

صص ۱۰۷-۸۵

پایش تغییرات پوشش گیاهی در اثر خشک‌سالی در حوضه آبریز درود زن با استفاده از تصاویر MODIS

مرضیه موغلی*

دانشیار گروه جغرافیا، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۹/۴

چکیده

یکی از روش‌های مطالعه خشک‌سالی و اثرات مخرب آن، پایش و پهنه‌بندی خشک‌سالی با استفاده از شاخص‌های هواشناسی و تکنیک‌های سنجش از راه دور می‌باشد. به منظور تعیین تأثیر خشک‌سالی‌ها بر تغییرات پوشش گیاهی ابتدا شدت‌های خشک‌سالی با استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی SPI سالانه توسط داده‌های بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی تعیین شد. در این پژوهش شاخص خشک‌سالی SPI در دوره‌های کوتاه‌مدت یک و سه ماهه و دوره سالانه برای سه ایستگاه شیراز، اقلید و درود زن بررسی شد که با توجه به نتایج حاصل شده از محاسبات شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی به‌طور کلی در تمامی ایستگاه‌های موجود در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۵، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳ خشک‌سالی از ضعیف تا شدید رخ داده است. همچنین در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۴ دوره ترسال در منطقه اتفاق افتاده است. در ابتدا، شاخص بارندگی استاندارد (SPI) برای سه ایستگاه هواشناسی شیراز، اقلید و درود زن طی سال‌های ۲۰۱۵ - ۲۰۰۱ محاسبه گردید و در مرحله بعد بر اساس تصاویر گرفته شده از MODIS در ماه‌های اکتبر، آگوست، سپتامبر شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI) محاسبه شد و سپس همبستگی بین شاخص‌های هواشناسی و پوشش گیاهی در طی دوره آماری برای سال‌های خشک و تر گرفته شد. با دقت به نتایج آماری شاخص (NDVI) به تغییرات خشک‌سالی و اقلیمی بیشترین همبستگی را با ایستگاه درود زن داشته و در سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴ برای هر دو دوره خشک در سال‌های (۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۵، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳) و برای سال ترسال در سال ۲۰۰۹ و ۲۰۱۴ مقدار شاخص بالای ۰/۸ بوده و این از همبستگی بالای و تأثیر زیاد بارش در دوره‌های خشک و تر بر روی پوشش گیاهی در منطقه داشته است.

واژگان کلیدی: خشک‌سالی، تصاویر MODIS، شاخص (SPI)، درود زن.

مقدمه

خشک‌سالی‌ها همیشه زندگی و فعالیت‌های انسانی را با خطر جدی مواجه کرده و می‌کند؛ در دهه‌های اخیر موجب آسیب‌های فراوان جانی و مالی در جهان شده است. این پدیده دارای ویژگی‌های است، که آن را از سایر بلایای طبیعی جدا می‌کند. پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که در بین حوادث طبیعی، آسیب‌های ناشی از خشک‌سالی بیشترین

مقدار را شامل است. لذا پایش گسترده آن و ایجاد یک نظام هشدار و پیش‌آگاهی در مناطق مستعد خشک‌سالی، امری اجتناب ناپذیر است. یکی از ابزارهای اصلی پایش خشک‌سالی، استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی می‌باشد. برای کم و بی‌اثر نمودن این پدیده ابتدا باید آن را به‌خوبی شناخت و انگهی با استفاده از یافته‌های علمی و داده‌های آب و هواشناسی خشک‌سالی را پیش‌بینی کرد و این پدیده خطرناک را بحث مدیریت کرد. Kogan در ایالات‌متحده در دهه ۱۹۸۰ با استفاده از شاخص NDVI خشک‌سالی‌های روی‌داده را بررسی کرد و به این نتیجه رسید که این شاخص از طریق نشان دادن تغییرات در پوشش گیاهی می‌تواند به‌خوبی خشک‌سالی‌ها را نشان دهد. Unganai و Kogan (2018)، از شاخص NDVI برای بررسی پوشش گیاهی، برآورد مقدار محصولات کشاورزی و شناسایی خشک‌سالی در جنوب آفریقا استفاده نمودند. Singh و همکاران (2017)، از داده‌های سنجنده AVHRR برگرفته از ماهواره NOAA برای طبقه‌بندی و پایش پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI در هند استفاده کردند. (Aivanz, M., 2008) با استفاده از داده‌های ماهواره IRS- WiFS به تهیه نقشه برای پوشش جنگلی پرداختند، به و این نتیجه رسیدند که می‌توان از این داده‌ها برای تیپ بندی پوشش گیاهی استفاده کرد. Wylie و همکاران (2017) در شمال آمریکا در برای یک علفزار همبستگی بین پارامترهای بیوفیزیکی گیاهان مانند بیوماس و شاخص سطح برگ را با شاخص NDVI بررسی کردند. روزگار و همکاران (۱۳۹۸) در شمال چین با استفاده از تصاویر نوآ تغییرات پوشش گیاهی را بررسی کردند، نتیجه نشان داد که در مناطق علفزار همبستگی بسیار بالایی بین تغییرات پوشش گیاهی و بارندگی وجود دارد. سلامت و همکاران (۱۳۹۶)، با استفاده از تصاویر ماهواره MODIS و شاخص NDVI را دوره ۱۳۹۸-۱۳۹۶ در فصل‌های رشد گیاهی وضعیت پوشش گیاهی را در شمال غربی آمریکا بررسی کردند. تغییرات NDVI در طول این دوره کاهش معنی‌داری را در سلامت پوشش گیاهی نشان داد عقیقی و همکاران (۱۳۹۶) رابطه نوسانات بارندگی و تغییرات پوشش گیاهی را در سد درود زن در بخشی از مراتع استان فارس مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش از اطلاعات بارندگی ماهیانه ایستگاه‌های هواشناسی و تصاویر ماهواره NOAA استفاده شد. نتایج به دست آمده بیانگر ارتباط معنی‌دار تیپ‌های پوشش گیاهی فورب و گراس با نوسانات بارندگی و عدم ارتباط یا ارتباط ضعیف تیپ‌های بوت‌زار، درختی و درختچه‌ها با بارندگی است. لشکری و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر MSS و ETM در حوضه سد ایلام پرداختند. در این مطالعه روش‌های مختلفی برای بررسی تغییرات استفاده شده و در نهایت مشخص گردید که روش تفاضل باند قرمز بیش‌ترین دقت را داشته است. شفیعی و حسینی (۱۳۹۶) به بررسی پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در سیستان پرداختند. در این پژوهش روند تغییرات پوشش گیاهی منطقه در دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ بررسی شده است. نتایج نشان داد که سطح پوشش گیاهی در سال ۲۰۱۸ معادل ۱۰۱۲۴۷ هکتار بوده است اما در سال ۲۰۱۵ به ۲۶۴۷۵ هکتار کاهش یافته است. هادیان و همکاران (۱۳۹۶) به پایش تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های بارش و تصاویر NOVA در استان کرمانشاه پرداختند. آن‌ها رابطه بارش با پوشش گیاهی را بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ بررسی کرده‌اند. در این مطالعه مشخص شد که رابطه بین پوشش گیاهی و بارش به نوع

پوشش گیاهی و فصل بستگی دارد. محمدياری و همکاران (۱۳۹۷) به تهیه نقشه پوشش گیاهی و پایش تغییرات آن با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در شهرستان بهبهان پرداختند. در این پژوهش جهت نمایش تغییرات زمانی و مکانی پوشش گیاهی شهرستان بهبهان از اطلاعات باندهای ماهواره لندست سنجنده های +ETM و OLI در دو سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ استفاده و مقدار شاخ NDVI برای دو سال محاسبه گردد. همچنین به منظور بررسی تغییرات کیفی پوشش گیاهی مقادیر عددی این شاخص به ۴ کلاس مختلف سرسبزی شامل اراضی با پوشش عالی، پوشش بسیار خوب، پوشش خوب و ضعیف طبقه بندی شد. سپس تغییرات رخ داده با استفاده از CROSSTAB مشخص شد. نتایج نشان داد تغییرات کمی و کیفی پوشش گیاهی در طی ۱۴ سال برای منطقه مورد مطالعه گسترده بوده است به طوری که اراضی با پوشش عالی، بسیار خوب و ضعیف افزایش مساحت و اراضی با پوشش خوب کاهش مساحت را داشته است. بیشترین افزایش مساحت در اراضی با پوشش گیاهی عالی صورت گرفته، به طوری که از ۵۰۶۹/۷۹ هکتار در سال ۱۳۹۰ به ۷۷۳۵/۵ هکتار در سال ۱۳۹۲ افزایش یافته است. همچنین بیشترین کاهش مساحت در اراضی با پوشش خوب است که از ۳۴۰۶۱/۴ هکتار به ۲۷۴۳۴/۴۳ هکتار رسیده است. در مقاله‌ای که توسط روزگار و همکاران (۱۳۹۸) تدوین شد. مطالعه خشک‌سالی هواشناسی حوضه آبخیز سد درود زن به صورت سالیانه و فصلی با توجه به آمار بارندگی ۲۵ ساله ایستگاه سد درود زن مورد بررسی قرار گرفت. آزمون صحت و همگنی داده‌ها به روش ران تست و جرم مضاعف صورت گرفت. سپس فراوانی و شدت خشک‌سالی بر اساس شش شاخص: آستانه ۶۰ درصد، درصدی از نرمال، استاندارد بارش، انحراف از میانگین، کلاسه بندی دامنه بارش و دهک‌ها در مقیاس فصلی و سالیانه مطالعه گردید. با توجه به کاهش میزان نزولات جوی، مشخص شد که خشک‌سالی در برخی موارد به صورت سالیانه و در برخی موارد نیز به صورت فصلی رخ داده است. با توجه به نتایج حاصل از شش شاخص برآورد خشک‌سالی، می‌توان گفت که روش SD و PC در پیش‌بینی خشک‌سالی از دقت بالاتری نسبت به شاخص‌های دیگر برخوردارند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در سال‌های مورد بررسی در حوضه سد درود زن، خشک‌سالی با شدت‌های متفاوت رخ داده است.

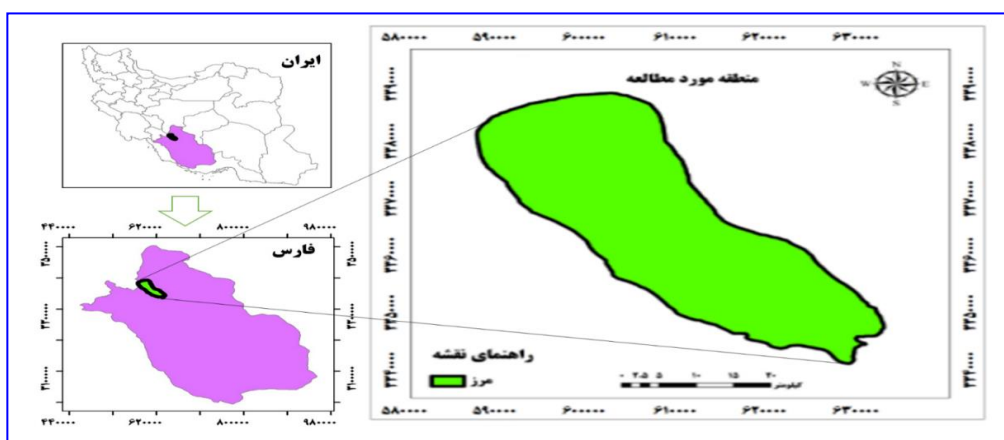
میر موسوی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی که انجام دادند. به منظور بررسی وضعیت خشک‌سالی در حوضه آبریز سد درود زن از شاخص SPI استفاده شده است و در شاخص SPI معیارهای مختلفی مورد توجه قرار می‌گیرد در این پژوهش معیارهای طولانی‌ترین دوره خشک‌سالی تعداد ماه‌های مواجه با خشک‌سالی و بزرگی خشک‌سالی DM در نظر گرفته شده است در رابطه با تأثیر خشک‌سالی بر منابع آب زیرزمینی علاوه بر نمودارهای مقدار SPI در مقیاس‌های زمانی ۱۲ و ۲۴ و ۴۸ ماهه بار پیژومتری و متوسط بار پیژومتری نیز بررسی شده است نتایج این بررسی‌ها نشان داد که طی دوره ۴۰ ساله آماری در هر سه مقیاس زمانی منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر خشک‌سالی‌های متعدد با تداوم و شدت‌های مختلف قرار گرفته است خشک‌سالی‌های ضعیف و بسیار شدید در هر سه مقیاس زمانی به ترتیب بیشترین و کمترین درصد وقوع را داشته‌اند داده‌های پیژومتری نیز نشان‌دهنده کاهش نسبی حجم ذخیره آب زیرزمینی با تأخیر زمانی نسبت به

خشک‌سالی در منطقه مورد مطالعه است از یافته‌های دیگر این پژوهش همبستگی بیشتر مقادیر بار پیژومتری و شاخص SPI در مقیاس زمانی ۴۸ ماهه در بیش از ۵۵ درصد ایستگاه‌های منطقه نسبت به دو بازه زمانی دیگر است. یکی از مهم‌ترین پیامدهای خشک‌سالی، کاهش مقدار پوشش گیاهی است. با کاهش پوشش گیاهی، شرایط محیطی برای بروز مشکلات مختلف نظیر فرسایش خاک، افزایش میزان رواناب سطحی و خطر بروز سیل و ... فراهم می‌شود. بر این اساس، ارزیابی اثرات خشک‌سالی بر روی پوشش گیاهی از اهمیت زیادی برخوردار است. در این رابطه، استفاده از روش‌های سنجش از دور انعکاسی، جهت ارزیابی اثرات خشک‌سالی، به‌عنوان یکی از کارآمدترین روش‌ها شناخته شده است. با توجه به اهمیت موضوع در این پایان‌نامه به بررسی پایش تغییرات پوشش گیاهی در اثر خشک‌سالی در حوضه آبریز درود زن با استفاده از تصاویر MODIS پرداخته می‌شود.

داده‌ها و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

مطالعه حاضر در سطح حوضه آبریز سد درود زن در استان فارس انجام شده است. سد درود زن از مهم‌ترین سدهای این استان است. این سد خاکی در روی رودخانه کر احداث شده و در سال ۱۳۵۲ به بهره‌برداری رسیده است. این سد نیاز آبی ۱۱۲۰۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی و نیز نیازهای شهری و صنعتی شیراز، مرودشت و زمان را فراهم می‌کند. سطح حوضه آبریز سد درود زن حدود ۴۳۱۱ کیلومترمربع و دارای تغییرات ارتفاع از حداقل ۱۱۴۶ متر تا حداکثر ۳۷۴۹ متر و ارتفاع متوسط آن حدود ۲۱۶۷ متر از سطح دریا می‌باشد. متوسط بارندگی حوضه ۵۸۷ میلی‌متر در سال است. در محل سد درود زن میزان متوسط دمای سالانه ۱۶ درجه سانتی‌گراد، میزان متوسط تبخیر از تشتک ۲۵۴۶ میلی‌متر در سال و تبخیر از سطح آزاد آب دریاچه سد درود زن ۱۷۵۰ میلی‌متر در سال است. محدوده مورد مطالعه در نقشه ۱ نشان داده شده است (سالنامه آماری استان فارس، ۱۳۹۷، ۲۷)



مأخذ: نگارنده

شکل ۱: موقعیت حوضه مورد مطالعه در استان فارس

روش پژوهش

شاخص خشک‌سالی توسط مک کی و همکارانش در سال ۱۹۹۳ با توجه به بررسی تأثیرات کمبود بارش بر آب‌های زیرزمینی، ذخایر و منابع آب سطحی، رطوبت خاک و جریان آبراهه ارائه شده است. این شاخص با قرار دادن تفاوت بارش از میانگین برای یک مقیاس زمانی مشخص و سپس تقسیم آن بر انحراف معیار به دست می‌آید و تنها فاکتور مؤثر بر محاسبه این شاخص، عنصر بارندگی است. این شاخص را می‌توان در مقیاس‌های زمانی مختلف ۱ و ۳ و ۶ و ۹ و ۱۲ و ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه کرد. تعریف پیشنهادی بر اساس بارندگی استاندارد شده بنا شده است. در این تعریف بارندگی استاندارد شده در حقیقت تفاضل بارندگی از میانگین یک دوره زمانی خاص است که بر انحراف معیار تقسیم می‌شود. به طوری که میانگین و انحراف معیار از سوابق و وقایع گذشته قابل تعیین می‌باشد. معادله زیر شیوه محاسبه شاخص بارش استاندارد شده را نمایش می‌دهد SPI را نمایش می‌دهد.

$$SPI = \frac{P_{ik} - P_i}{\delta_i}$$

در این رابطه اگر نقشه‌های رستری بارش بکار گرفته شود:

- مقادیر بارش هر یاخته P_{ik} ؛

- میانگین بارش بلند مدت هر یاخته P_i ؛

- δ_i انحراف معیار داده‌های بارش بلند مدت هر یاخته.

مقادیر مثبت SPI نشان‌دهنده بارندگی بیشتر از بارش متوسط و مقادیر منفی آن نشان‌دهنده بارش کمتر از بارش متوسط است. بر اساس این روش، دوره خشک‌سالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار -1 یا کمتر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که SPI مثبت شود.

اما اگر بخواهید با به‌کارگیری داده‌های رستری یا شبکه‌ای بارش مقادیر شاخص خشک‌سالی برای هر پیکسل محاسبه نمایید می‌توانید از ابزارهای مختلفی که در این زمینه طراحی شده است استفاده کنید

برای پایش تغییرات پوشش گیاهی در حوضه آبریز سد درود زن از تصاویر MODIS استفاده خواهد شد. دلیل استفاده از این تصاویر پوشش زمانی طولانی مدت و امکان دسترسی به این تصاویر است به نحوی که می‌توان تغییرات پوشش گیاهی را به خوبی دنبال کرد. در این پژوهش ابتدا با استفاده از آمار ایستگاه‌های در دسترس و مجاور یا نزدیک به حوضه آبریز سد درود زن وضعیت خشک‌سالی در دهه‌های اخیر بررسی و مشخص می‌شود. روش شناسایی خشک‌سالی‌ها با استفاده از روش SPI می‌باشد. این روش از جمله تکنیک‌های پرکاربرد برای برآورد خشک‌سالی است. پس از شناسایی سال‌های خشک با استفاده از تصاویر ماهواره MODIS سطح پوشش گیاهی در سال‌های مختلف به دست آمده و وسعت آن‌ها مقایسه می‌شود.

بحث و نتایج

۱. تعیین خشک‌سالی هواشناسی منطقه

برای بررسی وضعیت خشک‌سالی در منطقه از یک سری شاخص‌ها استفاده شد. از نمونه شاخص‌هایی که در تحلیل داده‌های بارندگی در این پژوهش استفاده می‌شود، شاخص^۱ ZSI و شاخص^۲ CZI چینی و شاخص درصد نرمال^۳، شاخص بارش استاندارد^۴ شده است که در جداول (۱ تا ۳)، شدت خشک‌سالی بر اساس نتایج شاخص‌ها تعیین می‌شود. سپس از بین این شاخص‌ها بهترین شاخص مشخص می‌شود.

جدول ۱: طبقات مختلف شاخص درصد نرمال بارندگی (PN)

مقادیر PN	توصیف وضعیت
بزرگ‌تر از ۸۰٪	نرمال
۷۰ تا ۸۰٪	خشک‌سالی ضعیف
۵۵ تا ۷۰٪	خشک‌سالی متوسط
۴۰ تا ۵۰٪	خشک‌سالی شدید
کمتر از ۴۰٪	خشک‌سالی بسیار شدید

مأخذ: نگارنده

جدول ۲: طبقات مختلف شاخص (ZSI)

شاخص عددی ZSI	طبقات شدت خشک‌سالی
+۰/۲۵ تا -۰/۲۵	نرمال
-۰/۵۲ تا -۰/۲۵	خشک‌سالی ضعیف
-۰/۸۴ تا -۰/۵۲	خشک‌سالی متوسط
-۱/۲۸ تا -۰/۸۴	خشک‌سالی شدید
کمتر از -۱/۲۸	خشک‌سالی بسیار شدید

مأخذ: نگارنده

جدول ۳: مقیاس طبقه‌بندی برای مقادیر CZI و SPI (Bell, M., 2016)

مقادیر CZI و SPI	طبقه
< ۲	شدیداً مرطوب
۱/۵ تا ۱/۹۹	خیلی مرطوب
۱ تا ۱/۴۹	مرطوب متوسط
۰/۵ تا ۰/۹۹	مرطوب ملایم
-۰/۴۹ تا ۰/۴۹	تقریباً نرمال
-۰/۹۹ تا -۰/۵	خشک ملایم
-۱ تا -۱/۴۹	خشک متوسط
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خیلی خشک

مأخذ: نگارنده

^۱. Z-Score index

^۲. China Z index

^۳. Percent of Normal

^۴. Standardized Percipitation Index

۲ - تعیین خشک سالی هیدرولوژیک منطقه

چنانچه سری‌های زمانی از حجم جریان‌های رودخانه‌ای (Qij) موجود باشد، در این صورت i سال هیدرولوژیکی و j ماه مربوط به سال هیدرولوژیکی را مشخص می‌کند (i=۱ مهر و j=۲ شهریور) این سری‌ها را می‌توان با استفاده از رابطه ۱ به دست آورد.

$$v_{ik} = \sum_{j=1} Q_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots$$

$$j = 1, 2, \dots, 12$$

$$k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

رابطه (۱)

(میر موسوی و همکاران، ۱۳۹۲، ۵۷)

که در آن V_{ik} حجم تجمعی جریان‌های رودخانه‌ای است. به عنوان مثال در $k=1$ برابر حجم تجمعی جریان‌های رودخانه‌ای در سه ماه اول سال آبی برای i سال هیدرولوژیکی و k دوره مینا می‌باشد ($k=1$ مهر تا آذر، $k=2$ مهر تا اسفند، $k=3$ مهر تا تیر، $k=4$ مهر تا شهریور)

شاخص خشک سالی جریان‌های رودخانه‌ای^۱ بر اساس حجم تجمعی جریان‌های رودخانه‌ای (V_{ik}) برای دوره مینای (k) مربوط به i سال هیدرولوژیکی به صورت رابطه (۲) زیر محاسبه می‌شود:

$$SDI_{i,k} = \frac{v_{ik} - v_k}{sk}$$

$$i = 1, 2, \dots$$

$$k = 1, 2, 3, 4$$

رابطه (۲)

(نوری و همکاران، ۱۳۹۸، ۳۰)

که در آن V_k و SK به ترتیب میانگین مجموع حجم دبی و انحراف معیار حجم جریان‌های تجمعی برای دوره مینا (K) در یک مدت طولانی است. جدول ۴ حالت‌های مختلف خشک سالی را در روش SDI نشان می‌دهد. Hong, G. et. al. (2011).

جدول ۴: حالت‌های مختلف خشک سالی را در روش SDI

حالت	وضعیت خشک سالی	محدوده	درصد احتمال
۰	فاقد خشک سالی	$0 \leq SDI$	۵۱/۶
۱	خشک سالی ملایم	$-1 \leq SDI < 0$	۲۵
۲	خشک سالی متوسط	$-1/5 \leq SDI < -1$	۱۲/۵
۳	خشک سالی شدید	$-2 \leq SDI < -1/5$	۱۰/۹
۴	خشک سالی خیلی شدید	$SDI < -2$	۰

مأخذ: نگارنده

^۱ Standardized Discharge Index (SDI)

۳. شاخص SPI

شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) توسط McKee از دانشگاه ایالت کلرادو تدوین شد و برای هر مقیاس زمانی قابل محاسبه است. شاخص SPI برای هر منطقه بر اساس ثبت بارندگی‌های طولانی مدت آن و بازه‌های زمانی مختلف (۱، ۲، ۳، ...، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۴۸ ماهه) محاسبه می‌شود و برای ارائه هشدار اولیه و کمک به ارزیابی شدت خشک‌سالی اهمیت زیادی دارد. محاسبه این شاخص مستلزم برازش مناسب‌ترین توزیع احتمالاتی به سری زمانی طولانی مدت داده‌های بارندگی، در هر ایستگاه است که این توزیع معمولاً توزیع گاما می‌باشد. در مرحله بعد، تابع تجمعی توزیع محاسبه شده و به توزیع نرمال تبدیل می‌گردد. مراحل محاسباتی شاخص SPI با جزئیات بیشتر به شرح زیر می‌باشد (Jordan, 2008)

۱- تعیین تابع توزیع گاما برای برازش بر سری زمانی بارندگی:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad \text{for } x > 0 \quad (1)$$

که در آن x مقادیر بارندگی بزرگ‌تر از صفر است و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما می‌باشد که برابر است با:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2)$$

و نهایتاً α و β به ترتیب پارامترهای شکل و مقیاس تابع توزیع گاما هستند که باید برای هر ایستگاه و هر ماه با توجه به مقیاس زمانی تخمین زده شود.

۲- برآورد مقادیر α و β که بدین منظور ابتدا باید پارامتر A از طریق معادله زیر مشخص گردد:

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (3)$$

که n تعداد مشاهدات بارندگی و \bar{x} متوسط آن‌ها است. حال از طریق روابط زیر، α و β به دست می‌آیند:

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right] \quad \alpha > 0 \quad (4)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad \beta > 0 \quad (5)$$

۳- تابع احتمال تجمعی به صورت ذیل تعریف می‌شود:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\hat{\beta}^\alpha \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-\frac{x}{\hat{\beta}}} dx \quad (6)$$

از آنجائی که تابع فوق برای $x=0$ تعریف نشده است، از این‌رو در صورت وجود صفر در داده‌های بارندگی، احتمال تجمعی به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad (7)$$

که در آن q احتمال بارندگی صفر در سری زمانی مورد بررسی می‌باشد که معادل با نسبت تعداد صفرها به کل داده‌ها است.

- در این مرحله مقادیر SPI که در واقع نرمال مقادیر $H(x)$ است، قابل محاسبه می‌باشد:

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \text{ for } : 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (۸)$$

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \text{ for } : 0.5 < H(x) \leq 1.0 \quad (۹)$$

که در رابطه بالا:

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} \text{ for } : 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (۱۰)$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1-H(x))^2}\right)} \text{ for } : 0.5 < H(x) \leq 1.0 \quad (۱۱)$$

$$c_0 = 2.515517 \quad d_1 = 1.432788$$

$$c_1 = 0.802853 \quad d_2 = 0.189269$$

$$c_2 = 0.010328 \quad d_3 = 0.001308 \quad (۱۲)$$

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 به‌طور 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، Munier, (2008) طبقه‌بندی این شاخص در جدول ۵ نشان داده شده‌است.

جدول ۵: طبقه‌بندی شاخص بارندگی استاندارد شده

وضعیت	بارندگی استاندارد شده
فوق‌العاده مرطوب	بزرگ‌تر یا مساوی ۲
خیلی مرطوب	۱/۵ تا ۱/۹۹
کمی مرطوب	۱ تا ۱/۴۹
نرمال	۰/۹۹ تا -۰/۹۹
کمی خشک	تا -۱/۴۹
خشک شدید	-۱/۵ تا -۱/۹۹
بسیار زیاد خشک	یا کمتر

مأخذ: نگارنده

۴. شاخص پوشش گیاهی NDVI

این شاخص یکی روش‌های پرکاربرد در بررسی پوشش گیاهی می‌باشد. NDVI در سال ۱۹۶۷، به‌وسیله Tucker به‌عنوان شاخص سلامت و تراکم پوشش گیاهی مطرح شده است (المیران، ۱۳۹۸) برای شناسایی نواحی دارای پوشش گیاهی در سطح حوضه از شاخص NDVI استفاده می‌شود. بر اساس بررسی‌هایی که صورت گرفته است مشخص شده که این شاخص روش مناسبی برای پایش پوشش گیاهی در مناطق مورد مطالعه است (هادیان و همکاران، ۱۳۹۶، ۶۵). این شاخص از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED}) \quad (۳) \text{ رابطه}$$

(علیچانی و همکاران، ۱۳۹۶، ۲۷)

که در این رابطه، NIR بازتاب در باندهای مادون قرمز نزدیک و RED بازتاب در باند قرمز می‌باشد. مقدار NDVI در دامنه‌ای بین ۱ تا -۱ است که اعداد مثبت نشانگر پوشش گیاهی و اعداد اطراف صفر بیانگر مناطق خشکی و یا فاقد گیاه در نظر گرفته می‌شود. تقسیم‌بندی بازه مثبت NDVI در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۶: طبقه‌بندی شاخص NDVI

شماره طبقه	پوشش گیاهی	شاخص NDVI
۱	فاقد پوشش گیاهی	۰ و کمتر
۲	پوشش گیاهی ضعیف	۰ تا ۰/۲
۳	پوشش گیاهی متوسط	۰/۲ تا ۰/۴
۴	پوشش گیاهی خوب	۰/۴ تا ۰/۶
۵	پوشش گیاهی خیلی خوب	۰/۶ تا ۰/۸
۶	پوشش گیاهی عالی	۰/۸ تا ۱

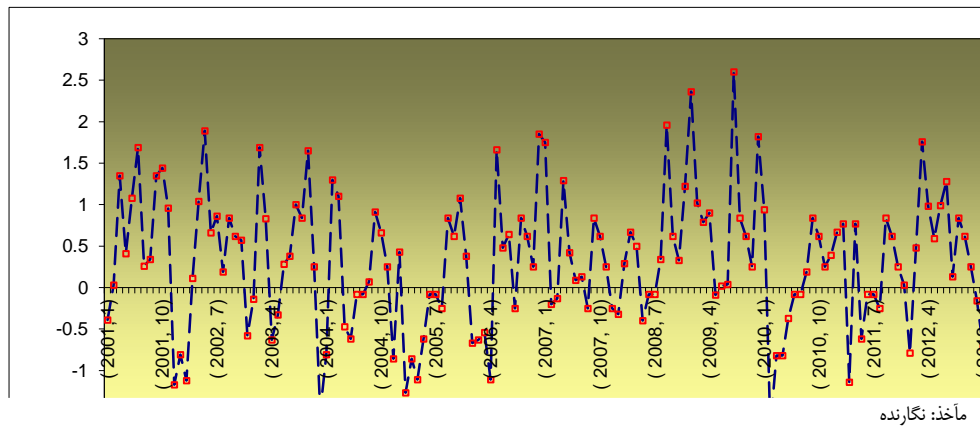
ماخذ: نگارنده

برای پایش تغییرات پوشش گیاهی در حوضه آبریز سد درود زن از تصاویر MODIS استفاده خواهد شد. دلیل استفاده از این تصاویر پوشش زمانی طولانی مدت و امکان دسترسی به این تصاویر می‌باشد به نحوی که می‌توان تغییرات پوشش گیاهی را به‌خوبی دنبال کرد.

۵. شاخص بارش استاندارد (SPI)

بر اساس این شاخص می‌توان آستانه خشک‌سالی را برای هر دوره زمانی تعیین کرد. بنابراین بر اساس این شاخص علاوه بر محاسبه شدت خشک‌سالی، مدت آن را نیز می‌توانیم تعیین نماییم. شاخص بارش استاندارد شده بر اساس احتمال بارش برای هر بازه زمانی است و به‌منظور هشدار اولیه و پایش خشک‌سالی اهمیت زیادی دارد. این شاخص برای کمی نمودن بارش در بازه‌های زمانی چندگانه طراحی شده است. شاخص بارش استاندارد برای دوره‌های زمانی سالانه مناسب‌تر هست برای همین یکی از شاخص‌های رایج برای تعیین خشک‌سالی معرفی شده است.

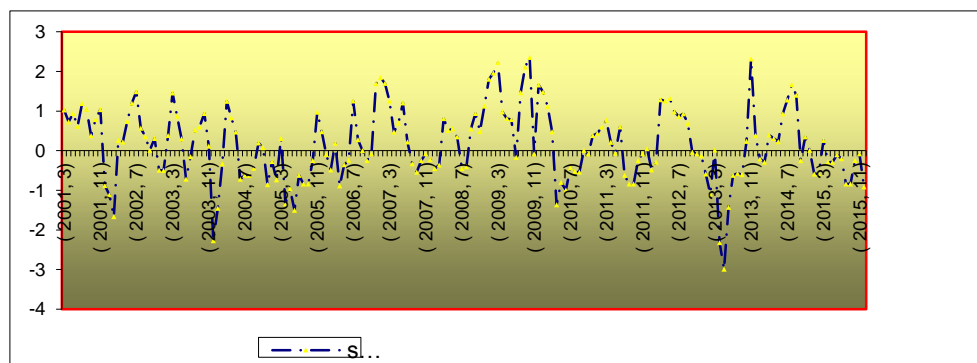
نتایج حاصل از خشک‌سالی در طی دوره آماری مشترک در جدول‌های مربوطه در زیر بیان شده‌اند. نمودار خروجی ۱ از شاخص خشک‌سالی بر اساس دوره‌های ۱ و ۳ ماهه برای ایستگاه درود زن و دو ایستگاه دیگر برای بررسی صحت و انجام کار تهیه شد. با توجه به نمودار در سال‌های ۲۰۰۱ در ماه اکتبر منطقه خشک برآورد شده است. همچنین در سال‌های ۲۰۰۴، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳ ماه‌های (۱ و ۱۰) با توجه به شاخص یک‌ماهه منطقه خشک برآورد شده است. با دقت به مقدار جداول شاخص بارش استاندارد مقدار نزدیک صفر را به‌عنوان نزدیک نرمال و وضعیت عادی در هر منطقه‌ای نشان می‌دهد و هرچه مقدار اعداد منفی بیشتر باشد شدت خشکی نیز بیشتر برآورد می‌گردد. با توجه نتایج به شاخص یک‌ماهه نوسانات دقیق‌تر و شدت خشک‌سالی در ماه بهتر نشان داده می‌شوند. تهیه شده یک‌ماهه برآورد شد.



مأخذ: نگارنده

شکل ۲: نمودار شاخص بارش استاندارد ۱ ماهه حوضه آبخیز درود زن

همچنین شکل ۲ تغییرات خشک‌سالی با توجه به شاخص بارش استاندارد ۳ ماهه را نمایش می‌دهد. به عبارتی این نمودار بر اساس میانگین متحرک ۳ ماهه برای ایستگاه مورد نظر تهیه شده است. با دقت روی نمودار مشخص می‌شود که تعداد نوسانات نمودار کمتر از شاخص ۱ ماهه است. به عبارتی شاخص بارش استاندارد ۱ ماهه تغییرات بارش و خشکی را به صورت ریزتر نمایش می‌دهد. با توجه به نتایج نمودار و در شاخص سه ماهه وضعیت متفاوت‌تر است یعنی در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳ برای ماه‌های ۳ و ۱۱ خشکی برآورد شده است و در بقیه حالات و ماه‌های دیگر میانگین سه ماهه بارش بیشتر از صفر بوده و حوضه دارای وضعیت نرمال و یا نزدیک نرمال می‌باشد. بر این اساس برای بررسی تغییرات پوشش نیز از شاخص سه ماهه استفاده شده است.

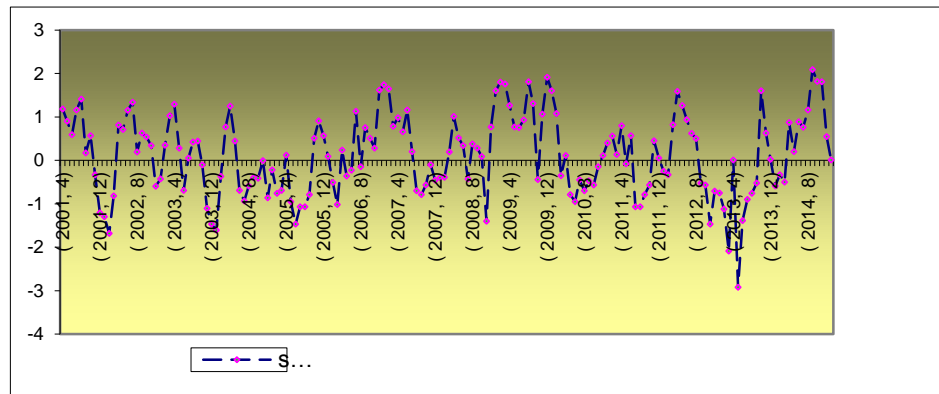


مأخذ: نگارنده

شکل ۳: نمودار شاخص بارش استاندارد ۳ ماهه حوضه آبخیز درود زن

نتایج شاخص بارش استاندارد ۱ و ۳ ماهه برای دو ایستگاه دیگر نیز در شکل‌های ۳ تا ۶ نشان داده شده‌اند. با مقایسه نتیجه خروجی ایستگاه شیراز با ایستگاه سد درود زن می‌توان فهمید که سال‌هایی با دوره خشک در هر دو ایستگاه تقریباً مشابه بوده و سال‌های ۲۰۰۱ ماه ۱۰، ۲۰۰۳ ماه ۱۰، سال ۲۰۰۵ ماه‌های ۵ و ۱۰، سال ۲۰۰۹ ماه ۱۰ و در نهایت سال ۲۰۱۳ خشکی در ماه ۲ و ۱۰ شدت بیشتر را دارا می‌باشد. در بقیه سال‌ها و ماه‌های سال در منطقه وضعیت

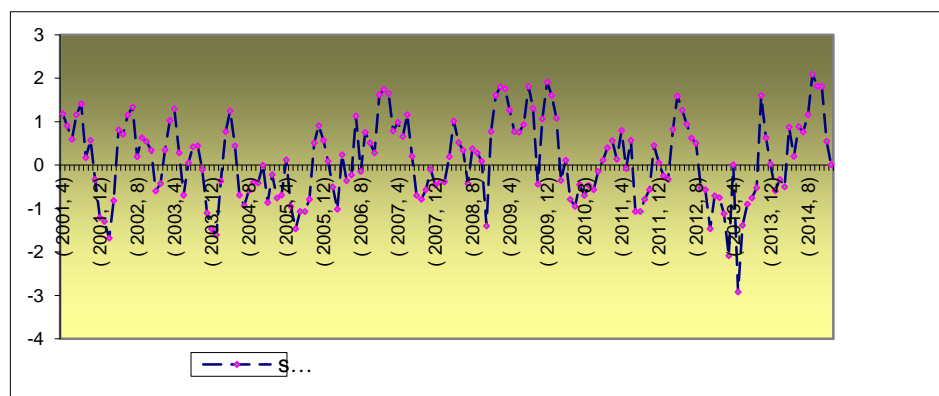
بیشتر نزدیک نرمال یا به سمت ترسالی بیشتر سوق دارد به عبارتی به دلیل حساس بودن شاخص بارش استاندارد ۱ ماهه به کوچک‌ترین تغییرات وضعیت خشکی یا ترسالی حوضه را به خوبی نمایش می‌دهد و در حال کلی تعداد دوره‌های خشک و تر را بیشتر از شاخص ۳ ماهه برای ایستگاه شیراز در شکل‌های ۴ و ۵ نمایش می‌دهد.



مأخذ: نگارنده

شکل ۴: نمودار شاخص بارش استاندارد ۱ ماهه ایستگاه شیراز

در شکل ۴ تغییرات شاخص بارش استاندارد ۳ ماهه ایستگاه شیراز نشان داده شده است. در این نمودار در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۵، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۳ در ماه‌های ۴ و ۱۲ منطقه دارای وضعیت خشک بوده ولی در بقیه ماه‌ها ترسالی یا به عبارتی نزدیک نرمال با توجه به وضعیت بارش نشان داده شده است.

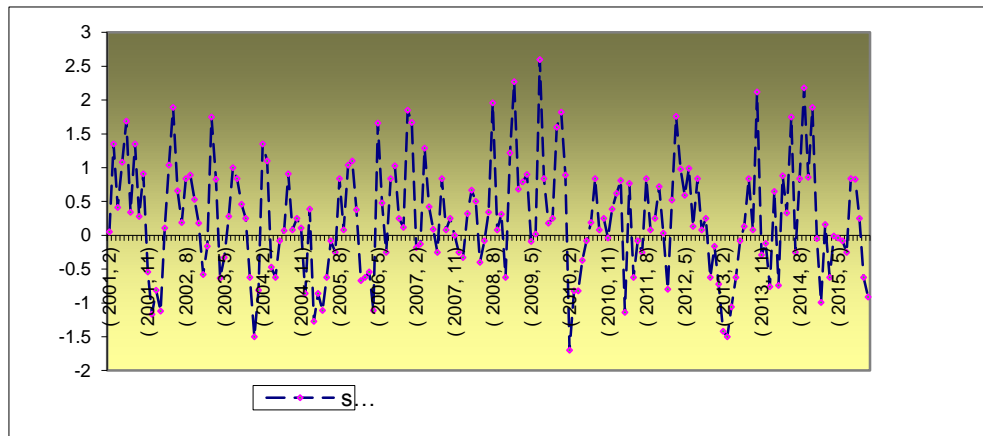


مأخذ: نگارنده

شکل ۵: نمودار شاخص بارش استاندارد ۳ ماهه ایستگاه شیراز

در ادامه با مقایسه نتیجه خروجی ایستگاه اقلید با ایستگاه سد درود زن بر اساس شاخص بارش استاندارد ۱ ماهه می‌توان فهمید که سال‌هایی با دوره خشک در هر دو ایستگاه تقریباً مشابه بوده و سال‌های ۲۰۰۱، ۱۱ ماه ۲۰۰۴ و ۲ ماه ۱۱، سال ۲۰۰۶، ۵ ماه ۲۰۱۰ و ۲ و ۱۱ و در نهایت سال ۲۰۱۳ خشکی در ۲ ماه شدت بیشتر را دارا می‌باشد. در

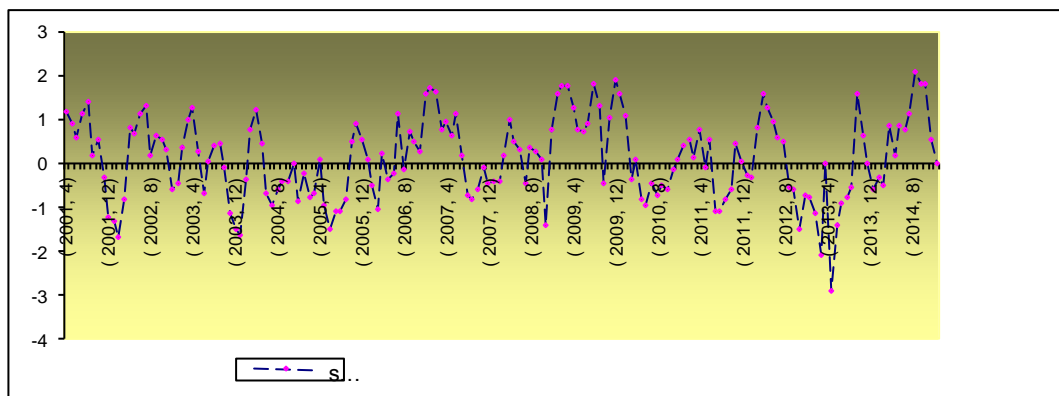
بقیه سال‌ها و ماه‌های سال در منطقه وضعیت بیشتر نزدیک نرمال یا به سمت ترسالی بیشتر سوق دارد به عبارتی به دلیل حساس بودن شاخص بارش استاندارد ۱ ماهه به کوچک‌ترین تغییرات وضعیت خشکی یا ترسالی حوضه را به خوبی نمایش می‌دهد و در حال کلی تعداد دوره‌های خشک و تر را بیشتر از شاخص ۳ ماهه نمایش می‌دهد.



مأخذ: نگارنده

شکل ۶ نمودار شاخص بارش استاندارد ۱ ماهه ایستگاه اقلید

شکل ۶ تغییرات خشک‌سالی با توجه به شاخص بارش استاندارد ۳ ماهه برای ایستگاه اقلید را نمایش می‌دهد. به عبارتی این نمودار بر اساس میانگین متحرک ۳ ماهه برای ایستگاه مورد نظر تهیه شده است. با دقت روی نمودار مشخص می‌شود که تعداد نوسانات نمودار کمتر از شاخص ۱ ماهه است. به عبارتی شاخص بارش استاندارد ۱ ماهه تغییرات بارش و خشکی را به صورت ریزتر نمایش می‌دهد. با توجه به نتایج نمودار و در شاخص سه ماهه وضعیت متفاوت‌تر است یعنی در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳ برای ماه‌های ۳ و ۱۱ خشکی برآورد شده است و در بقیه حالات و ماه‌های دیگر میانگین سه ماهه بارش بیشتر از صفر بوده و حوضه دارای وضعیت نرمال و یا نزدیک نرمال می‌باشد. بر این اساس برای بررسی تغییرات پوشش نیز از شاخص سه ماهه استفاده شده است. وضعیت خشک‌سالی و ترسالی با استفاده از نمودارهای ایستگاه‌های معرف در ۱ تا ۶ نشان داده شدند. همچنین برای بررسی مقدار خروجی کمی شاخص بارش استاندارد (SPI) جداول هریک از ایستگاه‌ها در زیر نشان داده شده است. در جدول ۷ ایستگاه اصلی حوضه آبخیز دورد زن برای سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵ حالت شدید خشکی برآورد شده است.



مأخذ: نگارنده

شکل ۷: نمودار شاخص بارش استاندارد ۳ ماهه ایستگاه اقلید

اما برای سال‌های دیگر شرایط فرق می‌کند. برای ارزیابی خشکی با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI) و شاخص نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) بهتر است از شاخص با دوره زمانی کوتاه مثل ۱ یا سه ماهه استفاده کرد چون نوسانات بیشتری در نشان می‌دهند و به کوچک‌ترین تغییرات بارش واکنش نشان داده‌اند بنابراین نتایج هر یک از جداول ۷ تا ۹ برای اطلاعات کلی سالانه وضعیت خشکی و ترسالی حوضه استفاده شده است.

جدول ۷: مقدار کمی خشکی سالانه ایستگاه درود زن

سال	مقدار شاخص SPI	طبقه‌بندی خشک‌سالی
۲۰۰۱	۰.۵۶	نزدیک نرمال
۲۰۰۲	-۰.۰۱	نزدیک نرمال
۲۰۰۳	۰.۴۷	نزدیک نرمال
۲۰۰۴	۰.۵	نزدیک نرمال
۲۰۰۵	۰.۰۷	نزدیک نرمال
۲۰۰۶	-۰.۱۲	نزدیک نرمال
۲۰۰۷	۰.۵۵	نزدیک نرمال
۲۰۰۸	۰.۳۸	نزدیک نرمال
۲۰۰۹	۲.۱۱	خیلی مرطوب
۲۰۱۰	۰.۱۲	نزدیک نرمال
۲۰۱۱	-۰.۱۴	نزدیک نرمال
۲۰۱۲	۰.۱	نزدیک نرمال
۲۰۱۳	-۲.۱۱	خیلی خشک
۲۰۱۴	-۰.۲۵	نزدیک نرمال
۲۰۱۵	-۲.۱۸	خیلی خشک

مأخذ: نگارنده

جدول ۸: مقدار کمی خشکی سالانه ایستگاه اقلید

سال	مقدار شاخص SPI	طبقه بندی خشک سالی
۲۰۰۱	-۰.۳۴	نزدیک نرمال
۲۰۰۲	-۰.۳۵	نزدیک نرمال
۲۰۰۳	۰.۰۲	نزدیک نرمال
۲۰۰۴	-۰.۰۲	نزدیک نرمال
۲۰۰۵	-۰.۶۲	نزدیک نرمال
۲۰۰۶	۰.۲۷	نزدیک نرمال
۲۰۰۷	۰.۸۱	نزدیک نرمال
۲۰۰۸	۰.۵۳	نزدیک نرمال
۲۰۰۹	۲.۵۳	خیلی مرطوب
۲۰۱۰	-۰.۶۲	نزدیک نرمال
۲۰۱۱	۰.۱۸	نزدیک نرمال
۲۰۱۲	۰.۶۴	نزدیک نرمال
۲۰۱۳	-۱.۹۳	خیلی خشک
۲۰۱۴	۰.۳۸	نزدیک نرمال
۲۰۱۵	-۱.۵	خیلی خشک

مأخذ: نگارنده

جدول ۹: مقدار کمی خشکی سالانه ایستگاه شیراز

سال	مقدار شاخص SPI	طبقه بندی خشک سالی
۲۰۰۱	۰.۱۵	نزدیک نرمال
۲۰۰۲	-۰.۴۱	نزدیک نرمال
۲۰۰۳	۰.۱۵	نزدیک نرمال
۲۰۰۴	-۰.۰۳	نزدیک نرمال
۲۰۰۵	-۰.۸۸	نزدیک نرمال
۲۰۰۶	۰.۲۳	نزدیک نرمال
۲۰۰۷	۰.۸۴	نزدیک نرمال
۲۰۰۸	۰.۶۷	نزدیک نرمال
۲۰۰۹	۲.۴۸	خیلی مرطوب
۲۰۱۰	-۰.۶۲	نزدیک نرمال
۲۰۱۱	۰.۰۸	نزدیک نرمال
۲۰۱۲	۰.۸	نزدیک نرمال
۲۰۱۳	-۱.۹۱	خیلی خشک
۲۰۱۴	-۰.۱۶	نزدیک نرمال
۲۰۱۵	-۱.۴۱	نسبتاً مرطوب

مأخذ: نگارنده

در دو ایستگاه اقلید و شیراز برای بررسی دقیق تر استفاده شده است. در این ایستگاه ها به دلیل موقعیت وضعیت با منطقه فرق می کند بنابراین برای ارزیابی خشکی از نتایج ایستگاه درود زن استفاده شد و سال های خشک شامل ۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۵، ۲۰۰۹ و در نهایت ۲۰۱۳ می باشد. در این سال های برای سه ماه اکتبر، دسامبر و آگوست تصویر ماهواره ای تهیه شد که بررسی و نتایج در بخش شاخص NDVI بهتر تشریح خواهد شد.

تعداد دوره‌های خشک اتفاق افتاده در ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه آبخیز درود زن و دو ایستگاه معرف (اقلید و شیراز) در جدول ۱۰ ذکر شده‌اند. نتایج جدول نیز نشان می‌دهد بر اساس نتایج شاخص استاندارد شده سه ماهه در ایستگاه درود زن ۵ دوره خشکی در طی سال آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ نشان داده شده است اما در ایستگاه‌های ۵ دوره نزدیک نرمال یا زیر نرمال برای ایستگاه اقلید و دو دوره شدت خشک نیز مشاهده شده است. ولی برای ایستگاه شیراز ۵ دوره نزدیک نرمال و به عبارتی خشکی ضعیف و یک دوره خیلی خشک برآورد شده است همچنین در سال وضعیت را به صورت نسبتاً مرطوب گزارش کرده است؛ بنابراین بررسی وضعیت بر اساس ایستگاه سد درود زن انجام خواهد شد.

جدول ۱۰: وضعیت دوره‌های خشک در سه ایستگاه معرف

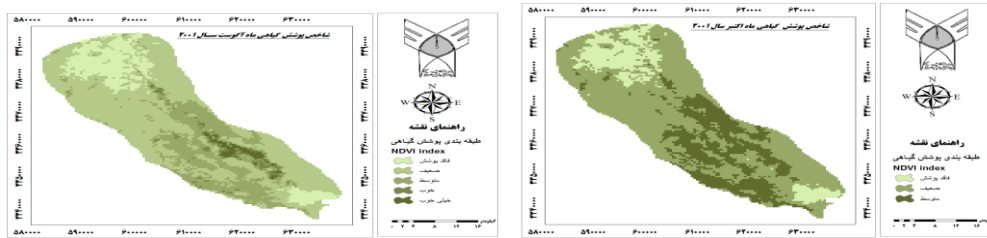
ایستگاه	تعداد دوره خشک
درود زن	۶
اقلید	۶
شیراز	۷

مأخذ: نگارنده

۶. شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI)

از کاربردهای شاخص NDVI مطالعه رفتار زمانی پوشش گیاهی، مدل‌سازی آب و هوایی، طبقه‌بندی پوشش گیاهی در سطح جهانی، پایش محصولات کشاورزی، مطالعات بیابان‌زدایی و خشک‌سالی، حفاظت محیط‌زیست، بررسی تعادل میزان انرژی و آب در سطح جهانی می‌باشد. در این پروژه برای بررسی خشک‌سالی اتفاق افتاده در سطح حوضه آبخیز سد درود زن از شاخص استفاده شده است. به گونه‌ای که میزان بارش اتفاق افتاده طی دوره آماری مشترک بین ایستگاه‌های هواشناسی را با استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی مورد ارزیابی قرار دادیم و دوره‌های خشک و ترسالی اتفاق افتاده در حوضه طی دوره آماری مشخص شده است. در ادامه برای صحت بیشتر و تأثیر این خشک‌سالی‌ها روی پوشش گیاهی از شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی هم استفاده شد. که یکی از رایج‌ترین شاخص‌ها برای بررسی پوشش گیاهی می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل شده از شاخص‌ها و نمودار در طی دوره آماری به‌طور کلی و در هر سه ایستگاه‌ها در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۵، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳ دوره خشکی برآورد شده است که نتایج نشان داد حوضه به‌طور معمول دارای خشک‌سالی‌های متوسط تا شدید بوده‌اند و بر این اساس تصاویر ماهواره‌ای برای محاسبه شاخص NDVI در این سال‌ها و برای سه ماه (اکتبر، آگوست و سپتامبر و برای ماه ژانویه) تهیه شدند و نتایج حاصل از محاسبه این شاخص در جدول ۱۱ بیان شده است. برای بررسی دقیق‌تر میزان تغییرات پوشش گیاهی در حوضه و نتایج ناشی از شاخص NDVI بر اساس نقشه‌های تهیه شده در محیط Arc Map برای سال‌هایی که شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی آن را خشک معرفی کردند مشخص شدند با این حال در همه سال‌ها مقدار عددی شاخص NDVI دارای مقداری متوسط از ۰/۳ تا ۰/۸ است. این شاخص‌ها در ماه‌های ذکر شده برای سال‌های مورد نظر بررسی و محاسبه شده‌اند. سد درود زن با توجه به کوهستانی بودن و بیشتر بودن مقدار میزان بارندگی تا حدودی رشد گیاهان

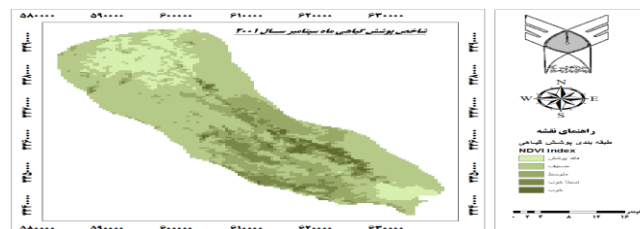
مناسب است. میزان بارندگی در مقایسه با ایستگاه‌های مجاور و بیشتر می‌باشد و دوره‌های خشکی که توسط شاخص‌های خشک‌سالی مشخص شده‌اند در رده‌های متوسط تا شدید بوده است. پس از ترسیم نقشه‌های شاخص NDVI در یکی دو ماه ذکر شده که سیر تغییرات این شاخص در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۵، ۲۰۰۷، ۲۰۱۳ به مراتب قابل وضوح هست که این تغییرات را در شکل ۷ تا ۱۰ می‌توان مشاهده کرد.



شکل ۹ مقدار شاخص NDVI برای ماه آگوست

شکل ۸ مقدار شاخص NDVI برای ماه‌های اکتبر سال ۲۰۰۱

سال ۲۰۰۱



شکل ۱۰ مقدار شاخص NDVI برای ماه سپتامبر سال ۲۰۰۱

مأخذ: نگارنده

با توجه به شکل ۸ مقدر پوشش با توجه به شرایط منطقه و وضعیت برآوردی شاخص SPI تا متوسط می‌باشد یعنی بیشترین مقدار ارزش استخراجی از ۰/۴۲ بوده و نهایت در طبقه متوسط قرار دارد یعنی خشکی تأثیر گذار بوده است و مقدار پوشش در این ماه کم شده است برای بررسی دقیق‌تر در این مورد همبستگی بین شاخص خشک‌سالی ۱ و ۳ ماهه و مقدار سالانه شاخص تهیه شد و در جدول ارائه شده است. ولی شکل ۹ مقدار پوشش تغییراتی را داشته است و با توجه به ارزش استخراجی DN شاخص نرمال شده پوشش گیاهی تا ۰/۶ نیز افزایش پیدا کرده است. این دلیلی بر تغییرات بارش در ماه‌های مختلف مخصوصاً در ماه‌های سپتامبر می‌باشد. در نمودارهای شاخص SPI نیز ماه‌هایی که خشکی در آن‌ها شدید و بالاتر از نرمال بوده مشخص شده است. شکل ۱۰ نیز مقدار پوشش گیاهی مانند ماه آگوست را نشان می‌دهد. پوشش تقریباً مناسب بوده ولی اگر به صورت دقیق ارزیابی شود پوشش منطقه در سطح عالی قرار نداشته و خشکی دوره‌ای، روی وضعیت پوشش تأثیر گذاشته است.

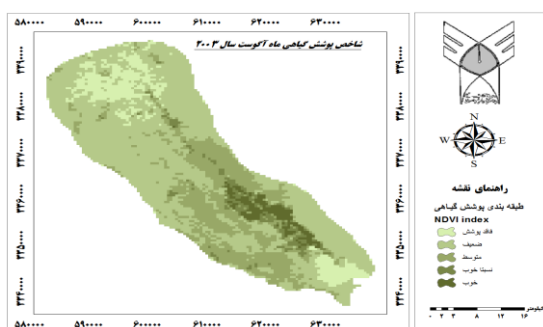
در جدول ۱۱ درصد پوشش گیاهی حاصل از نتیجه شاخص NDVI برای سال‌های خشک قابل مشاهده است. با توجه به این جدول و درصد پوشش گیاهی نقشه‌های تولید شده برای نمایش دادن تغییرات به خوبی قابل تفسیر خواهند بود. با توجه به نتایج جدول ماه اکتبر در همه سال‌های خشک کمترین مقدار پوشش را به خود اختصاص داده است و بیشترین مقدار پوشش برای ماه آگوست می‌باشد.

جدول ۱۱: مقدار شاخص NDVI برای سال‌های خشک

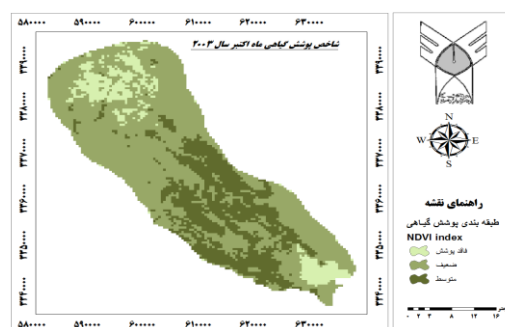
سال ۲۰۱۳	سال ۲۰۰۷	سال ۲۰۰۵	سال ۲۰۰۳	سال ۲۰۰۱
۸۰/۷	۸۰/۹	۷۶/۴	۸۱/۲	۸۰
۶۹/۱	۶۹/۹	۶۷/۶	۶۶	۶۸/۷
۷۶/۱	۷۶/۲	۷۶/۲	۷۸/۲	۷۴/۶

مأخذ: نگارنده

در شکل ۱۱ نیز نقشه مربوط به ماه اکتبر در دو طبقه کم و متوسط قرار گرفته است. این نشان‌دهنده تأثیر وضعیت خشکی بر روی پوشش در منطقه می‌باشد. پوشش گیاهی در هر منطقه‌ای تحت تأثیر پارامترهای زیادی قرار می‌گیرد ولی عوامل اقلیمی مثل بارش و کمبود رطوبت باعث از بین رفتن و تنک شدن مقدار پوشش می‌شود. با بررسی بروی شکل ۱۲ مشخص می‌شود ماه آگوست در وضعیت بهتری نسبت به دو ماه دیگر قرار گرفته است. یعنی مقدار پوشش در این ماه تا ارزش پیکسلی شاخص ۰/۷ نیز رسیده است که با مراجعه به جدول ۱۲ مقدار درصد پوشش گیاهی در طی سال ۲۰۰۳ گویای بهتر این وضعیت می‌باشد برای ماه سپتامبر در شکل ۱۳ نیز پوشش در ۴ طبقه و در سطح خوب قرار دارد به‌طور معمول مقدار درصد پوشش در این ماه و سال ۲۰۰۳ برابر است با ۷۸/۲ درصد.

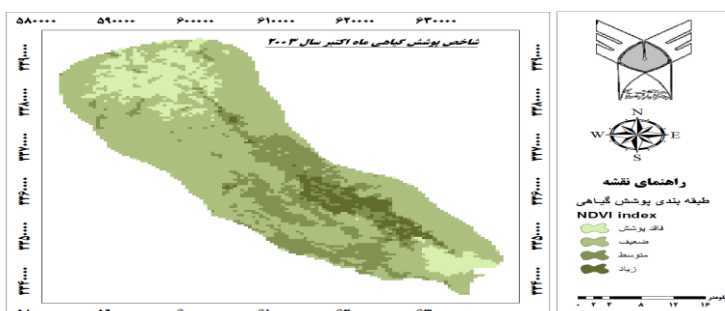


شکل ۱۲ مقدار شاخص NDVI برای ماه آگوست



شکل ۱۱ مقدار شاخص NDVI برای ماه اکتبر سال ۲۰۰۳

سال ۲۰۰

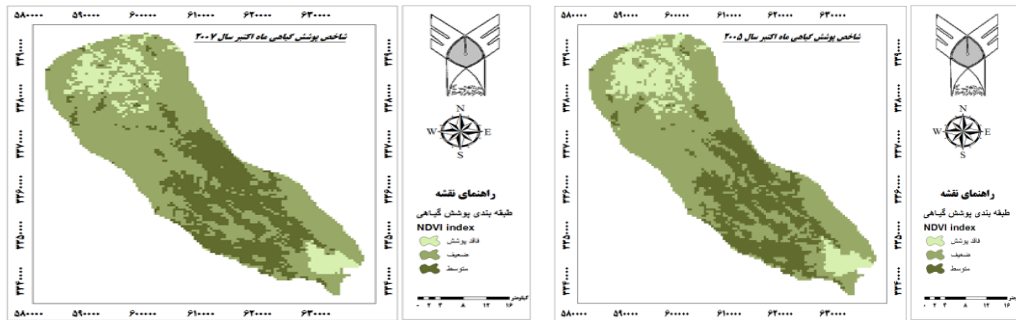


شکل ۱۳ مقدار شاخص NDVI برای ماه سپتامبر سال ۲۰۰۳

مأخذ: نگارنده

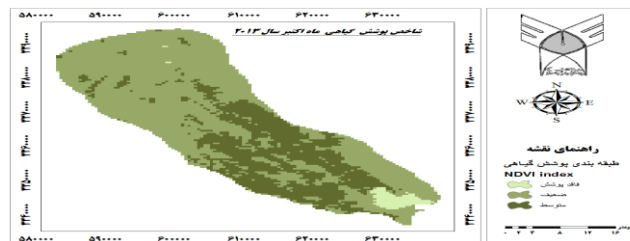
برای بقیه سال‌های نیز در شکل‌های ۱۴ تا ۱۶ وضعیت تغییرات به‌خوبی نشان داده شده است. هر یک از سال‌های حالت خاصی برای پراکنده‌گی بارش در حوضه سد درودزن داشته‌اند. بنابراین مقدار درصد پوشش در ماه اکتبر هر سه

سال ۲۰۰۵، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳ دارای طبقه ضعیف تا متوسط می‌باشد و جدول ۱۲ نیز مقدار عدیدی هریک را به ترتیب برابر با ۶۷/۶، ۶۹/۹ و ۶۹/۱ درصد نشان می‌دهد. نقشه ماه اکتبر در هر سه سال ۲۰۰۵، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳ در شکل‌های ۱۴ تا ۱۶ نشان داده شده است. این مقدار نزدیک نشان‌دهنده وضعیت برابر پوشش گیاهی و تغییرات در سال‌های خشک‌بوده است و نزدیکی تا حدودی نشان‌دهنده تأثیر تنها یک عامل بروی کاهش مقدار پوشش می‌باشد.



شکل ۱۵ تغییرات پوشش گیاهی ماه اکتبر در سال ۲۰۰۷

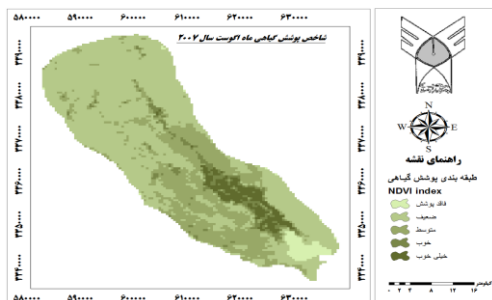
شکل ۱۴ تغییرات پوشش گیاهی ماه اکتبر در سال ۲۰۰۵



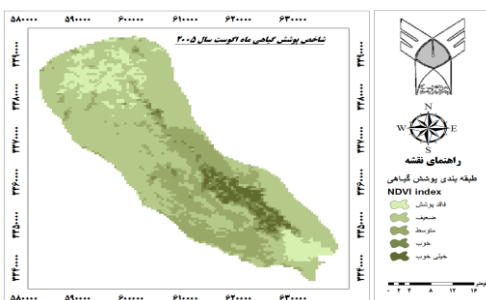
شکل ۱۶ تغییرات پوشش گیاهی ماه اکتبر در سال ۲۰۱۳

مأخذ: نگارنده

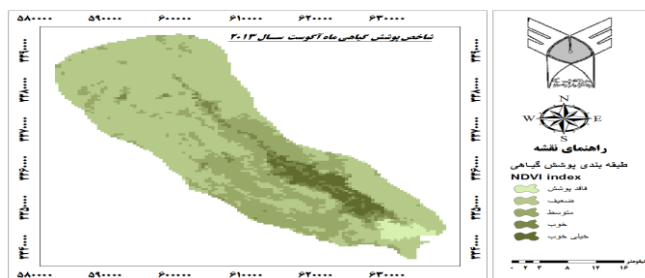
برای نقشه‌های آگوست ۲۰۰۵، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳ هر سه سال در چهار طبقه ضعیف تا خیلی خوب پوشش داشته‌اند. که مقدار درصد پوشش در این سه سال و در ماه آگوست با توجه به جدول ۱۲ به ترتیب برابر است با ۷۶/۴، ۸۰/۹ و ۸۰/۷ درصد می‌باشد. نقشه ماه آگوست در هر سه سال ۲۰۰۵، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳ در شکل‌های ۱۷ تا ۱۹ نشان داده شده است. همچنین یکی دیگر از ماه‌های استفاده شده ماسه سپتامبر برای سه سال باقی‌مانده می‌باشد.



شکل ۱۸ تغییرات پوشش گیاهی ماه آگوست در سال ۲۰۰۷



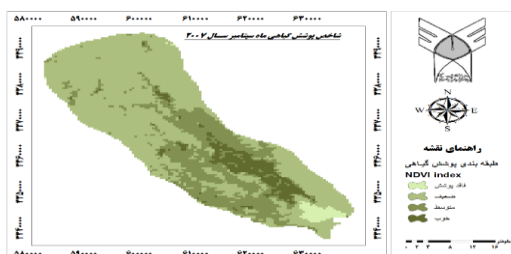
شکل ۱۷ تغییرات پوشش گیاهی ماه آگوست در سال ۲۰۰۵



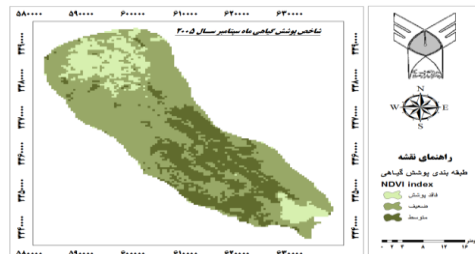
شکل ۱۹ تغییرات پوشش گیاهی ماه آگوست در سال ۲۰۱۳

مأخذ: نگارنده

در ماه سپتامبر نیز تغییرات پوشش محسوس است که با مراجعه به جدول ۱۳ مقدار درصد پوشش گیاهی در هر سه سال (۲۰۰۵، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳) به ترتیب برابر با $۷۶/۲$ ، $۷۶/۲$ و $۷۶/۱$ که مقدار تغییرات در هر سه سال بسیار نزدیک به هم می‌باشد. نقشه ماه سپتامبر در هر سه سال ۲۰۰۵، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳ در شکل‌های ۲۰ تا ۲۲ نشان داده شده است.

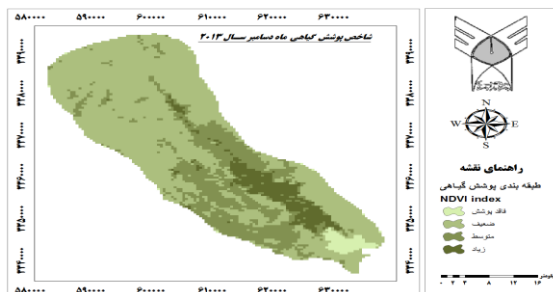


شکل ۲۱ تغییرات پوشش گیاهی ماه سپتامبر در سال ۲۰۰۷



شکل ۲۰ تغییرات پوشش گیاهی ماه سپتامبر در سال ۲۰۰۵

۲۰۰۷



شکل ۲۲ تغییرات پوشش گیاهی ماه سپتامبر در سال ۲۰۱۳

مأخذ: نگارنده

آزمون همبستگی بین شاخص‌های هواشناسی و پوشش گیاهی در طی دوره آماری برای سال‌های خشک و تر گرفته شد. نتایج آزمون در جدول ۱۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج مقدار شاخص NDVI برای هر یک از ایستگاه‌ها برای دوره کوتاه مدت یک‌ماهه بیشترین واکنش را نشان داده است و مقدار همبستگی بالایی را در سطح ۹۵٪ نشان می‌دهد. با دقت به نتایج آماری شاخص پوشش گیاهی نسبت به تغییرات خشک‌سالی و اقلیمی بیشترین همبستگی را با ایستگاه درود زن داشته و در سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴ برای هر دو دوره خشک در سال‌های (۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۵، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳) و برای سال ترسالی در سال ۲۰۰۹ و ۲۰۱۴ مقدار شاخص بالای ۰/۸ بوده و این از همبستگی بالای و تأثیر زیاد بارش در دوره‌های خشک و تر بر روی پوشش گیاهی در منطقه داشته است. بعد از ایستگاه درود زن به دلیل نزدیکی بیشتر ایستگاه شیراز به حوضه آبخیز نقشه شاخص SPI-1 یک‌ماهه بیشتر از ایستگاه اقلید بوده است. بعد از شاخص SPI با دوره ۱ ماهه شاخص SPI سه ماهه نسبت تغییرات را به نسب به خوبی نمایش می‌دهد. اما چون تغییرات پوشش گیاهی به صورت دوره‌های کوتاه مدت می‌باشد بنابراین دوره طولانی و سالانه (۱۲) ماهه تأثیر کمی در هر سه ایستگاه روی پوشش گیاهی گذاشته است. اما در ایستگاه درود زن مقدار همبستگی بین دو شاخص دوره ۱۲ ماهه به دلیل نزدیک و داخل حوضه قرار گرفتن حوضه ایستگاه نسبت به دو ایستگاه دیگر بیشتر بوده ولی این را نمی‌توان دلیل تأثیر زیاد شاخص SPI سالانه بر روی تغییرات پوشش گیاهی در منطقه تلقی کرد.

جدول ۱۲: مقادیر همبستگی بین شاخص‌های ۱ و ۳ ماهه بارش استاندارد با NDVI در حوضه درود زن

ایستگاه شیراز			ایستگاه اقلید			ایستگاه درود زن			شاخص پوشش گیاهی
Spi-1	Spi-3	Spi-year	Spi-1	Spi-3	Spi-year	Spi-1	Spi-3	Spi-yea	
۰/۸۶۸	۰/۴۰۴	۰/۳۴۵	۰/۸۶۸	۰/۱۴۴	۰/۳۱۴	۰/۹۶۸	۰/۲۲۳	۰/۳۰۱	NDVI-2001
۰/۷۲۵	۰/۳۹۸	۰/۱۲۶	۰/۷۷۱	۰/۰۵۴	۰/۱۱۵	۰/۹۲۵	۰/۱۲۵	۰/۲۹۴	NDVI-2003
۰/۴۶۳۵	۰/۳۱۴	۰/۳۲۱	۰/۸۶۰	۰/۰۳۶	۰/۰۵۸	۰/۹۷۶	۰/۴۹۷	۰/۱۱۵	NDVI-2005
۰/۶۸۱	۰/۱۱۹	۰/۱۱۲	۰/۹۸۸	۰/۱۸۷	۰/۳۲۸	۰/۸۲۵	۰/۴۰۲	۰/۲۶۶	NDVI-2007
۰/۷۴۵	۰/۲۰۹	۰/۰۸۹	۰/۹۰۸	۰/۰۸۵	۰/۰۸۵	۰/۹۲۷	۰/۱۶۴	۰/۲۵۱	NDVI-2009
۰/۹۲۵	۰/۳۶۰	۰/۱۰۲	۰/۸۶۵	۰/۳۱۴	۰/۵۱۴	۰/۷۶۵	۰/۲۱۵	۰/۳۶۱	NDVI-2013
۰/۹۸۱	۰/۲۵۸	۰/۲۷۱	۰/۹۰۱	۰/۶۱۵	۰/۶۴۵	۰/۸۸۲	۰/۳۶۸	۰/۲۶۵	NDVI-2014

مأخذ: نگارنده

بررسی دقیق‌تر در ایستگاه درود زن در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۵ در دوره خشک با توجه به جدول ۴ - ۶ مقدار تأثیر خیلی زیاد بوده و مقدار همبستگی بالای ۰/۹ بوده است. همچنین در دوره ترسالی ۲۰۰۹ مقدار شاخص نسبت به سال ۲۰۱۴ که ترسالی اتفاق افتاده است بیشتر و مقدار بالا در این سال نیز نشان می‌دهد که دوره ترسالی نیز تأثیر مثبت روی پوشش گیاهی در منطقه داشته است. اما قبلاً گفته شد از دو ایستگاه دیگر برای دقت کار استفاده شده است ایستگاه شیراز نسبت به اقلید در فاصله نزدیک‌تری قرار داشته است که مقدار همبستگی بر اساس دوره یک‌ماهه شاخص بارش استاندارد در سال ۲۰۱۳ برای دوره خشک دارای مقداری همبستگی بسیار بالایی که برابر است با ۰/۹۲۵ و در سال ۲۰۱۴ برای دوره ترسالی مقدار ۰/۹۸۱ را نشان می‌دهد. اما ایستگاه اقلید که فاصله بیشتری از ایستگاه شیراز نسبت به

حوضه داشته شاخص بارش استاندارد یک‌ماهه به نسبت بیشتر بوده و در سال ۲۰۰۹ و ۲۰۱۴ برای دور ترسالی منطقه مقدار بالای ۰/۹ را نشان می‌دهد که از تأثیر قوی بارش‌های میانگین ماهانه در دوره رشد و حفظ پوشش گیاهی منطقه ناشی می‌شود و در سال ۲۰۰۷ مقدار بالای همبستگی نسبت به بقیه را برای دوره خشک نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

برای بررسی این پدیده طبیعی از آمار ۳ ایستگاه در طی ۱۵ سال آمار مشترک استفاده شده است. پس از بررسی داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک و رفع نواقص و بازسازی داده به بررسی خشک‌سالی با استفاده از شاخص کوتاه‌مدت SPI، پرداخته شد. برای محاسبه این شاخص‌ها از نرم‌افزار محاسبه شاخص‌های هواشناسی DIP استفاده شد. این نرم‌افزار که توسط گروه هواشناسی طراحی شده است برای محاسبه مقدار عددی هر یک از شاخص‌های هواشناسی کاربرد فراوانی دارد و از لحاظ کارایی باعث تسریع در برآورد خشک‌سالی در هر دوره زمانی و در هر منطقه‌ای می‌باشد به‌گونه‌ای که هرکدام از این شاخص‌ها را در دوره سالانه و ماهانه محاسبه می‌کند. شاخص خشک‌سالی SPI در دوره‌های کوتاه‌مدت یک و سه ماهه و دوره سالانه برای هر سه ایستگاه بررسی شد سال‌های دارای خشک‌سالی در دوره‌های کوتاه یک‌ماهه بسیار دقیق‌تر از دوره سه ماهه و سالانه مشخص شد. به‌گونه‌ای که هر یک از سال‌ها در دوره آماری اگر با کوچک‌ترین تغییرات بارش روبرو شده باشد و این مقدار تغییرات کمتر از حد نرمال باشد آن سال را به‌عنوان دوره خشک معرفی کرده است. هرچند ممکن است این شاخص در طول سه ماه به‌طور مرتب دو یا سه دفعه خشک‌سالی رخ داده باشد که با نوسانات ریز و نزدیک به هم نشان داده شده است با توجه به نتایج حاصل شده از محاسبات شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی به‌طور کلی در تمامی ایستگاه‌های موجود در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۵، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳ خشک‌سالی از ضعیف تا شدید رخ داده است همچنین در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۴ دوره ترسالی در منطقه اتفاق افتاده است.

منابع

- ۱- روزگار، رسول. سلیمان پور، محمد. جوکار، لیلا (۱۳۹۸): بررسی وضعیت خشک‌سالی و روند آن در حوضه سد درود زن بر اساس شاخص‌های آماری خشک‌سالی. اولین همایش بیابانی.
- ۲- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان فارس، سال‌نامه آماری، (۱۳۹۷).
- ۳- سلامت، ع.آل یاسین، م (۱۳۹۶): راهنمای مقابله با خشک‌سالی. ناشر: کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
- ۴- شفیعی، حسن. حسینی، محمد (۱۳۹۶): بررسی پوشش گیاهی به کمک داده‌های ماهواره‌ای در منطقه سیستان، مجله اکو فیزیولوژی گیاهی، سال سوم، صفحات ۹۱-۱۰۵.
- ۵- عقیقی، محمدابراهیم، چتر آذر، هادی، (۱۳۹۶): پایش تغییرات پوشش گیاهی در اثر خشک‌سالی در حوضه آبریز درود زن با استفاده از تصاویر MODIS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی لارستان.

- ۶- علیجانی، بهلول، رضانی ف نبی،... (۱۳۹۶): پیش بینی خشک سالی ها و ترسالی ها در استان مازندران با استفاده از باکس-جنکینز، پژوهش های جغرافیای انسانی
- ۷- لشکری، حسن، متکان، علی اکبر، آزادی، حمید، محمدی، زینب (۱۳۹۶): تحلیل همبندی نقش پرفشار جنب حاره ای عربستان در رودبار جنب حاره ای در خشک سالی های شدید جنوب و جنوب غرب ایران، پژوهش های دانش زمین - سال هشتم شماره ۳۰، صص ۱۴۱ - ۱۶۳.
- ۸- مال میران، حمید، (۱۳۹۸): سنجش از دور و روند تعبیر و تفسیر تصاویر هوایی و ماهواره ای، انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح
- ۹- محمدیاری، فریبا. پورخباز، حسن. توکلی، مهدی. اقدر، حسن (۱۳۹۷): تهیه نقشه پوشش گیاهی و پایش تغییرات آن با استفاده از تکنیک های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهرستان بهبهان)، فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، شماره ۹۲، زمستان ۱۳۹۷، ۲۳-۳۴.
- ۱۰- میر موسوی، سید حسین، کریمی حمیده (۱۳۹۸)، مطالعه اثر خشک سالی بر روی پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS مورد: استان کردستان، جغرافیا و توسعه: تابستان ۱۳۹۲، دوره ۱۱، شماره پیاپی ۳۱، صص ۵۷-۷۶.
- ۱۱- نوری، سمیرا، ثنایی نژاد، سید حسین، (۱۳۹۸): بررسی خشک سالی با استفاده از شاخص های خشکی دما-گیاه (TVDI) و دما-گیاه اصلاح شده (MTVDI) و تصاویر سنجنده مودیس، مجله آب و خاک، نوع نشریه: علمی - پژوهشی، جلد ۲۷ شماره ۴.
- ۱۲- هادیان، فریبا. حسینی، زهرا. سید حسینی، مرجان (۱۳۹۶): پایش تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از اطلاعات بارندگی و تصاویر ماهواره ای NOAA AVHRR در استان کرمانشاه، نشریه مرتعداری، جلد اول، ۱۳۹۳، ۴۶-۶۲.
- 13- Aivanz, M., (2008): The Use Of Multi-Criteria Decision-Making Methods In The Integrated Assessment Of Climate Changes: Implications For IA Practitioners, Socio-Economic Planning Sciences, 37, Pp. 289-316.
- 14- Bell, M., (2016): The Use Of Multi-Criteria Decision-Making Methods In The Integrated Assessment Of Climate Changes: Implications For IA Practitioners, Socio-Economic Planning Sciences, 37, Pp. 289-316.
- 15- Hong, G. Et Al. (2011): Research On Sustainable Development Of Resource- Based Small Industrial And Mining Cities-A Case Study Of Yangquanqu Town, Xiaoyi, Shanxi Province, China, Proceeded Engineering 21. Pp. 633-640.
- 16- Jordan, (2008): A Multiple Criteria Decision Model For Assigning Priorities To Activities, International Journal Of Project Management, 27, Pp. 175-181.
- 17- Kogan, F. N., Vegetation Index For Areal Analysis Of Crop Conditions. Proceedings Of 18th Conference On Agricultural And Forest Meteorology, AMS, W. Lafayette, Indiana, On 15-18 September (2018): (Indiana, USA), 2018, Pp. 103-106.
- 18- Munier, Z., (2008): Multi-Attribute Contractors Ranking Method By Applying Ordering Of Feasible Alternatives Of Solutions In Terms Of Prefer Ability Technique, Technological And Economic Development Baltic Journal On Sustainability, 14, Pp. 224-239.
- 19- Singh, R. P., Roy, S., Kogn, F., Vegetation And Temperature Condition Indices From NOAA AVHRR Data For Drought Monitoring Over India, Int. J. Remote Sens., (2018): Pp. 4393-4402.
- 20- Wylie, B. K., D. J. Meyer, L. L. Tieszen And S. Mannel. (2017): Satellite Mapping Of Surface Biophysical Parameters At The Biome Scale Over The North American Grasslands: A Case Study. Remote Sensing Of Environment 79 (2-3): Pp. 266-278.