

بررسی پیامدهای تغییرات آب و هوایی با تمرکز بر تحلیل فضایی شدت خشکسالی در استان گلستان با شاخص‌های آماری و سنجش از دوری

علی اکبر شمسی‌پور^{۱*}، وحید رودگر صفاری^۲

^۱دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران
^۲کارشناسی‌ارشد آب و هواشناسی ماهواره‌ای، گروه جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران
تاریخ دریافت: ۹۹/۰۲/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۵/۰۵

چکیده

خشکسالی، به‌عنوان یک پدیده پیچیده و زیان‌بار اقلیمی، فعالیت‌های مختلف انسانی و فرایندهای زیستی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. واکاو مکانی و توالی زمانی و پیش‌بینی آن شاید نقش مؤثری در کاهش خسارات ناشی از آن در بخش‌های مختلف فعالیت و طبیعی داشته باشد. در این رابطه شاخص‌های متنوعی تعریف شده اند که به نظر می‌رسد، برآوردهای متفاوتی از خشکسالی داشته باشند. در پژوهش حاضر برای تحلیل فضایی خشکسالی هواشناسی استان گلستان با بهره‌گیری از داده‌های بارش ۷۲ ایستگاه بارانسنجی متعلق به سازمان هواشناسی، با دوره آماری ۴۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۷۱) و برای پایش خشکسالی اکولوژیک، از تصاویر ماهواره‌ای Landsat (TM) ۱۹۸۷ و Landsat (MSS) ۱۹۷۵ (مورد استفاده قرار گرفت). از شاخص آماری SPI در بررسی روند تغییرات زمانی و از شاخص گیاهی NDVI برای شناسایی تنش‌های گیاهی ناشی از خشکسالی استفاده شده و مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج دو شاخص مذکور ضرایب همبستگی مناسب و در سطح اطمینان بالای ۹۹ درصد معنادار را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که براساس شاخص SPI، سال ۲۰۰۰ بیشترین و شدیدترین خشکسالی را داشته که ۴۲/۱ درصد از مساحت استان (معادل ۸۵۷۵۰۰ هکتار) را شامل می‌شود و براساس شاخص NDVI، بیشترین تراکم پوشش گیاهی مربوط به سال ۱۹۷۵ می‌باشد که مقدار آن ۲۹/۱ درصد از مساحت استان (معادل ۵۹۴۱۰۶ هکتار) را شامل می‌شود. براساس نقشه‌های نهایی می‌توان نتیجه گرفت که محدوده‌های شمالی و شمال شرق استان بیشترین خشکسالی را دارا هستند. نگاه کلی به نقشه‌ها، نقش بارز اختلاف ارتفاع و فاصله از دامنه‌های شمالی البرز در جهت جنوب به شمال را از هر دو نظر فراوانی و شدت رخداد خشکسالی‌ها نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، شاخص SPI، شاخص NDVI، استان گلستان

مقدمه

کمربند بیابانی زمین اگر بارندگی به مدت چندین ماه متوالی هم رخ ندهد، خشکسالی محسوب نمی‌شود. از بین متغیرهای اقلیمی، بارش به‌عنوان مهمترین متغیر تعیین‌کننده شرایط خشکسالی است. عموماً خشکسالی‌ها در چهار گروه عمده هواشناسی، هیدرولوژی، کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی تقسیم می‌شوند. انواع خشکسالی‌ها نسبت به هم تقدم و تأخر معناداری دارند؛ به مفهوم دیگر رخداد یک نوع خشکسالی مقدمه‌ای بر رخداد خشکسالی نوع دیگر است. بنابر این رابطه بین انواع خشکسالی‌ها می‌تواند با لحاظ تأخیر زمانی محاسبه شود. به‌عنوان مثال

خشکسالی از مخاطرات آب و هوایی است که در طول زمان خسارات زیادی به زندگی انسان و زیست‌بوم‌های طبیعی وارد می‌آورد. در واقع پدیده‌های اقلیمی است که به صورت دوره‌ای در هر منطقه آب و هوایی رخ می‌دهد. از اینرو وقوع خشکسالی در هر منطقه به نوع اقلیم منطقه بستگی دارد. به‌طوری‌که در بعضی از بخش‌های جهان اگر بارندگی به مدت یک هفته اتفاق نیفتد خشکسالی رخ خواهد داد در حالی‌که در بعضی دیگر از مناطق جهان همانند

ماهواره‌ای، که دارای پس زمینه‌ی رقومی هستند، قابلیت بکارگیری انواع شاخص‌ها و معادله‌های آماری و ریاضی و تلفیق با داده‌های عددی از منابع مختلف را دارند (Heim, ۲۰۰۲). در حال حاضر تصاویر ماهواره‌ای به طور منظم و با وضوح مکانی بالا، از سطح زمین تهیه می‌شوند و قابلیت بکارگیری در پهنه‌های گسترده در دوره‌های زمانی مشخص را دارند. از مزایای استفاده از سنجش از دور نسبت به روش‌های آماری می‌توان به افزایش نقاط نمونه‌برداری، سطح پوشش وسیع‌تر، توالی زمانی بالاتر و هزینه کمتر اشاره کرد (Wilhite, ۲۰۰۰). در زمینه استفاده از شاخص‌های ماهواره‌ای و شاخص‌های هواشناسی با هدف ارزیابی و پایش خشکسالی، مطالعات زیادی در داخل و خارج از کشور انجام شده است.

برای ردیابی خشکسالی با استفاده از داده‌های دورسنجی شاخص‌های مختلفی پیشنهاد شده که (Kogan, ۱۹۹۵) شاخص وضعیت دما (TCI) را با استفاده از باندهای حرارتی NOAA-AVHRR برای تشخیص تنش گیاهی مرتبط با دما و همچنین تنش‌های ناشی از رطوبت‌زدگی، بسط داد (Tucker, ۱۹۹۶). به نقل از شمسی‌پور (۱۳۸۶)، شاخص NDVI به دست آمده از داده‌های AVHRR را به‌طور وسیعی برای ارزیابی و پایش وضعیت پوشش گیاهی استفاده نمود. در پژوهشی که (Jurgen et al., ۱۹۹۸) در رابطه با پایش خشکسالی با استفاده از شاخص SPI و شاخص‌های پوشش گیاهی حاصل از داده‌های ماهواره‌ای NOAA-AVHRR در ایتالیا و اسپانیا انجام دادند، نتایج تحقیق آنها نشان داد که شاخص‌های دورسنجی و هواشناسی می‌توانند پایه‌ای برای اخذ جزئیات بیشتر اثرات خشکسالی بر تیپ‌های مختلف گیاهی باشند. در مطالعاتی که محققینی همچون (Wang et al., ۲۰۰۱؛ Peters et al., ۲۰۰۳) و (Bhuiyan et al., ۲۰۰۶) انجام دادند مشخص شد که بین دو شاخص NDVI و SPI ارتباط معناداری وجود دارد. نتایج تحقیق این پژوهشگران نشان می‌دهد که میزان همبستگی این دو شاخص با مکان و زمان تغییر می‌کند و براساس زمان‌های فصلی و تغییرات نوع

خشکسالی کشاورزی یکی از پیامدهای خشکسالی هواشناسی است. بطوری‌که با کاهش بارش، میزان آب در دسترس در ریشه گیاه کاهش یافته منجر به رخداد خشکی و کاهش راندمان محصولات و مراتع می‌شود. در خشکسالی هیدرولوژیک، وضعیت درازمدت جریان‌های رودخانه‌ای، آب‌های زیرزمینی و یا دیگر منابع آب بررسی می‌شود.

روش‌های مختلفی برای تحلیل خشکسالی و ارزیابی اثرات آن در فعالیت‌های مختلف انسانی و منابع طبیعی بکار گرفته می‌شود. روش‌های آماری، همدیدی، سنجش از دوری، انواع مدل‌های فضایی و دینامیکی و آماری در اغلب مطالعات مرتبط با خشکسالی دیده می‌شود. روش‌های آماری برای تحلیل روند تغییرات در عناصر و متغیرهای جوی در بستر زمان مورد استفاده قرار می‌گیرند و از داده‌های سنجش از دور، به سبب اثرات خشکسالی در متغیرها و عوارض سطحی اغلب با آشکارسازی تغییرات طیفی ایجاد شده در سطح مورد استفاده قرار می‌گیرند. پهنه‌بندی شاخص‌های خشکسالی و به‌طور کلی پهنه‌بندی مکانی دوره‌های خشک و توزیع منطقه‌ای آن یکی از ویژگی‌های مهمی است که باعث درک بهتری نسبت به پدیده خشکسالی و بررسی دقیق‌تر اثرات آن می‌شود (انصاری و داوری، ۱۳۸۶). روش‌های عمده پهنه‌بندی خشکسالی‌ها عموماً شامل چهار گروه اصلی روش‌های درون‌یابی Kriging، IDW و RBF و GPI طبقه‌بندی کرد (عیوضی و مساعدی، ۱۳۹۰) که در این بین تکرار استفاده از روش پهنه‌بندی IDW بیشتر بوده است؛ برای مثال در پژوهش‌های (محمدیان و همکاران؛ ۱۳۸۹؛ شاهیان و همکاران، ۱۳۸۸) مورد توجه قرار گرفته است. در چهار دهه اخیر سنجش از دور، ابزار پایش خشکسالی را به صورت وسیع و گسترده فراهم آورده و مدل‌های پایش خشکسالی زیادی ارائه شده است که عموماً برپایه شاخص‌های گیاهی و حرارتی سطحی بخصوص شاخص نرمال شده تغییرات پوشش گیاهی (NDVI)، دمای سطحی زمین (LST)، رطوبت و بازتاب در ناحیه مرئی و مادون قرمز است. تصاویر

معرفی منطقه مورد مطالعه: استان گلستان با وسعت ۲۰۴۶۰٫۷ کیلومتر مربع، ۱٫۳۳ درصد از کل مساحت کشور را به خود اختصاص داده است که در محدوده جغرافیایی ۵۶-۵۴ درجه طول شرقی و ۳۸-۳۶ درجه عرض شمالی در شمال شرقی ایران واقع شده است. از شمال با جمهوری ترکمنستان ۲۰۵ کیلومتر مرز مشترک دارد که ۱۲۰ کیلومتر آن را مرز آبی رودخانه اترک تشکیل می‌دهد. از لحاظ وضع ناهمواری از جنوب به سمت شمال به ترتیب کوه‌های البرز شرقی - کوهپایه (مخروط‌افکنه) - ناحیه جلگه‌ای و سپس اراضی پست - بین گرگان‌رود و اترک تشکیل شده است (شکل ۱). موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های توپوگرافی این استان سبب شده است که از اقلیم و پوشش گیاهی متنوعی برخوردار باشد. به گونه‌ای که نواحی جنوبی آن از آب و هوای کوهستانی، نواحی مرکزی و جنوب غربی از آب و هوای مدیترانه‌ای و نواحی شمالی آن از شرایط نیمه خشک و خشک برخوردار است. در زمستان‌ها نیز پیشروی توده هوای سرد شمالی باعث کاهش دمای هوا و ریزش باران در جلگه و برف در ارتفاعات می‌گردد. ویژگی‌های اقلیمی آن سبب شده که هر ساله خشکسالی‌های به نسبت شدیدی در استان، به ویژه در قسمت‌های شمالی و شمال شرق آن رخ دهد که بارش کمتری را دریافت می‌کنند. همچنین مجاورت این استان با دریای خزر و رشته کوه‌های البرز سبب شده که به تبعیت از آب و هوا در دامنه شمالی البرز از خط ساحلی دریای خزر تا قله مرتفع متناسب با افزایش ارتفاع پوشش گیاهی متنوعی به صورت نوارهای مشخص به وجود آید. از ارتفاعات بیش از ۱۵۰۰ متر تا کوهپایه‌ها پوشیده از جنگل‌های انبوه پهن برگ است. از کوهپایه‌ها به طرف جلگه هم محصولات زراعتی پوشش گیاهی منطقه را تشکیل می‌دهد. از حدود شمال گرگان‌رود تا مرز ترکمنستان (قسمت‌های شمالی و شمال شرق استان) پوشش گیاهی نیز به دلیل دوری از منابع رطوبتی نسبت به مناطق جنوبی و مرکزی استان تنک‌تر می‌باشد.

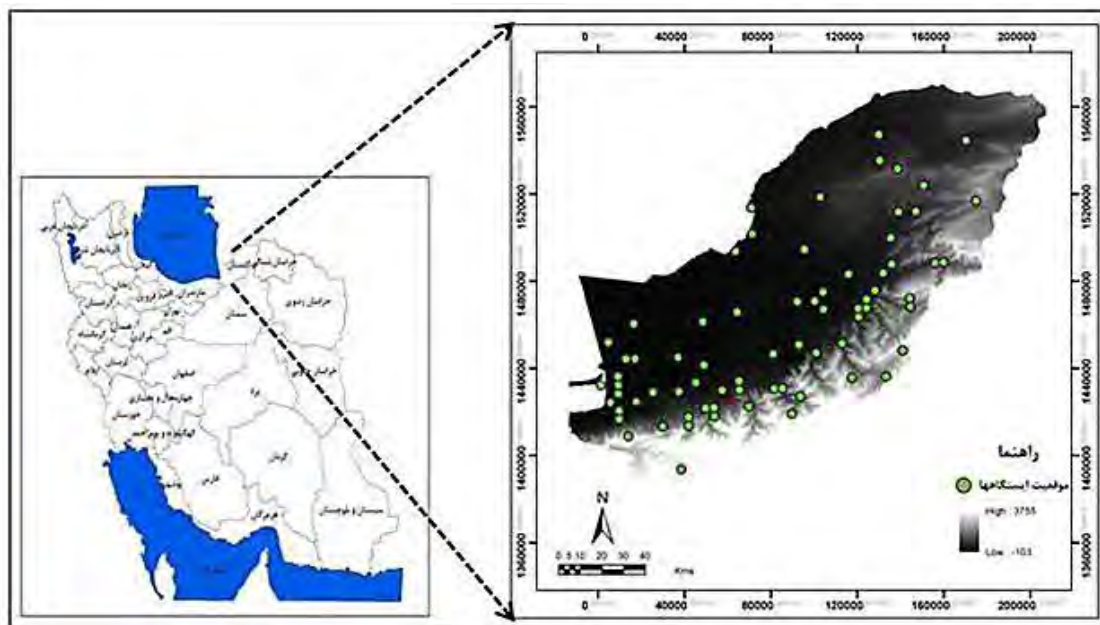
خاک و گیاه است. در ضمن مشخص شد که شاخص NDVI، متغیری مفید برای پایش وضعیت پوشش گیاهی یک منطقه است (Quiring et al., ۲۰۰۹). به بررسی رابطه بین شاخص VCI و شاخص‌های هواشناسی پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که این شاخص بیشترین همبستگی را با شاخص SPI با دوره زمانی ۶ ماه دارد. بعد از این شاخص بیشترین همبستگی متعلق به دوره‌های ۳ و ۹ ماهه شاخص SPI است. در این بررسی مشخص شد که با وجود اینکه این شاخص با هدف حذف اثرات منطقه‌ای آب و هوایی و پوشش از روی NDVI بوجود آمده است، همبستگی آن با شاخص SPI به مکان وابسته است.

در ایران نیز پژوهشگرانی بسیاری همچون رحیم‌زاده (۱۳۸۴)، خواجه (۱۳۸۶)، پرویز (۱۳۸۸)، شمسی‌پور و همکاران (۱۳۸۹)، باعقیده (۱۳۹۰) و بذرافشان و همکاران (۱۳۹۲)، از شاخص‌های خشکسالی سنجش از دوری و هواشناسی برای ردیابی خشکسالی‌های مناطق مختلف کشور استفاده کردند. از نتایج تحقیقات آنها می‌توان چنین استنباط کرد که بین دو شاخص NDVI و SPI همبستگی خوبی نسبت به دیگر شاخص‌های سنجش از دوری وجود دارد. به دلیل انطباق بیشتر با یکدیگر عملکرد بهتری را در پایش و ارزیابی خشکسالی مناطق مختلف دارند.

هدف از مطالعه، مقایسه توان شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و ماهواره‌ای در تشخیص و آشکارسازی تغییرات رخ داده در خشکسالی‌های اقلیمی و اکولوژیکی استان گلستان است. در پژوهش حاضر از تصاویر ماهواره لندست با وضوح مکانی بالا در سال‌های منطبق با خشکسالی، نرمال و ترسالی هواشناسی استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

پژوهش از نظر ماهیت و روش به جهت مبانی نظری جزء تحقیقات توصیفی به شمار رفته و به جهت اثر و ارتباط از نوع کاربردی است. بر این اساس، مراحل تحقیق به شرح ذیل می‌باشد:



شکل ۱: موقعیت استان گلستان و ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد استفاده در پژوهش (منبع: نویسنندگان، ۱۳۹۳)

ایستگاه سینوپتیک از نرم افزار ۱ DIC (حجاری زاده و جوی زاده، ۲۰۰۷) بهره گرفته شد. تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی شده شاخص‌های محاسبه شده از درون‌یابی با روش وزنی عکس فاصله (IDW) در نرم‌افزار Arc/GIS ۱۰٫۲ استفاده گردید.

برای پایش تغییرات فضایی خشکسالی اکولوژیک استان، از تصاویر سنجنده TM ماهواره Landsat (برای سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۰) و تصاویر سنجنده MSS ماهواره Landsat (برای سال ۱۹۷۵)، قابل دسترس در تارنمای G1cf، مورد استفاده قرار گرفت. علت انتخاب تصاویر ماهواره‌ای مورد اشاره، قدرت تفکیک مکانی متوسط باندهای موجود در طیف‌های قرمز و مادون قرمز نزدیک این تصاویر و در دسترس بودن آنها بود. تصاویر مورد استفاده دارای شرایط هواشناسی مناسب و بدون ابر هستند. واسنجی تصاویر، تصحیح اتمسفری و تصحیح رادیومتریک از جمله پیش پردازش‌هایی بودند که بر روی تمام تصاویر انجام شد. به‌منظور تصحیح رادیومتریک، مقادیر پیکسل‌های هر کدام از تصاویر خام به رادیانس ۲ بالای اتمسفر (Top of Atmosphere) تبدیل شدند و همچنین مقادیر پیکسل

روش‌های انجام پژوهش

داده‌های مورد استفاده در پژوهش: در پژوهش حاضر برای ردیابی خشکسالی‌های هواشناسی و اکولوژیک استان گلستان، از دو نوع داده بهره گرفته شد. داده‌های بارندگی ایستگاه‌های مختلف باران‌سنجی در مقیاس ماهانه و داده‌های سنجش از دور، برگرفته از تصاویر ماهواره‌ی لندست. برای شناسایی و پهنه‌بندی خشکسالی هواشناختی از شاخص استاندارد بارندگی (SPI) و از شاخص نرمال شده تغییرات پوشش گیاهی (NDVI) برای ردیابی تنش‌های گیاهی تحت تأثیر خشکسالی استفاده گردید. در ادامه برای آزمون ارتباط آنها نتایج دو شاخص مورد مقایسه قرار گرفتند. به منظور ارزیابی و پایش خشکسالی استان، از داده‌های بارش ۷۲ ایستگاه بارانسنجی متعلق به سازمان هواشناسی کشور، در طی دوره آماری ۱۹۷۱-۲۰۱۰ استفاده شد که از اداره کل هواشناسی استان گلستان اخذ گردید. پس از جمع‌آوری داده‌ها، مرتب‌سازی و در صورت نبود جافتادگی، بازسازی آنها در محیط نرم افزاری Excel انجام شد. برای تهیه نقشه‌های مربوط به شاخص SPI، از مقیاس سالانه این شاخص استفاده شد. در ادامه برای محاسبه شاخص SPI برای دوره ۴۰ ساله هر

۱. Drought Indices Calculator

۲. Radiance

نرم افزار مذکور، مقادیر این شاخص در ۷۲ ایستگاه نام برده در سال‌های منتخب، از لایه‌های متناظر SPI و NDVI هر سال استخراج شد. جدول مقایسه بدست آمده از نقاط نمونه‌گیری که در این پژوهش ۷۲ نقطه ایستگاهی است، تحلیل آماری انجام شد. در ادامه برای آزمون ارتباط بین مقادیر شاخص NDVI و مقادیر شاخص SPI در سال‌های منتخب، در نرم افزار اکسل همبستگی پیرسون برقرار شد و نتایج به دست آمد. قابل ذکر است که برای کلاس بندی شدت خشکسالی استان، با استفاده از شاخص NDVI، از نرم افزار Arc/GIS ۱۰٫۲ استفاده گردید. جدول (۱) مشخصات تصاویر ماهواره ای مورد استفاده در این پژوهش را نشان می دهد.

های هر یک از این تصاویر خام تبدیل به انعکاس بالای اتمسفر گردیدند. لازم به ذکر است که چون تصاویر خام دریافت شده از تارنمای مذکور از قبل برای آنها سیستم مختصات تعریف شده بود، اعمال تصحیح هندسی بر روی این تصاویر لازم نبود. تمام فرایندهای پیش پردازش و پردازش تصاویر ماهواره‌ای و اجرای الگوریتم NDVI با استفاده از نرم افزارهای ENVI ۴٫۸ و IDRISI Selva به انجام رسید.

برای به دست آوردن مقادیر دو شاخص SPI و NDVI از روش نمونه‌گیری استفاده شده است. بدین منظور، پس از اجرای الگوریتم NDVI در نرم افزار IDRISI Selva، تصاویر مربوط به این شاخص به محیط Arc/GIS ۱۰٫۲ فراخوانی شدند و سپس با استفاده از ابزار Sample از ابزارهای تحلیل فضایی در

جدول ۱: مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در پژوهش

سال	سنجنده	قدرت تفکیک مکانی	قدرت تفکیک رادیومتریکی	قدرت تفکیک طیفی	باند‌های مورد استفاده	زمان برداشت تصاویر
۱۹۷۵	MSS	۸۰ متر	۷ bit	۴ باند	۲ و ۴	ماه جولای (تیر)
۱۹۸۷	TM	۳۰ متر	۸ bit	۷ باند	۳ و ۴	ماه جولای (تیر)
۲۰۰۰	TM	۳۰ متر	۸ bit	۷ باند	۳ و ۴	ماه جولای (تیر)

که نمایه بارش استاندارد منفی تداوم داشته باشد و همچنین رخداد خشکسالی زمانی شدید است که شاخص بارش استاندارد ۱- و یا کمتر باشد و در صورتی که SPI مثبت شود رخداد خشکسالی به پایان خواهد رسید. بنابراین هر رخداد خشکسالی یک دوره‌ای دارد که توسط شروع و پایانش و همچنین شدت هر ماهی که رخداد خشکسالی در آن تداوم داشته است، تعیین می‌شود. حدود طبقات وضعیت رطوبتی براساس این شاخص در جدول (۲) ارائه شده است.

شاخص‌های مورد استفاده در پژوهش

الف) شاخص بارش استاندارد شده (SPI):^۱ شاخص بارش استاندارد (SPI)، توسط مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) برای تعیین دوره‌های خشکسالی و ارزیابی شدت آن تدوین شد. این نمایه بستگی به احتمال بارش برای هر زمان و مقیاس دارد و برای بازه‌های زمانی مختلف (۳ تا ۴۸ ماهه قابل محاسبه است و می‌تواند هشدار اولیه رخداد خشکسالی و کمک به ارزیابی شدت آن باشد. مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) بیان کردند که خشکسالی زمانی رخ می‌دهد

۱. Standardized Precipitation Index

جدول ۲: طبقات مختلف خشکسالی براساس شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

حدود SPI	رتبه	توصیف وضعیت
۲ و یا بیشتر	۳	ترسالی شدید
۱,۹۹ تا ۱,۵	۲	ترسالی متوسط
۱ تا ۱,۴۹	۱	ترسالی ضعیف
۰,۹۹ تا -۰,۹۹	۰	نرمال
-۱ تا -۱,۴۹	-۱	خشکسالی ضعیف
-۱,۹۹ تا -۱,۵	-۲	خشکسالی متوسط
-۲ و یا کمتر	-۳	خشکسالی شدید

یافته‌های پژوهش

الف) تحلیل بارش استان گلستان: بارندگی به‌عنوان مهمترین پارامتر اقلیمی نتیجه حرکت عمومی جو و گردش کلی توده‌های هواست. بررسی نقشه هم‌بارش استان گلستان گویای تبعیت آن از ناهمواری‌های البرز شرقی است؛ بطوریکه با فاصله از ارتفاعات به سمت شمال و شمال شرقی استان از میزان بارش کاسته می‌شود.

بیشترین بارندگی متوسط سالانه مربوط به ایستگاه‌های پاس‌پشته، نوده و رامیان (قسمت‌های مرکزی استان) با بیش از ۸۰۰ میلی‌متر در سال است و کمترین بارندگی متوسط سالانه متعلق به ایستگاه‌های داشلی‌برون، اینچه‌برون و تیل‌آباد (محدوده‌های شمالی و دامنه‌های جنوبی البرز) با کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر در سال است. همچنین این نقشه بیانگر این نکته است که بیشترین بارندگی‌های استان در حوزه آبخیز گرگانرود رخ داده و به تدریج به سمت حوزه آبخیز اترک در شمال استان به شدت از میزان بارندگی‌ها کاسته می‌شود. شکل شماره (۲) نقشه درونیابی شده بارندگی متوسط سالانه استان را نشان می‌دهد.

ب) شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی

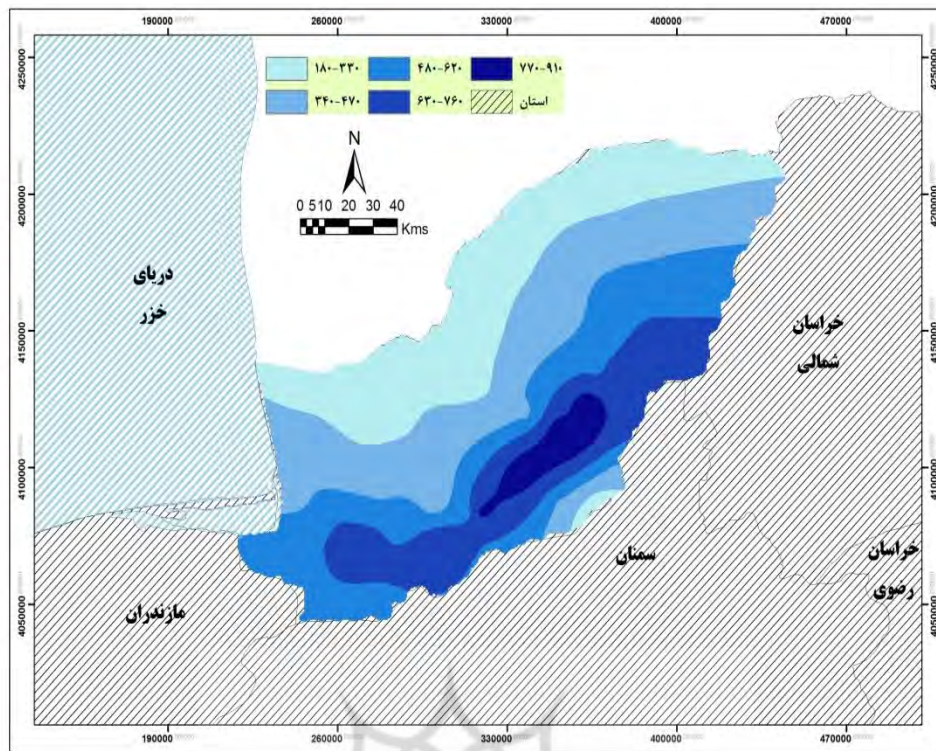
(NDVI): شاخص NDVI را نخستین بار تاکر در سال ۱۹۷۹، به عنوان شاخصی برای سلامت پوشش گیاهی مطرح کرد.

رابطه (۱)

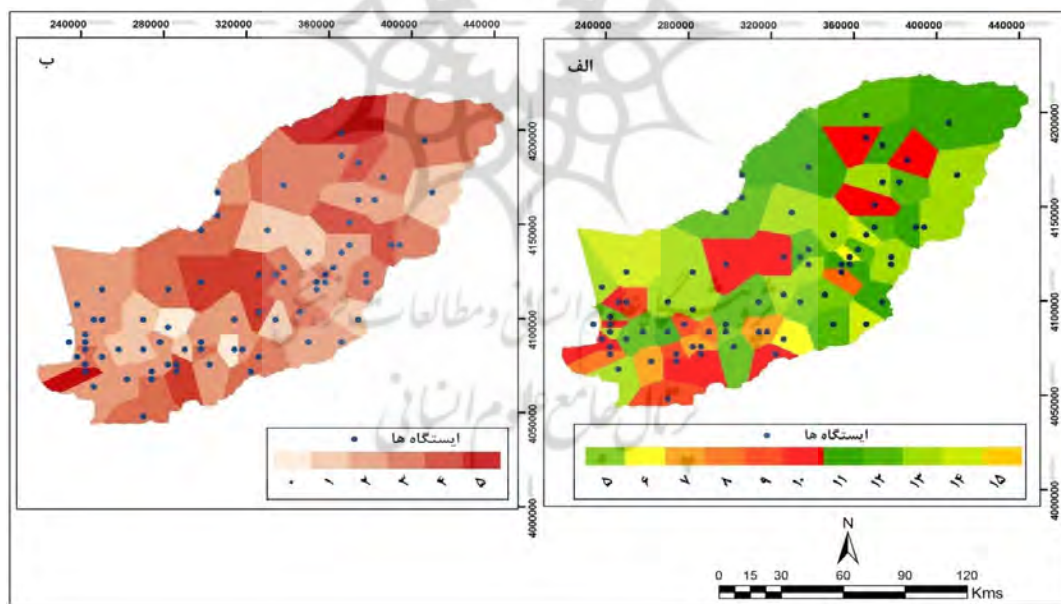
$$NDVI = (P_{NIR} - P_R) / (P_{NIR} + P_R)$$

که در آن P_{NIR} ، باند مادون قرمز نزدیک و P_R ، باند قرمز است. شاخص NDVI پتانسیل گیاهی، درصد پوشش سبز گیاهی، شاخص درصد نواحی برگ‌دار و انبوه‌های گیاهی را انعکاس می‌دهد. این شاخص رایج‌ترین شاخص پوشش گیاهی است. پوشش گیاهی در حالت سلامت، امواج باند مادون قرمز نزدیک را به خوبی منعکس می‌کند. در این شاخص مقدار عددی هر پیکسل بین +۱ و -۱ تغییر می‌کند. این شاخص برای مناطق دارای پوشش گیاهی از ۰/۱ (تنک) تا ۰/۸ (متراکم) است (تنکابایل و همکاران، ۲۰۰۲).

لازم به توضیح است که معادله این شاخص در نرم افزار IDRISI انجام شد. بدین منظور از باندهای ۲ و ۴ لندست MSS برای سال ۱۹۷۵ و از باندهای ۳ و ۴ لندست TM برای سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۰ استفاده گردید.



شکل ۲: نقشه پهنه‌بندی متوسط سالانه بارندگی استان گلستان در دوره آماری ۱۹۷۱-۲۰۱۰ (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۳)



شکل ۳: فراوانی خشکسالی ایستگاه‌های مورد مطالعه (الف: کل خشکسالی‌ها

ب: خشکسالی‌های شدید) (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۳)

خشک و مناطق نیمه مرطوب پدید می‌آید. استان گلستان به دلیل شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشکی که دارد، هر ساله تحت تاثیر این پدیده طبیعی و

(ب) تحلیل فراوانی و شدت خشکسالی استان گلستان: خشکسالی مخرب‌ترین پدیده اقلیمی است که در تمام نواحی اقلیمی اعم از مناطق خشک و نیمه

SPI و NDVI در هر سه سال مثبت است. در تمام سال‌های مورد مطالعه شاخص SPI با شاخص NDVI از ضریب همبستگی تقریباً بالایی با یکدیگر برخوردار هستند. به طوری که بیشترین همبستگی مربوط به سال ۲۰۰۰ (بیش از ۰/۷) و کمترین این مقدار مربوط به سال ۱۹۷۵ (کمتر از ۰/۵۵) می‌باشد. این در حالی است که در دیگر تحقیقات نیز همبستگی خوبی بین مقادیر دو شاخص مذکور مشاهده و این شاخص‌ها به عنوان نمایه مناسب برای استفاده در مدل پیش‌بینی خشکسالی‌ها معرفی شده‌اند. بنابراین به نظر می‌رسد استفاده از این دو شاخص برای پایش وضعیت خشکسالی‌های استان گلستان کافی باشد.

جدول ۳: مقادیر ضریب همبستگی بین مقادیر کمی شاخص‌های خشکسالی SPI و NDVI
(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۳)

سال مورد نظر	ضریب همبستگی
۱۹۷۵	۰,۵۵
۱۹۸۷	۰,۶۹
۲۰۰۰	۰,۷۳

همانگونه که ذکر شد در این نوشتار، کلاس‌بندی شاخص‌های SPI و NDVI در محیط نرم‌افزاری Arc/GIS ۱۰,۲ انجام شد. نقشه‌های مربوط به این دو شاخص، در هر سه سال منتخب به ۵ کلاس تقسیم گردیدند. در ادامه مساحت مربوط به هر یک از کلاس‌ها برای هر دو نمایه در جدول (۴) آمده است. نکته قابل توجه اینکه در هر سه سال مورد بررسی مساحت بیشتری از استان در طبقه خشکسالی شدید قرار دارد. اما آنچه تفاوت سه سال را نشان می‌دهد؛ درصد مساحت زیر پوشش خشکسالی بسیار شدید و درصد پهنه‌های با شرایط مرطوب است که سال ۲۰۰۰ با حدود ۳۸ درصد سطح زیر پوشش خشکسالی خفیف و مرطوب پایین‌ترین مساحت را نسبت به دو سال ۱۹۷۵ (۴۱/۸ درصد) و ۱۹۸۷ (۴۲/۳ درصد) نشان می‌دهد. همچنین نقشه‌های خشکسالی با استفاده از شاخص SPI و شاخص NDVI به ترتیب در شکل‌های (۴) و (۵) نشان داده شده است.

پس‌چیده قرار می‌گیرد. بررسی نقشه‌های فراوانی و شدت خشکسالی استان نشان می‌دهند که بیشترین فراوانی خشکسالی‌ها در ایستگاه‌های شمال و شمال شرق استان رخ داده و به سمت جنوب و جنوب غرب استان از شدت و فراوانی خشکسالی‌ها کاسته می‌شود. بیشترین این مقدار متعلق به ایستگاه‌های آشوراده، کلاله و تیل آباد می‌باشد. همچنین بیشترین فراوانی خشکسالی‌های شدید در بخش‌های شمال شرق استان مشاهده می‌شود که این مقدار متعلق به ایستگاه هوتان می‌شود. این در حالی است که کمترین تعداد آن در نواحی مرکزی و غربی استان گلستان رخ داده است. شکل (۳) (الف) فراوانی کل خشکسالی‌های منطقه مورد مطالعه و (ب) فراوانی خشکسالی‌های شدید را در طول دوره آماری ۱۹۷۱-۲۰۱۰ (۴۰ سال)، نشان می‌دهد.

ج) تعیین سال‌های مرطوب، خشک و نرمال:

نخست سه سال به‌عنوان نماینده با هدف ارزیابی و پایش خشکسالی استان گلستان انتخاب شدند که عبارت بودند از سال‌های ۱۹۷۵ به‌عنوان سال مرطوب، ۱۹۸۷ به‌عنوان سال نرمال و ۲۰۰۰ به‌عنوان سال خشک. سپس برای هر یک از سال‌های منتخب شاخص‌های مورد مطالعه (شاخص‌های هواشناسی و ماهواره‌ای) محاسبه شد. در مرحله بعد، ضریب همبستگی بین این دو شاخص، برای مقایسه توان آنها در ارزیابی خشکسالی استان، برقرار شد. پس از مشخص شدن ضریب همبستگی، مساحت مربوط به هر یک از کلاس‌ها در Arc/GIS ۱۰,۲ محاسبه گردید.

د) تحلیل همبستگی بین شاخص‌های SPI و NDVI

جدول (۳) تحلیل همبستگی ساده بین شاخص‌های SPI و NDVI را در هر یک از سال‌های منتخب نشان می‌دهد. به منظور محاسبه و به دست آوردن ضریب همبستگی، پس از استخراج مقادیر دو شاخص مذکور که به مراحل آن نیز اشاره شد، این مقادیر به محیط نرم‌افزاری اکسل فراخوانده شدند و سپس بین مقادیر این دو شاخص برای هر کدام از سال‌های منتخب ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شد. مطابق جدول (۳) همبستگی بین هر دو شاخص

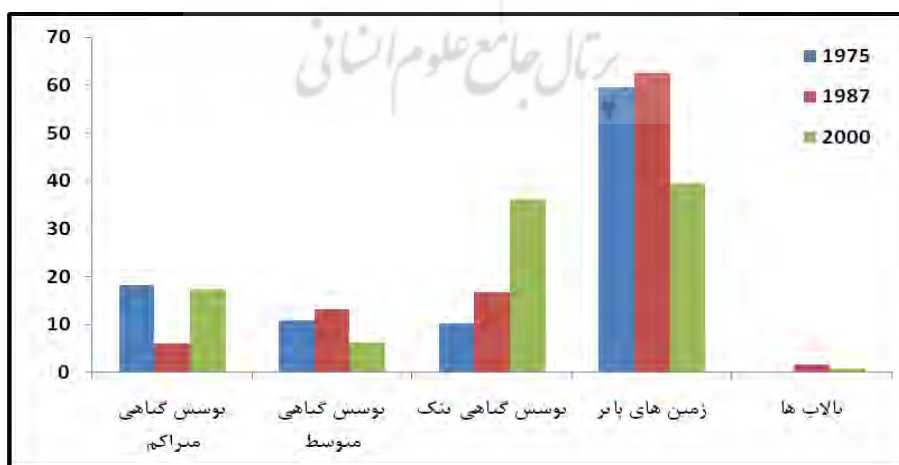
شکل‌های (۴) و (۵) به ترتیب نمودار مربوط به درصد طبقات خشکسالی بر اساس شاخص SPI و طبقات پوشش گیاهی بر اساس شاخص NDVI را نشان می‌دهند.

جدول ۴: مساحت و درصد طبقات خشکسالی با استفاده از شاخص های SPI و NDVI (هکتار) (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۳)

خشکسالی بسیار شدید		خشکسالی شدید		خشکسالی متوسط		خشکسالی خفیف		غیر خشکسالی		SPI
درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	
۹,۹	۵۴۱۸۴۲	۲۶,۶	۴۴۴۳۸۱	۲۱,۸	۴۴۴۳۸۱	۱۹,۱	۳۹۰۰۴۰	۲۲,۷	۴۶۲۹۵۲	۱۹۷۵
۱۷,۵	۳۵۶۷۲۰	۲۲,۶	۴۶۱۶۲۹	۱۷,۷	۳۶۱۴۲۴	۲۰,۱	۴۰۷۴۳۵	۲۲,۲	۴۵۲۸۳۸	۱۹۸۷
۱۶,۲	۳۳۰۰۶۴	۲۵,۹	۵۲۷۴۳۶	۱۹,۹	۴۰۵۶۲۲	۳۱,۱	۶۳۱۳۶۵	۷,۲	۱۴۶۵۵۹	۲۰۰۰
تالاب ها		زمین های بایر		پوشش گیاهی تنگ		پوشش گیاهی متوسط		پوشش گیاهی متراکم		NDVI
درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	
۰,۲	۲۵۵۷	۵۹,۵	۱۲۰۹۶۰۰	۱۰,۳	۲۰۷۷۹۵	۱۰,۹	۲۲۳۷۹۱	۱۸,۲	۳۷۰۳۱۵	۱۹۷۵
۱,۶	۳۴۱۱۰	۶۲,۴	۱۲۷۱۳۶۱	۱۶,۷	۳۴۰۴۰۰	۱۳,۳	۲۷۲۷۰۸	۶,۰۵	۱۲۳۱۵۸	۱۹۸۷
۰,۹	۱۸۱۳۹	۳۹,۴	۸۰۱۰۱۲	۳۶,۰۳	۷۳۳۴۲۴	۶,۳	۱۲۷۸۶۹	۱۷,۳	۳۵۲۰۷۲	۲۰۰۰



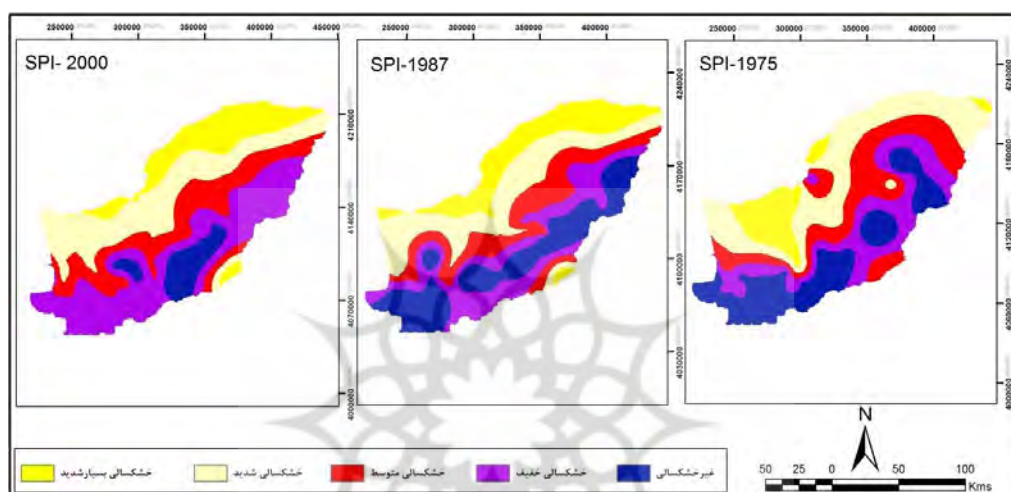
شکل ۴: نمودار درصد طبقات خشکسالی بر اساس شاخص SPI (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۳)



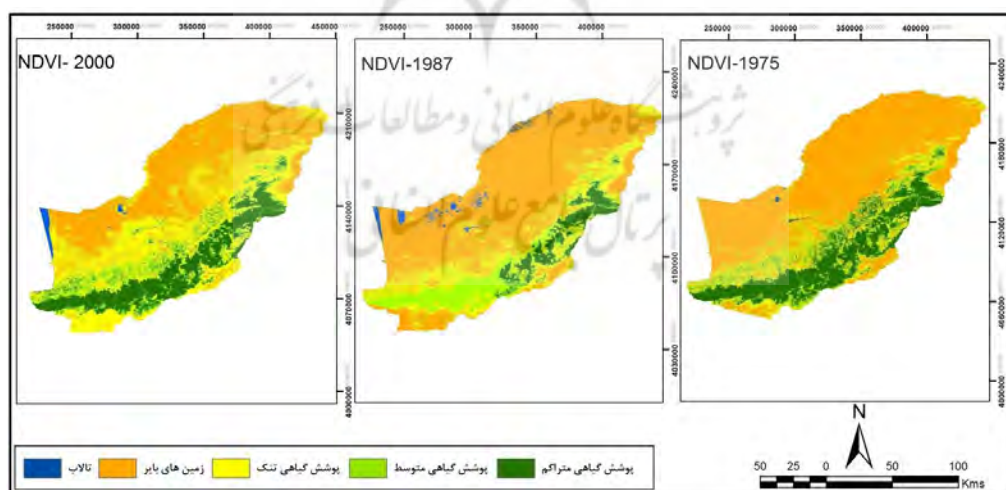
شکل ۵: نمودار درصد طبقات پوشش گیاهی بر اساس شاخص NDVI (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۳)

با توجه به شکل (۷)، بیشترین تراکم پوشش گیاهی مربوط به سال ۱۹۷۵ می‌باشد که کمترین این مقدار به سال ۱۹۸۷ مربوط می‌شود. همانطوری که در شکل ملاحظه می‌گردد قسمت‌های جنوبی استان در هر سه سال از پوشش گیاهی متراکمی برخوردارند. در صورتی که بیشتر قسمت‌های شمالی و غربی استان گلستان دارای پوشش گیاهی تنک و به بیابان ختم می‌شوند.

با توجه به شکل (۶)، سال ۲۰۰۰ بیشترین و شدیدترین خشکسالی‌ها را داشته که بیشتر از نوع خشکسالی شدید می‌باشد. در این سال، قسمت‌های شمالی استان با خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید رو به رو بوده است. به طور کلی محدوده‌های شمالی استان و شرق دریای خزر در هر سه سال منتخب بیشترین خشکسالی را داشته‌اند. در حالی که بیشترین ترسالی‌ها محدود به قسمت‌های جنوبی استان (دامنه‌های شمالی رشته کوه البرز) می‌شوند.



شکل ۶: نقشه‌های خشکسالی بر اساس روش SPI در سال‌های منتخب (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۳)



شکل ۷: نقشه‌های خشکسالی بر اساس روش NDVI در سال‌های منتخب (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۳)

هواشناسی (SPI)، در ردیابی و پایش خشکسالی استان گلستان مورد مقایسه قرار گرفت. برای مقایسه میزان انطباق بین مقادیر این دو شاخص از روش نمونه‌گیری

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، توان یک شاخص خشکسالی ماهواره‌ای (NDVI) و یک شاخص خشکسالی

با SPI سه ماهه مشاهده شد که دلیل این امر نیز فاصله زمانی بین رخداد بارش و پاسخ گیاه است. پژوهشگران از این تحقیق نتیجه گرفتند که NDVI می‌تواند متغیر مفیدی برای پایش وضعیت گیاه باشد. بنابراین با توجه به پژوهش‌های انجام شده چه در داخل کشور و چه در خارج از کشور، به نظر می‌رسد که استفاده از شاخص SPI به عنوان نماینده شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و شاخص NDVI به عنوان نماینده شاخص‌های خشکسالی ماهواره‌ای برای پایش وضعیت این نوع خشکسالی‌ها مناسب باشد. بنابر این تحقیق، دو شاخص خشکسالی SPI و NDVI به دلیل انطباق بیشتر با یکدیگر، برای پایش وضعیت خشکسالی‌های هواشناسی و ماهواره‌ای استان گلستان پیشنهاد می‌شود.

استفاده شد و مشخص گردید که مقادیر دو شاخص NDVI و شاخص SPI در هر سه سال منتخب از همبستگی نسبتاً بالایی با یکدیگر برخوردار هستند. بیشترین این مقدار متعلق به سال ۲۰۰۰ (بیش از ۰/۷) و کمترین آن مربوط به سال ۱۹۷۵ (کمتر از ۰/۵۵) می‌باشد. این در حالی است که در پژوهشی که باعقیده و همکاران (۱۳۹۰)، با استفاده از شاخص‌های SPI و NDVI در تحلیل مکانی خشکسالی استان اصفهان انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که بین مقادیر این دو شاخص ارتباط معناداری وجود دارد. نتایج آنها نشان داد که دو شاخص مذکور می‌توانند در پایش و ارزیابی خشکسالی کارایی مناسبی داشته باشند. همچنین در مطالعه دیگری، پیترز و جی در سال ۲۰۰۳ رابطه بین شاخص SPI و NDVI را مورد بررسی قرار دادند که بیشترین همبستگی بین NDVI

منابع

- انصاری، حسین. و داوری، کامران. ۱۳۸۶. پهنه‌بندی دوره خشک با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد شده در محیط GIS، مطالعه موردی: استان خراسان، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰، ۱۰۸-۹۷.
- باعقیده، محمد. علیجانی، بهلول. ضیائیان، پرویز. ۱۳۸۹. بررسی امکان استفاده از شاخص NDVI در تحلیل خشکسالی‌های استان اصفهان، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، شماره ۴، ۱۶-۱.
- بذرافشان، جواد. ابراهیم زاده، سجاد. قربانی، خلیل. ۱۳۹۲. امکان سنجی تشخیص تغییرات پوشش گیاهی مبتنی بر شاخص‌های زمینی و ماهواره‌ای خشکسالی (مطالعه موردی: استان کرمانشاه)، مجله هواشناسی کشاورزی، شماره ۱، ۴۸-۳۷.
- پرویز، لاله. خلقی، محمدرضا. ولیزاده کامران، خلیل. ۱۳۸۸. پایش خشکسالی با استفاده از شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین حاصل از تصاویر ماهواره‌ای Terra-MODIS، چهارمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، آذر ۱۳۸۸، کرمان: ۱۰۸۱-۱۰۷۳.
- جهانبخش اصل، سعید. ساری صراف، بهروز. خورشید دوست، علی محمد. رستم زاده، هاشم. ۱۳۸۸. ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی دشت سراب و تحلیل دو دوره ی خشکسالی و ترسالی، فصلنامه علمی-پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، شماره ۲۳، ۱۳۲-۱۱۷.
- حجازی‌زاده زهرا و جوی‌زاده سعید. ۲۰۰۷. نرم‌افزار Drought Indices Calculator (DIC), Ver. ۱.۰۰ Beta
- خواجه، فاطمه. ۱۳۸۶. پایش خشکسالی با استفاده از شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) در استان اصفهان، پایان کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان.
- رحیم زاده، پریناز. ۱۳۸۴. بررسی امکان استفاده از تصاویر NOAA-AVHRR برای پایش خشکسالی، پایان کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست.
- رضایی مقدم، محمدحسین. ولیزاده کامران، خلیل؛ رستم زاده، هاشم. رضایی، علی. ۱۳۹۱. ارزیابی کارایی داده‌های سنجنده ی MODIS در برآورد خشکسالی حوضه ی آبخیز دریاچه ارومیه، جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۵، ۵۲-۳۷.
- شاهیان، رامین. جامع، عبدالکریم. آریانفر، رامین. حقیقت، مسعود. و دهقان، حیدر. ۱۳۸۸. پهنه‌بندی آستانه بحران خشکسالی استان فارس با کاربرد شاخص معیار بارش SPI و GIS مجله مهندسی منابع آب، شماره ۲، ۴۲-۳۳.
- شمسی‌پور، علی‌اکبر. ۱۳۸۶. تحلیل خشکسالی با استفاده از داده‌های سنجنش از دور در منطقه کاشان، رساله دکتری، دانشگاه تهران.

۱۲. شمسی پور، علی اکبر. علوی پناه، سیدکاظم. محمدی، حسین. ۱۳۸۹. بررسی کارایی شاخص های گیاهی و حرارتی ماهواره NOAA-AVHRR در تحلیل خشکسالی های منطقه کاشان، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، شماره ۳، ۴۶۵-۴۴۵.
۱۳. محمدیان، آزاده. کوهی، منصوره. آدینه بیگی، آرمان. رسولی، جواد. بذرافشان، بهاره. ۱۳۸۹. مقایسه پایش خشکسالی با استفاده از SPI، PNI، DI و پهنه بندی آنها (مطالعه موردی: استان خراسان شمالی)، مجله پژوهش-های حفاظت آب و خاک، شماره ۱، ۱۸۴-۱۷۷.
۱۴. Bhuiyan, C., Singh, R.P. and Kogan, F.N. ۲۰۰۶. Monitoring drought dynamics in the Aravalli region (India) using different indices based on ground and remote sensing data, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, ۸: ۲۸۹-۳۰۲.
۱۵. Funk, C. and Budde, M.E. ۲۰۰۹. Phenologically-tuned MODIS NDVI-based Production anomaly estimates for Zimbabwe, *Remote Sensing of Environment*, ۱۱۳: ۱۱۵-۱۲۵.
۱۶. Heim, R.R. ۲۰۰۲. A Review of Twentieth-century Drought Indices Used in United States *Bulletin of the American Meteorological Society*, ۸۴: ۱۱۴۹-۱۱۶۵.
۱۷. Ji, L. and Peters, A. ۲۰۰۳. Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices, *Remote Sensing of Environment*, ۸۷: ۸۵-۹۸.
۱۸. Jurgen, V., Vogat, Alain A., Viau, Isabelle, Beaudin, Stefan Niemeyer, Francesca Somma. ۲۳-۲۷ Nov ۱۹۹۸. "Drought Monitoring From Space Using Empirical Indices and Physical Indicators", *Proceedings International Symposium on Satellite-Based observation, Tunis, Tunisia*.
۱۹. Kogan, F.N. ۱۹۹۵. Application of vegetation and brightness temperature for drought detection *Advances in Space Research*, ۱۱: ۹۱-۱۰۰.
۲۰. Quiring, S.M. and Ganesh, S. ۲۰۰۹. Evaluating the utility of the Vegetation Condition Index (VCI) for monitoring meteorological drought in Texas, *Agricultural and forest meteorology*, ۱۵۰: ۳۳۰-۳۳۹.
۲۱. Tucker, C.J. ۱۹۷۹. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation, *Remote Sensing of Environment* ۸: ۱۲۷-۱۵۰.
۲۲. Thenkabail, P.S., Gamage, M.S.D.N. and Samakhtin, V.U. ۲۰۰۲. Evaluation of Narrowband and Broadband Vegetation Indices for Determining Optimal Hyperspectral Wavebands for Agricultural Crop Characterization, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, ۶۸: ۶۰۷-۶۲۱.
۲۳. Wang, P., Li, X., Gong, J. and Song, C. ۲۰۰۱. Vegetation Temperature Condition Index and its application for drought monitoring. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Sydney, Australia)*.
۲۴. Wilhite, D.A. ۲۰۰۰. Drought as a natural hazard. In D.A. Wilhite (Ed.), *Drought. A Global Assessment, Vol. I* (pp. ۱-۱۸). London: Routledge.