نمود (شکل ۷). کمترین میزان

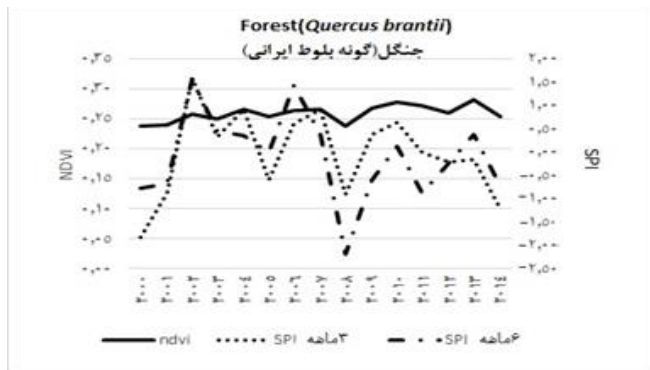


شکل ۳



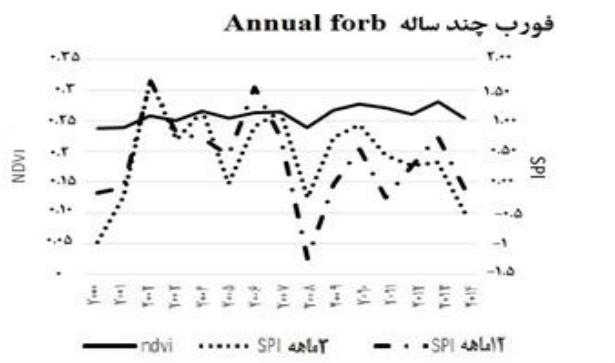
شکل ۴

قابل توجهی گذاشته و باعث شده میزان NDVI به پایین-ترین حد خود در طی سال‌های مورد مطالعه برسد.

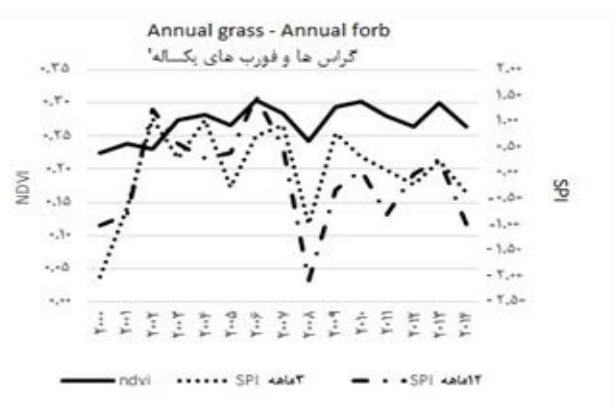


شکل ۸

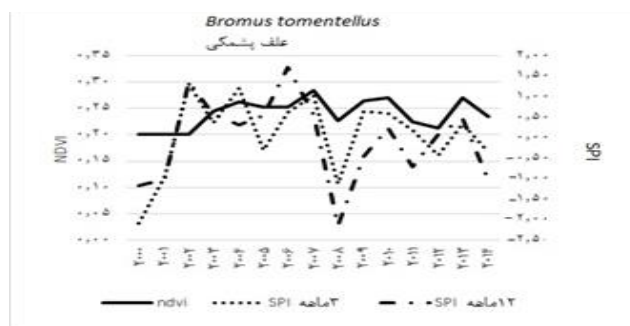
بررسی تغییرات بارندگی و شاخص گیاهی NDVI شکل‌های ۹ تا ۱۴ به مقایسه تغییرات ماهانه میزان بارش و شاخص گیاهی NDVI در تیپ‌های مختلف مرتعی و جنگلی مورد مطالعه پرداخته است. نوسان میانگین میزان شاخص گیاهی NDVI در طی ماه‌های مختلف در طول سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳ بیانگر آن است که مقادیر این شاخص در ماه‌های مختلف سال در حال نوسان است به طوری که بسته به نوع تیپ گیاهی بین ماه‌های اردیبهشت و خرداد بیشترین میزان را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه خشکسالی‌ها، مقیاس‌های زمانی خاص خود را مورد بررسی قرار می‌دهند و هیچ کدام از مقیاس‌های زمانی منتخب منطبق بر کل سال میلادی نبود، برای بررسی رابطه پوشش گیاهی و بارش بارندگی سالیانه در این قسمت با پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج با جزئیات مورد بحث واقع شد. این مقادیر در طول فصل تابستان به تدریج کاهش یافته و در فصول سرد (پاییز و زمستان) به حداقل خود می‌رسد. همانطور که نمودارها نشان می‌دهد در مناطق مرتعی همبستگی شاخص NDVI و بارندگی بالاتر می‌باشد، اما در مناطق مرتعی با توجه به نوع گیاه و فرم رویشی گونه‌ها، همبستگی‌های متفاوتی میان شاخص گیاهی و



شکل ۵



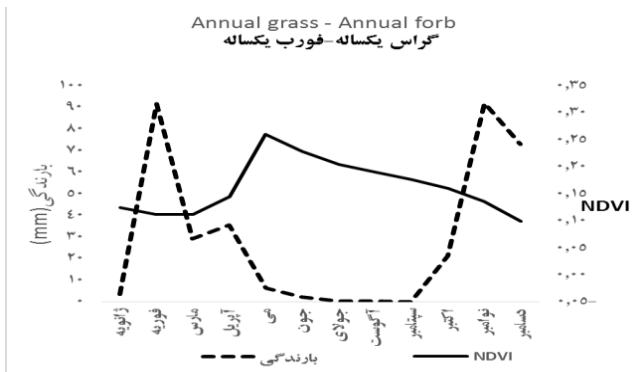
شکل ۶



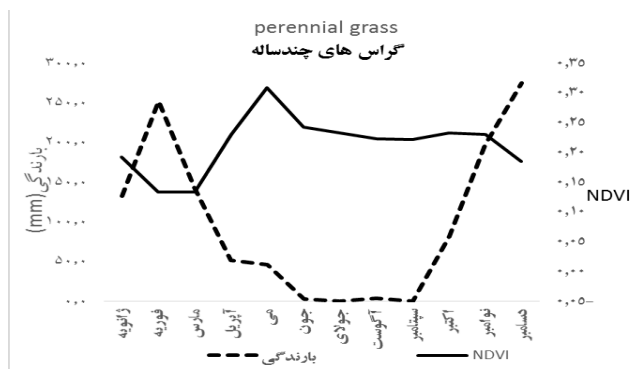
شکل ۷

پایین‌ترین میزان شاخص NDVI و SPI در سال‌های ۳۸۷ و ۱۳۹۱ در تمامی تیپ‌ها قابل مشاهده می‌باشد که در این سال‌ها خشکسالی شدیدی به وقوع پیوسته که بر اکثر تیپ‌های گیاهی مورد مطالعه اثر قابل توجهی گذاشته مطالعه اثر

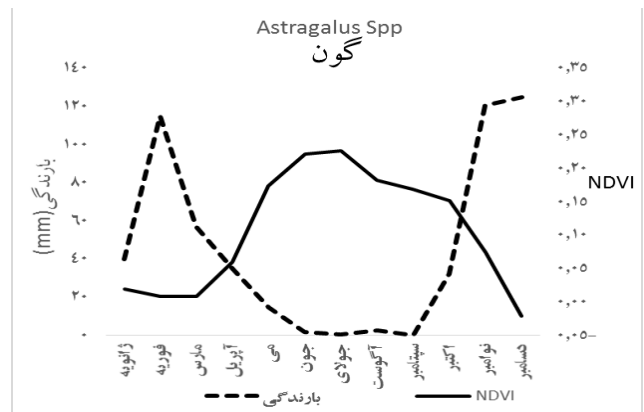
بارندگی مشاهده می‌شود. به طوری که مناطق که پوشش گراس و فورب یکساله بیشترین همبستگی را با میزان بارندگی نشان می‌دهد و بنابراین این مناطق بیشترین وابستگی را به میزان بارش دارد. این نکته نشان می‌دهد که این مناطق به خشکسالی حساسیت بالایی دارند و این حساسیت در مناطق جنگلی، به میزان کمتری دیده می‌شود.



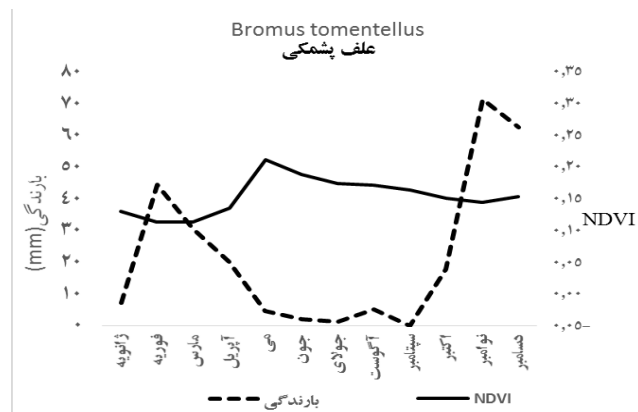
شکل ۱۱



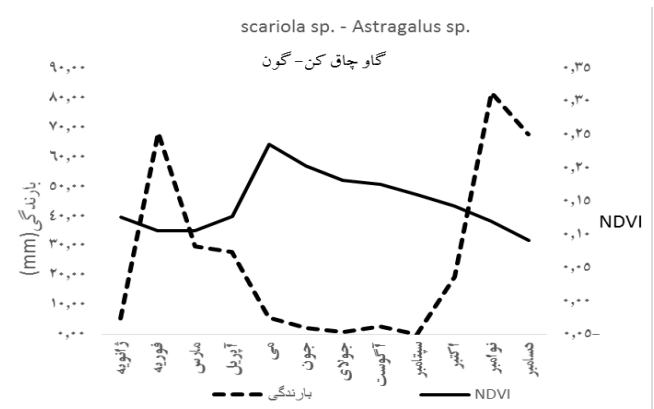
شکل ۱۲



شکل ۹



شکل ۱۳



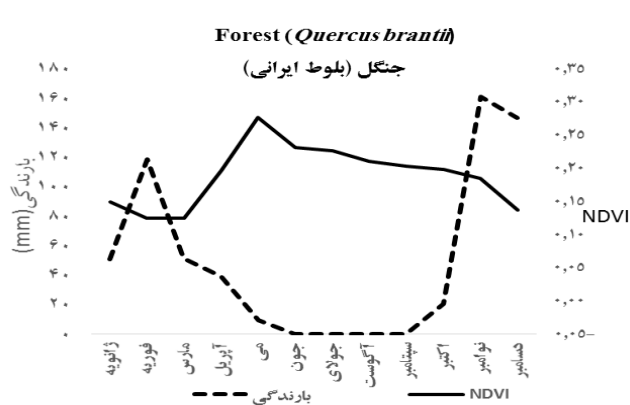
شکل ۱۰

است، اما تداوم کمتری دارد. به همین دلیل در بازه زمانی کوتاه مدت، تعداد وقوع خشکسالی در سه ماه بیشتر از سایر بازه‌های زمانی است. Yazdani و همکاران (۲۰۱۳) نیز نشان دادند که تعداد خشکسالی‌ها در فواصل زمانی کوتاه‌تر بیش از تعداد آن‌ها در فواصل زمانی طولانی‌تر است.

به طور کلی، نتایج تحقیق حاضر نشان داد شاخص گیاهی NDVI، به دلیل همبستگی بالا با میزان تاج پوشش گیاهی، در مطالعه و بررسی تغییرات تیپ‌های گیاهی در اثر پدیده‌های اقلیمی، بخصوص خشکسالی و بارندگی، کارایی بسیار خوبی از خود نشان می‌دهد که می‌توان از آن در پهنه‌بندی و پایش این پدیده و تأثیر آن بر زوال و خشکیدگی تیپ‌های مختلف رویشی استفاده کرد.

بررسی تغییرات شاخص گیاهی و SPI طی دوره مورد مطالعه (۱۳۷۹-۱۳۹۳) حاکی از آن بود که نوع فرم رویشی و گونه گیاهی نقش مهمی در تأثیرپذیری پوشش گیاهی از خشکسالی در سال‌های مختلف نشان می‌دهند. در این مطالعه میزان همبستگی متفاوتی میان تغییرات پوشش گیاهی و شاخص SPI بسته به نوع تیپ گیاهی دیده شد. Hadian و همکاران (۲۰۱۳)، Vicente-Serrano (۲۰۰۶)، Piao (۲۰۰۳)، Jagerbrand و همکاران (۲۰۰۹)، Chamaille-jammes و Fritz (۲۰۰۹)، نیز فرم رویشی و نوع گونه گیاهی را عامل مهمی در تأثیرپذیری پوشش گیاهی از خشکسالی بیان کردند.

در این تحقیق شاخص SPI دوره زمانی سه‌ماهه بالاترین ضریب همبستگی را با شاخص NDVI نشان داد. سایر مطالعات مانند مطالعه Ji & Peters (۲۰۰۳) و Hadian و همکاران (۲۰۱۴) مؤید این امر می‌باشد. علت این حالت را می‌توان پاسخ تاخیردار پوشش گیاهی به تغییرات بارش به سبب ظرفیت نگهداری آب در خاک دانست. این شاخص به صورت غیرمستقیم از شرایط بارشی تأثیر می‌پذیرد. به این معنی که تأثیر شرایط کم‌آبی یا پرآبی با تأخیر، ابتدا در پوشش گیاهی منعکس شده و سپس کمیت شاخص را تغییر می‌دهد. مطالعه Baaghdeh و همکاران (۲۰۱۱) نیز این تأخیر را با طول متوسط سه ماه تأیید می‌کند.



شکل ۱۴

اشکال ۱۴-۹- مقایسه تغییرات ماهانه میزان بارش و شاخص گیاهی NDVI در تیپ‌های مختلف مرتعی و جنگلی

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه توان شاخص ماهواره‌ای NDVI به عنوان یک شاخص معتبر و فراگیر و شاخص خشکسالی SPI، در تشخیص تغییرات رخ داده در پوشش گیاهی در استان چهارمحال و بختیاری، بررسی شد. فرض اولیه در این مطالعه این بود که تغییرات رخ داده در پوشش گیاهی در نتیجه خشکسالی بوده است. شاخص NDVI بر اساس ضرایب انعکاسی تصاویر ماهواره‌ای در باندهای مناسب در دوره رشد طی سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۹۳ محاسبه شد. آمار بارش ماهانه ۳۲ ایستگاه استان چهارمحال و بختیاری و ایستگاه‌های اطراف استان در دوره مذکور نیز استخراج و سپس شاخص SPI در دوره‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه محاسبه شد. سپس شش تیپ عمده گیاهی استان چهارمحال و بختیاری انتخاب و میزان همبستگی بین تغییرات شاخص NDVI و SPI در هر یک تیپ‌های گیاهی محاسبه شد. مشخص گردید که شاخص NDVI پاسخ مناسبی نسبت به تغییرات ناشی از خشکسالی نشان می‌دهد و قابلیت خوبی برای تشخیص تغییر رخ داده، دارد.

بررسی شاخص در بازه‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۲۴ ماهه نشان داد که نوسانات خشکسالی در بازه‌های زمانی کوتاه مدت در مقایسه با بازه‌های زمانی بلندمدت بیشتر

بنابراین زوال پوشش جنگلی بخصوص بلوط ایرانی که گونه غالب جنگلی استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد تأثیر کمتری از خشکسالی کوتاه مدت می‌پذیرد و خشکسالی‌های درازمدت به دلیل کاهش مقاومت گیاه در برابر عوامل بیماری‌زا تأثیر بیشتری بر ضعیف شدن و زوال این نوع پوشش دارد. Assal و همکاران (۲۰۱۶) اثرات روند مکانی و زمانی خشکسالی در زوال اکوسیستم‌های جنگلی مناطق نیمه خشک آمریکا را با استفاده از ستجش از دور بررسی نموده و چنین نتیجه‌گیری کردند که خشکسالی در درازمدت می‌تواند بر ویژگی‌های عملکردی، فیزیولوژیک، ساختاری و جمعیتی اکوسیستم‌های جنگلی اثرگذار باشد.

Liang و همکاران (۲۰۰۵)، نیز به این نتیجه دست یافتند که حساسیت مناطق علفزار نسبت به خشکسالی نسبت به سایر تیپ‌های گیاهی بیشتر است. این امر موجب می‌شود که گیاهان مرتعی امکان استفاده از بارش سایر فصول را نداشته باشند و بارش فصل بهار که مصادف با حداکثر رشد و فتوسنتز گیاهان است، نقش مهمتری را در تغییرات پوشش گیاهی ایفا کند.

میزان همبستگی تغییرات شاخص پوشش گیاهی (NDVI) در تیپ‌های مرتعی با میزان بارندگی و خشکسالی بسیار زیادتر است و میزان این همبستگی براساس فرم رویشی و حتی نوع گیاهان غالب متفاوت است. تغییرات تاج پوشش در منطقه جنگلی کمترین همبستگی را با میزان بارندگی در فصل بهار نشان می‌دهد اما بیشترین همبستگی میان بارندگی سالیانه و تغییرات پوشش گیاهی در این تیپ‌گیاهی مشاهده می‌شود. بارندگی زمستان در منطقه جنگلی به عنوان عاملی مؤثر در تغییرات پوشش گیاهی به- شمار می‌رود. Fay و همکاران (۲۰۰۲) و Hogg و همکاران (۲۰۰۸) و Allen و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیقات خود به نتایج مشابهی دست پیدا کردند.

گیاهان مرتعی در مقایسه با درختان نسبت به بارندگی و دما حساس‌تر هستند. در مناطق جنگلی بارش زمستان به

نتایج نشان داد که در بین تیپ‌های گیاهی مطالعه شده، در مناطق مرتعی و بخصوص در تیپ گراس و فورب یکساله همبستگی بیشتری میان تغییرات پوشش گیاهی و شاخص SPI مشاهده می‌شود (جدول ۲). این مطلب نشان- دهنده اثر بیشتر کاهش بارندگی بر زوال و از بین رفتن پوشش گیاهی مرتعی نسبت به پوشش جنگلی می‌باشد. دلیل این امر را چنین می‌توان بیان کرد که در مناطق مرتعی گیاهان به دلیل وجود ریشه‌های کوتاه‌تر نسبت به جنگل‌های طبیعی حساسیت بیشتری نسبت تغییرات بارندگی نشان می‌دهند و در بین تیپ‌های مرتعی نیز گیاهان گراسلند نسبت به مناطق بوته‌زار حساسیت بیشتری دارند زیرا در گیاهان بوته‌ای به دلیل وجود ساقه‌های چوبی و امکان ریشه‌دوانی عمیق‌تر نسبت به گراس‌ها، امکان نگهداری آب در ساختمان گیاهان نسبت به گراس‌ها بیشتر می‌باشد. مطالعات Jain و همکاران (۲۰۱۰)، Scuderi and Yuhas (۲۰۰۹) و Mueller، و همکاران (۲۰۰۵) و Hadian و همکاران (۲۰۱۳ و ۲۰۱۴) مؤید این امر می‌باشد.

پژوهش SU و همکاران (۲۰۰۸) در چین که به مقایسه تغییرات جوامع گیاهی مختلف در ارتباط با شرایط آب و هوایی پرداختند نشان داد که گیاهان بوته‌ای به دلیل توانایی جذب آب از پروفیل‌های مختلف خاک نسبت به گیاهان علفی حساسیت کمتری در مقابل خشکی از خود نشان می‌دهند و نیز گیاهان چوبی نسبت به گیاهان بوته‌ای حساسیت کمتری دارند. این بررسی نشان‌دهنده حساسیت بسیار زیاد گیاهان بیابانی به میزان بارندگی بود به طوری که بیوماس این گیاهان با میزان بارندگی سالیانه همبستگی در حدود ۹۵٪ نشان داد.

طبق نتایج این مطالعه در مناطق جنگلی نیز بیشترین همبستگی میان شاخص خشکسالی دراز مدت (۱۲ و ۲۴ ماهه) و تغییرات پوشش گیاهی دیده می‌شود (جدول ۲). زیرا درختان به دلیل دارا بودن ریشه‌های عمیق قادر به استفاده از رطوبت موجود در طبقات مختلف خاک می‌باشند (Hadian et al., 2014; Mesdaghi, 2003).

دارا است و بیانگر میزان تغییرات پوشش گیاهی بر اثر نوسان بارش در مقایسه با سال‌های گذشته است. در این منطقه میزان همبستگی پوشش گیاهی و شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف نشان داد که در تیپ‌های گیاهی مختلف شرایط منطقه، زمان بارندگی و نوع فرم و گونه گیاهی نقش مهمی در میزان تأثیرات بارش و خشکسالی بر پوشش گیاهی در هر منطقه دارد. بنابراین با مطالعه و شناخت پوشش گیاهی و استفاده از شاخص NDVI جهت بررسی تغییرات پوشش گیاهی می‌توان تیپ‌های حساس و آسیب‌پذیر در شرایط خشکسالی را تشخیص داده و به بررسی پدیده زوال و خشکیدگی در پوشش گیاهی جنگلی و مرتعی در مراتع زاگرس که از پدیده‌های در حال گسترش و نگران‌کننده در سال‌های گذشته است، پرداخت و در جهت کاهش خسارات ناشی از این پدیده در این عرصه‌های طبیعی برنامه‌ریزی کرد. همچنین پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی در صورت در دسترس بودن اطلاعات و نقشه‌های خاک‌شناسی و سایر اطلاعات محیطی تأثیر عوامل دیگری غیر از خشکسالی نیز بر تغییرات پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گیرد.

سپاسگزاری

لازم است از سرکار خانم فاطمه هادیان که در اجرای مراحل مختلف این تحقیق نهایت همکاری را داشتند، صمیمانه سپاسگزاری کنیم.

References

- Alijani, B., Mahmoodi, P., Saligheh, M., Rigi, A., 2011. Investigating variations of the annual minimum and maximum temperatures in Iran. *Journal of geographic research*, 102 (3): 101-122 (In Persian).
- Allen, C. D., Macalady, A. K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D. D., Hogg, E. T., 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259 (4): 660-684.

دلیل نفوذ در طبقات عمقی خاک نقش مهمی در تغییرات پوشش گیاهی ایفا می‌کند، اما در مناطق مرتعی در مقایسه با جنگل، به دلیل استفاده از طبقات سطحی خاک تأثیر بارش سالیانه و زمستان کمتر است (Bates et al., 2006; Zeppel et al., 2014)، که بسته به فرم رویشی و حتی گونه گیاهان منطقه مقادیر متفاوتی را نیز نشان می‌دهد (Mesdaghi, 2003).

افزایش میزان همبستگی شاخص NDVI با خشکسالی در مناطق مرتعی نسبت به جنگل بیانگر این است که مناطق مرتعی نسبت به جنگل حساسیت بیشتری در مقابل تغییرات بارندگی از خود نشان می‌دهد. در مناطق مرتعی با توجه به نوع گیاه و فرم رویشی گونه‌ها، همبستگی‌های متفاوتی میان شاخص‌های گیاهی و خشکسالی و بارش مشاهده شد، به طوری که منطقه با پوشش گراس و فورب یکساله بیشترین همبستگی را با شاخص خشکسالی نشان داد، بنابراین این مناطق بیشترین وابستگی را به میزان بارش داشت. این نکته نشان می‌دهد که این مناطق به خشکسالی حساسیت بالایی دارند. مقدار همبستگی در منطقه مرتعی با فرم رویشی بوته-ای و فورب‌های چندساله کاهش می‌یابد (Schwinning & Sala, 2004).

Bates و همکاران (۲۰۰۵) در بررسی اثر زمان بارندگی بر جوامع *Artemisia tridentata* در مناطق استپی Great basin آمریکا در طی ۷ سال چنین نتیجه‌گیری کردند که اگر زمان بارندگی از زمستان به بهار تغییر کند، گراس‌های با ریشه‌های کم عمق، دارای یک مزیت رقابتی در مقایسه با بوته‌ها است و این گیاهان در برابر اختلالات اقلیمی دارای یک حالت ارتجاعی در مقایسه با بوته‌ای‌ها و درختان می‌باشند.

به طور کلی نتایج تحقیق حاضر نشان داد که شاخص گیاهی NDVI حاصل از تصاویر ۱۶ روزه مودیس کارآیی بسیار خوبی را در مطالعه و بررسی تغییرات تیپ‌های گیاهی در اثر پدیده‌های اقلیمی بخصوص خشکسالی از خود نشان می‌دهد. همچنین، شاخص SPI امکان مقایسه مناطق مختلف را در مقیاس‌های زمانی مختلف مانند ماهیانه و سالیانه را

- Edwards, D. C., 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. DTIC Document.
- Eskandari, N., Alizadeh, A., Mahdavi, F., 2008. Range management polices in Iran, Pooneh publication, 196p (In Persian).
- Fathi, A., Beygi, H., Davoodian, A., Tabatabaei, H., 2014. comparison of spatial interpolation methods and selecting the appropriate method for mapping of nitrate and phosphate in the Shahrekord Aquifer. Scientific Journal of Irrigation and Water Engineering, 15: 51-63 (In Persian).
- Fayaz, M., 2012. Project of ecological zones of the Iran, plant types in Chaharmahal and Bakhtiari province, Iran Forestry and Rangeland Research Institute, 86p (In Persian).
- Foster, D. R., Knight, D. H., Franklin, J. F., 1998. Landscape patterns and legacies resulting from large, infrequent forest disturbances. Ecosystems, 1 (6): 497-510.
- Gu, Y., Hunt, E., Wardlow, B., Basara, J. B., Brown, J. F., Verdin, J. P., 2008. Evaluation of MODIS NDVI and NDWI for vegetation drought monitoring using Oklahoma Mesonet soil moisture data. -Geophysical Research Letters, 35 (22).
- Hadian, F., Jafari, R., Bashari, H. Soltani, S., 2013. Monitoring the Effect of Rainfall on Vegetation Changes Using Remote Sensing Techniques in a 12-Year Period, case study: Lordegan and Semirom. Journal of Range and Watershed Management, 66 (4): 621-632 (In Persian).
- Hadian, F., Hosseini, S., Seyedhasani, M., 2014. Monitoring Vegetation Changes Using Remote Sensing Techniques and rainfall data in northwestern of Iran. Journal of range and desert research, 21 (4): 756-768 (In Persian).
- Hamzehpour, M., Kia-daliri, H., Bordbar, K., 2011. Preliminary study of manna oak (*Quercus brantii* Lindl.) tree decline in Dashte-Barm of Kazeroon, Fars province. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 19 (2): 352-363 (In Persian).
- Hayes, M. J., Svodoba, M. D., Wilhite, D. A., Vanyarkho, O. V., 1999. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. Bulletin of the American Meteorological Society, 80 (3): 429.
- Hejazi zadeh, A., Fatahi, A., Ghaemi, H., 2003. Drought monitoring using standardized precipitation index, Case study of Chaharmahal Bakhtiari province., Geography Science, 23-45 (In Persian).
- Hogg, E., Brandt, J., Michaelian, M., 2008. Impacts of a regional drought on the productivity, dieback, and
- Assal, T. J., Anderson, P. J., Sibold, J., 2016. Spatial and temporal trends of drought effects in a heterogeneous semi-arid forest ecosystem. Forest Ecology and Management, 365: 137-151.
- Baaghdeh, M., Alijani, B., Ziaian, P., 2011. Investigating the Possibility of Use of NDVI Index in Drought Analysis in Isfahan Province, Geographical Studies of Aridlands, 4:1-16.
- Baaghdeh, M., 2007. Investigation and monitoring of drought in Isfahan province using multi-time images of NOAA / AVHRR, NDVI index and GIS, PhD thesis of climatology, Kharazmi university.
- Baguskas, S. A., Peterson, S. H., Bookhagen, B., Still, C. J., 2014. Evaluating spatial patterns of drought-induced tree mortality in a coastal California pine forest. Forest Ecology and Management, 315: 43-53.
- Bates, J., Svejcar, T., Miller, R., Angell, R., 2006. The effects of precipitation timing on sagebrush steppe vegetation. Journal of Arid Environments, 64 (4): 670-697.
- Birtwistle, A. N., Laituri, M., Bledsoe, B., Friedman, J. M., 2016. Using NDVI to measure precipitation in semi-arid landscapes. Journal of Arid Environments, 131: 15-24.
- Brown, M. E., de Beurs, K. M., 2008. Evaluation of multi-sensor semi-arid crop season parameters based on NDVI and rainfall. Remote Sensing of Environment, 112 (5): 2261-2271.
- Chamaillé-Jammes, S., Fritz, H., 2009. Precipitation-NDVI relationships in eastern and southern African savannas vary along a precipitation gradient. International Journal of Remote Sensing, 30(13): 3409-3422.
- Collins, S. L., 2002. Altered rainfall patterns, gas exchange, and growth in grasses and forbs. International Journal of Plant Sciences, 163 (4): 549-557.
- Dabrowska-Zielinska, K., Kogan, F., Ciolkosz, A., Gruszczynska, M., Kowalik, W., 2002. Modelling of crop growth conditions and crop yield in Poland using AVHRR-based indices. International Journal of Remote Sensing, 23 (6): 1109-1123.
- Dorman, M., Svoray, T., Perevolotsky, A., Sarris, D., 2013. Forest performance during two consecutive drought periods: diverging long-term trends and short-term responses along a climatic gradient. Forest Ecology and Management, 310: 1-9.
- Du Plessis, W., 1999. Linear regression relationships between NDVI, vegetation and rainfall in Etosha National Park, Namibia. Journal of Arid Environments, 42 (4): 235-260.

- Mirmoosavi, H., Karimi, H., 2013. Study of the effect of drought on vegetation using MODIS images, Case study Kordestan province. *Geography and development*, 31: 57-76 (In Persian).
- Mueller, R. C., Scudder, C. M., Porter, M. E., Talbot Trotter, R., Gehring, C. A., Whitham, T. G., 2005. Differential tree mortality in response to severe drought: evidence for long-term vegetation shifts. *Journal of Ecology*, 93 (6): 1085-1093.
- Pack, S. M., 2009. A MODIS Imagery Toolkit for ArcGIS Explorer.
- Peters, A. J., Walter-Shea, E. A., Ji, L., Vina, A., Hayes, M., Svoboda, M. D., 2002. Drought monitoring with NDVI-based standardized vegetation index. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68 (1): 71-75.
- Piao, S., Fang, J., Zhou, L., Guo, Q., Henderson, M., Ji, W., Li, Y., Tao, S., 2003a. Interannual Variations of Monthly and Seasonal Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in China from 1982 to 1999. *Journal of Geophysical Research*, 108 (14): 1-13.
- Pringle, M., Denham, R., Devadas, R., 2012. Identification of cropping activity in central and southern Queensland, Australia, with the aid of MODIS MOD13Q1 imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 19: 276-285.
- Richard, Y., Pocard, I., 1998. A Statistical Study of NDVI Sensitivity to Seasonal and Interannual Rainfall Variations in Southern Africa. *International Journal of Remote Sensing*, 19 (15): 2907- 2920.
- Schwinning, S., Sala, O. E., 2004. Hierarchy of responses to resource pulses in arid and semi-arid ecosystems. *Oecologia*, 141 (2): 211-220.
- Shirani, B., Khodagholi, M., Montazeri, M., Investigation and analyzing the production of Artemisia rang lands base on meteorological drought index, case study: Isfahan Province, *Watershed Engineering and Management*, 8 (2): 210-220 (In Persian).
- Shirgholami, H., Ghahraman, B., 2005. Study of Time Trend Changes in Annual Mean Temperature of Iran. *Journal of Water and Soil Science*, 9 (1): 9-24 (In Persian).
- Tali Ghohroodi, M., 2005. Geographic Information Systems in the 3D GIS environment, Jahad University Press, 298p (In Persian).
- Sousa, W. P., 1984. The role of disturbance in natural communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 15 (1): 353-391.
- biomass of western Canadian aspen forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 38 (6): 1373-1384.
- Hogg, E. H., Saugier, B., Pontailier, J. Y., Black, T., Chen, W., Hurdle, P., Wu, A., 2000. Responses of trembling aspen and hazelnut to vapor pressure deficit in a boreal deciduous forest. *Tree Physiology*, 20 (11).
- Isaaks, E., Srivastava, R., 1989. *Applied geostatistics*: Oxford University Press. New York, 561P.
- Jägerbrand, A. K., Alatalo, J. M., Chrimes, D., Molau, U., 2009. Plant community responses to 5 years of simulated climate change in meadow and heath ecosystems at a subarctic-alpine site. *Oecologia*, 161 (3): 601-610.
- Jain, S. K., Keshri, R., Goswami, A., Sarkar, A., 2010. Application of meteorological and vegetation indices for evaluation of drought impact: a case study for Rajasthan, India. *Natural Hazards*, 54 (3): 643-656.
- Ji, L., Peters, A. J., 2003. Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices. *Remote Sensing of Environment*, 87 (1): 85-98.
- Khalili, F., Gharibi, A., Shafie, Z., 2011, Socioeconomic Report of Chaharmahal & Bakhtiari Province, Management and Planning Organization of Chahar Mahal and Bakhtiari, Management and Planning Organization of the Iran (In Persian).
- Khodagholi, M., 2008. Investigation and zoning of drought in Isfahan province using standard Precipitation index, Research project report, Department of Natural Resources and Watershed Management of Isfahan Province (In Persian).
- Khoshakhlagh, F., An Attitude to Changes in Absolute Minimum Temperature in Iran. *Journal of Geography and Environmental Planning*, 42 (2): 199-216 (In Persian).
- Liang, E., Shao, X., He, J., 2005. Relationships between tree growth and NDVI of grassland in the semi-arid grassland of north China. *International Journal of Remote Sensing*, 26 (13): 2901-2908.
- Littell, J. S., McKenzie, D., Peterson, D. L., Westerling, A. L., 2009. Climate and wildfire area burned in western US ecoprovinces, 1916-2003. *Ecological Applications*, 19 (4): 1003-1021.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*. American Meteorological Society Boston, 179-183.
- Mesdaghi, M., 2003. Range management in Iran, 4th press, Emam Reza publication, 260p (In Persian).

- of forest vegetation types in Chaharmahal and Bakhtiyari province using multivariate statistical methods. *Journal of Iran Forest*, 1 (3): 239-252 (In Persian).
- Yekom Consulting Engineers., 1988. Comprehensive studies on the rehabilitation and development of agriculture and natural resources in the northern watershed, Karoon River, forest report, ministry of agriculture, Assistance of Planning, Tehran, 135p.
 - Yuhas, A. N., Scuderi, L. A., 2009. MODIS-derived NDVI Characterisation of Drought-Induced Evergreen Dieoff in Western North America. *Geographical Research*, 47 (1): 34-45.
 - Zeppel, M., Wilks, J., Lewis, J., 2014. Impacts of extreme precipitation and seasonal changes in precipitation on plants. *Biogeosciences*, 11 (11): 3083-8.
 - Stephenson, N. L., 1990. Climatic control of vegetation distribution: the role of the water balance. *The American Naturalist*, 135 (5): 649-670.
 - Turner, M. G., Baker, W. L., Peterson, C. J., Peet, R. K., 1998. Factors influencing succession: lessons from large, infrequent natural disturbances. *Ecosystems*, 1 (6): 511-523.
 - Vicente-Serrano, S. M., 2007. Evaluating the impact of drought using remote sensing in a Mediterranean, semi-arid region. *Natural Hazards*, 40 (1): 173-208.
 - Wang, R., Gamon, J. A., Montgomery, R. A., Townsend, P. A., Zygielbaum, A. I., Bitan, K., Tilman, D., Cavender-Bares, J., 2016. Seasonal variation in the NDVI-species richness relationship in a prairie grassland experiment (Cedar Creek). *Remote Sensing*, 8 (2): 128.
 - Yaghmaei, L., Soltani, S., Khodaghohi, M., Saboohi, R., 2009. effects of climatic factors on distribution

An investigation on impact of drought on rangeland and forest vegetation changes in Chaharmahal & Bakhtiari province using MODIS satellite data

L. Yaghmaei^{*1}, S. Soltani², R. Jafari³, H. Bashari³ and H. Jahanbazi⁴

1* - Corresponding author, Department of Range Management, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran,
E-mail: Leila.yaghmaie@gmail.com

2- Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

3- Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

4- Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Educational Center, AREEO, Shahre-e-Kord, Iran

Received: 14/09/2016

Accepted: 21/07/2017

Abstract

The aim of this study was to investigate the relationships between vegetation changes and climate variables including rainfall and drought using MODIS satellite images during the years 2000-2014 in Chaharmahal and Bakhtiari Province. In order to evaluate the impact of rainfall and drought on vegetation changes in 32 synoptic, climatology and rain gauge stations in and around the province, SPI index was calculated in short time series (3, 6, 9 months) and long time series (12, 24 months). All the time scales were leading to early June in which the maximum growth of vegetation of the province is occurred. To this end, SPI drought maps and NDVI images were prepared at different time scales by kriging method and linear regression analysis was performed to define their relationships. Comparisons of NDVI and SPI over the study period showed that the vulnerability of vegetation to drought mostly depends on the life forms and plant species. In this study, depending on the type of vegetation, different correlation coefficients were observed between vegetation and SPI indices. Among different rangeland and forest vegetation types, higher correlations were found between NDVI and SPI in rangeland vegetation types compared to the forest ones and the highest correlations belonged to the annual grass and annual forb vegetation cover. This confirms the higher impact of reducing rainfall on the decline of rangeland cover compared to the forest vegetation. Overall, the findings of this study indicate that the MODIS NDVI can be used to study SPI in the assessment and monitoring of drought effects on vegetation cover. By studying and recognition of vegetation cover and applying NDVI index to assess changes in vegetation cover, vulnerable types of vegetation to drought could be identified.

Keywords: Rangeland and forest vegetation, Drought, MODIS, NDVI, Linear regression.