



بررسی خشک سالی هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی با استفاده از شاخص های خشک سالی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز قره سو)

مهشید کریمی^۱، کاکا شاهی^{۲*}

۱. دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲. دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:

دریافت: ۱۰ خرداد ۱۳۹۶

پذیرش: ۵ خرداد ۱۳۹۷

دسترسی اینترنتی: ۱ شهریور ۱۳۹۷

واژه های کلیدی:

خشک سالی

شاخص NDVI

سنجده مودیس

حوزه آبخیز قره سو

چکیده

خشک سالی به عنوان یک مخاطره طبیعی همواره بخش هایی از کشور را متأثر نموده است. امروزه با استفاده از تکنیک سنجش از دور می توان خشک سالی را از طریق اثراتی که بر روی گیاهان دارد، مطالعه و به نتایج دقیق تر و مؤثرتری برای مدل سازی خشک سالی دست یافت. هدف از این پژوهش بررسی رابطه خشک سالی هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی با استفاده از شاخص های خشک سالی و تکنیک سنجش از دور در حوزه آبخیز قره سو است. برای این منظور، از تصاویر سنجنده مودیس (ماهواره Terra، محصول MODIS)، داده های بارندگی پنج ایستگاه باران سنجی و داده های دبی پنج ایستگاه هیدرومتری از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ استفاده گردید. نتایج حاصل از مقایسه خشک سالی هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی بیانگر انطباق هر سه نوع خشک سالی در سال های ۲۰۰۱، ۲۰۰۴، ۲۰۰۵، ۲۰۰۷، ۲۰۰۹، ۲۰۱۰، ۲۰۱۱، ۲۰۱۲، ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ بود. با وجود اینکه مقادیر شاخص SPI و NDVI در سال های ۲۰۰۲، ۲۰۰۳ و ۲۰۰۸ مثبت بود، اما شاخص SDI وقوع خشک سالی هیدرولوژیکی (مقادیر منفی) را نشان داد. همچنین در سال ۲۰۰۶ علیرغم افزایش بارش اما این سال با خشک سالی کشاورزی و هیدرولوژیکی مواجه بوده است. بنابراین طبق نتایج به دست آمده هم زمانی انواع خشک سالی در تمام سال ها وجود ندارد. نتایج حاصل از همبستگی پیرسون نشان داد که بین میانگین شاخص NDVI و میانگین شاخص SPI و SDI همبستگی بالایی به ترتیب برابر با ۰/۷۰۶ و ۰/۷۸۸ در سطح معنی داری ۰/۰۱ وجود دارد. به طور کلی، نتایج شاخص SDI و SPI تا حدود زیادی نتایج شاخص NDVI را تأیید می کند.

*پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: k.shahedi@sanru.ac.ir

مقدمه

خشک‌سالی حالتی نرمال و مستمر از اقلیم است که تقریباً در تمامی مناطق اقلیمی از مرطوب تا خشک رخ می‌دهد، اما مشخصات آن از یک منطقه یا اکوسیستم به منطقه یا اکوسیستم دیگر کاملاً تفاوت دارد (۱۸). خشک‌سالی در یک منطقه، بخش‌های مختلف اقلیم، منابع آب و کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد که باعث تمایز انواع خشک‌سالی‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی می‌شود (۳۲ و ۳۳) که از این میان، توجه به خشک‌سالی کشاورزی به علت ارتباط تنگاتنگ آن با تولید محصولات کشاورزی اهمیت بیشتری می‌یابد (۱۸). در گذشته، رویکرد پایش خشک‌سالی بر اساس پارامترهای مختلف هواشناسی و هیدرولوژیکی و استفاده از شاخص‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی بوده است که این روش‌ها به علت استفاده از آمار ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری به صورت نقطه‌ای می‌باشند و از طرفی پراکندگی ایستگاه‌ها بخصوص در مناطق خشک محدودیت‌هایی را در بررسی خشک‌سالی به وجود آورده است (۲). از چهار دهه اخیر، تکنیک سنجش از دور ابزار پایش خشک‌سالی را به صورت وسیع و گسترده فراهم آورده است که می‌توان به نتایج دقیق‌تر و مؤثرتری برای مدل‌سازی خشک‌سالی دست‌یافت (۳۱). دقت بیشتر در پردازش تصاویر جهت استخراج شاخص‌ها می‌تواند کیفیت آن‌ها را ارتقاء بخشد و در نهایت باعث کارایی بیشتر در مدل‌های پیش‌بینی خشک‌سالی شود (۳۵). از مزایای استفاده از تکنیک سنجش از دور نسبت به روش‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی می‌توان به جمع‌آوری داده‌های مکانی در مقیاس وسیع، قدرت تفکیک زمانی بالاتر و هزینه کمتر اشاره نمود (۵ و ۳۹). پژوهش‌های گوناگونی در داخل و خارج ایران در زمینه کاربرد تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های خشک‌سالی انجام شده است. رضایی مقدم و همکاران (۱۲) در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه، میرموسوی و کریمی (۲۷) در استان کردستان، رضایی بنفشه و همکاران (۱۱) در استان آذربایجان شرقی، سرابی و همکاران (۱۴) در مراتع شمالی استان گلستان، دستورانی و همکاران (۹)

در استان خراسان رضوی، فاضل دهکردی و همکاران (۱۷) در مراتع استان یزد، و صفری شاد و همکاران (۳۶) در استان اصفهان در تحقیقات خود با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس به بررسی خشک‌سالی هواشناسی و کشاورزی پرداختند. نتایج نشان داد شاخص‌های ماهواره‌ای می‌تواند جایگزین مناسبی برای شاخص SPI باشد.

جلیلی و همکاران (۶) در استان تهران، شمسی‌پور و همکاران (۱۵) در منطقه کاشان، باعقیده و همکاران (۴) در استان اصفهان، زمانیان و همکاران (۱۳) در استان اصفهان، ابراهیم‌زاده (۱) در استان کرمانشاه و داتا و همکاران (۲۹) در هند با استفاده از داده‌های ماهواره NOAA-AVHRR به بررسی خشک‌سالی هواشناسی و کشاورزی پرداختند. نتایج نشان داد بر مبنای محاسبه‌های انجام شده، شرایط اقلیمی با نتایج حاصل از شاخص‌های گیاهی تطابق بیشتری دارند.

جهانبخش اصل و همکاران (۷) در دشت سراب در استان آذربایجان شرقی، مظفری و نارنگی فرد (۲۴) در حوزه سد ملاصدرا در استان فارس در تحقیقات خود با به‌کارگیری داده‌های ماهواره لندست به بررسی خشک‌سالی هواشناسی و کشاورزی پرداختند. نتایج نشان داد همبستگی معنی‌داری میان شاخص‌های ماهواره‌ای و شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی وجود دارد.

ملکی نژاد و سلیمانی مطلق (۲۶) در حوزه چغلودی، کریمی و همکاران (۲۱) در حوزه آبخیز قره‌سو و ادواسا و همکاران (۳۰) در حوزه رودخانه آواش اتیوپی با استفاده از برخی شاخص‌ها به بررسی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی پرداختند. نتایج نشان داد نتایج نشان داد که خشک‌سالی هیدرولوژیکی به‌طور متوسط با تأخیر زمانی نسبت به خشک‌سالی هواشناسی رخ داده است

مفیدی‌پور و همکاران (۲۵) در حوزه آبخیز اترک و مرادی و همکاران (۲۲) در حوزه شهر خرم‌آباد در تحقیقات خود با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده و شاخص خشک‌سالی جریان‌ات رودخانه‌ای (Stream flow Drought Index) به بررسی رابطه خشک‌سالی هواشناسی و

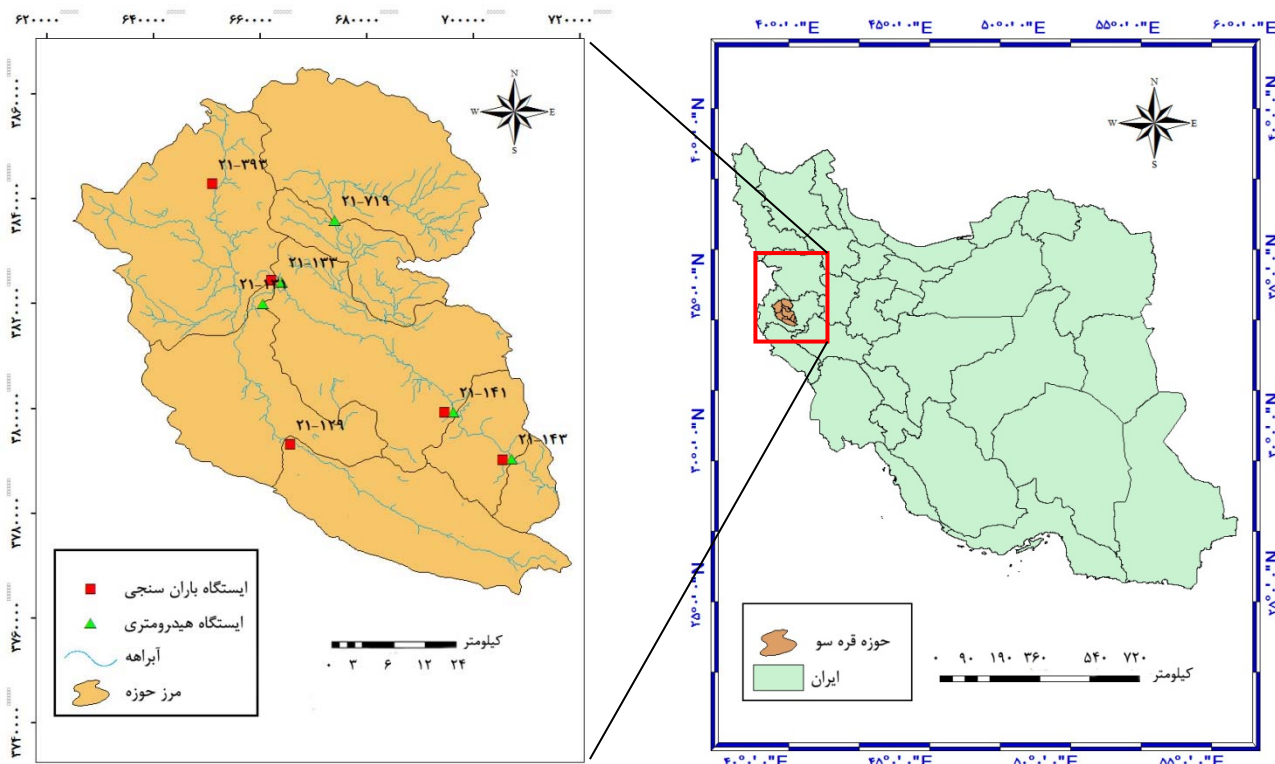
اقتصادی و در نهایت بروز بحران‌های اجتماعی در منطقه شود. براین اساس این پژوهش به منظور بررسی و مقایسه نتایج خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی در حوزه آبخیز قره‌سو انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز قره‌سو در طول جغرافیایی $30^{\circ} 30' 00''$ تا $33^{\circ} 35' 00''$ و عرض جغرافیایی $47^{\circ} 30' 00''$ تا $35^{\circ} 00' 00''$ ، در غرب ایران و در استان کرمانشاه واقع شده است. وسعت حوزه مورد نظر ۵۲۷۸ کیلومتر مربع و حداکثر و حداقل ارتفاع آن به ترتیب ۳۳۶۰ و ۱۲۷۰ متر است. متوسط بارندگی سالیانه این حوزه بسیار متغیر و بین ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر است (شکل ۱). جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری واقع در حوزه آبخیز قره‌سو را نشان می‌دهد.

هیدرولوژیکی پرداختند. نتایج نشان داد که بین وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی ارتباط معنی‌داری وجود دارد. کشور ایران در منطقه خاورمیانه واقع شده است که از نظر بارش جزء مناطق کم بارش محسوب می‌شود. کمبود نزولات جوی از یک سوء عدم توزیع پراکنش مکانی بارش از سوی دیگر باعث شده است که قسمت‌های وسیعی از ایران در قلمرو آب‌وهوای خشک قرار گیرد. وجود این شرایط، همراه با رشد سریع جمعیت و به‌ویژه خشکسالی‌های به وقوع پیوسته در سال‌های اخیر باعث گردیده تا امروزه تأمین آب در کشور به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌ها مطرح باشد. حوزه آبخیز قره‌سو از جمله نقاطی است که در کشور تحت تأثیر خشکسالی قرار گرفته است (۸). این حوزه در استان کرمانشاه واقع شده است و از زیر حوزه‌های مهم حوزه آبخیز کرخه است. با توجه به نقش مهم این حوزه در تأمین آب استان، به‌ویژه در بخش کشاورزی و همچنین ارزش تفرجگاهی رودخانه قره‌سو، وقوع خشکسالی می‌تواند موجب چالش‌های



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری واقع در حوزه آبخیز قره‌سو

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری مورد مطالعه در حوزه آبخیز قره‌سو

کد	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	رودخانه	نوع ایستگاه	سال تأسیس
۲۱-۱۲۹	ماهیدشت	۶۶۵۷۱۴	۳۷۹۳۱۹۰	آب مرک	باران‌سنجی	۱۳۴۹
۲۱-۱۳۱	خرس آباد	۶۵۹۱۰۲	۳۸۲۰۸۰۹	آب مرک	هیدرومتری	۱۳۵۳
۲۱-۱۳۳	دوآب مرک	۶۶۳۶۲۷	۳۸۲۴۵۸۶	قره‌سو	باران‌سنجی و هیدرومتری	۱۳۳۳
۲۱-۱۴۱	پل کهنه	۶۹۶۲۹۱	۳۷۹۹۳۲۹	قره‌سو	باران‌سنجی و هیدرومتری	۱۳۳۱
۲۱-۱۴۳	قورباغستان	۷۰۷۲۳۲	۳۷۹۰۳۱۷	قره‌سو	باران‌سنجی و هیدرومتری	۱۳۳۲
۲۱-۳۹۳	روانسر	۶۵۱۰۸۹	۳۸۴۲۸۶۲	قره‌سو	باران‌سنجی	۱۳۴۵
۲۱-۷۱۹	سرآسیاب	۶۷۴۱۲۴	۳۸۳۵۸۷۲	رازآور	هیدرومتری	۱۳۷۰

روش تحقیق

خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی

در این تحقیق جهت بررسی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی از آمار پنج ایستگاه باران‌سنجی و پنج ایستگاه هیدرومتری موجود در حوزه و شاخص بارش استاندارد SPI (Standardized Precipitation Index) و شاخص جریان رودخانه‌ای SDI (Stream flow Drought Index) استفاده گردید. پس از حذف داده‌های پرت و کنترل کیفی و اصلاح و بازسازی داده‌ها با انجام آزمون‌های آماری (همگنی من-ویتی، ران تست و رگرسیون) از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۴ به‌عنوان دوره‌ی آماری مشترک برای تمامی ایستگاه‌ها در نظر گرفته شد. در نهایت با استفاده از نرم‌افزار DIP مقادیر شاخص SPI و با استفاده از نرم‌افزار اکسل شاخص SDI محاسبه گردید.

شاخص بارش استاندارد (SPI)

این شاخص در سال ۱۹۹۳ توسط مک‌کی و همکاران (۳۴) ارائه شد. تنها عامل مؤثر در محاسبه این شاخص عنصر بارندگی است. شاخص SPI ابزاری در تحلیل داده‌های بارندگی است. هدف این شاخص اختصاص ارزش عددی به بارندگی می‌باشد تا بتوان نواحی با آب‌وهوای متفاوت را با یکدیگر مقایسه کرد. به‌طور مفهومی SPI میزان انحرافات استاندارد بالاتر یا پایین‌تر از میانگین را نشان می‌دهد (رابطه ۱). جدول ۲ طبقه‌بندی وضعیت خشک‌سالی بر اساس شاخص SPI را نشان می‌دهد.

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad [1]$$

در این رابطه؛ SPI شاخص استاندارد بارش، P_i بارش سال موردنظر به میلی‌متر، \bar{P} میانگین بارش درازمدت ایستگاه و SD انحراف معیار بارش است.

جدول ۲. طبقه‌بندی وضعیت خشک‌سالی بر اساس شاخص SPI

وضعیت خشک‌سالی	شاخص SPI
خشک‌سالی بسیار شدید	-۲ و کمتر
خشک‌سالی شدید	-۱/۹۹ تا -۱/۵۰
خشک‌سالی متوسط	-۱/۴۹ تا -۱
خشک‌سالی خفیف	۰ تا ۰/۹۹
ترسالی	>۰

شاخص جریان رودخانه‌ای (SDI)

این شاخص با استفاده از داده‌های دبی رودخانه طبق رابطه‌های ۲ و ۳ محاسبه شد.

$$SDI_{j,k} = V_{j,k} - V_k / S_k \quad [2]$$

$$V_{j,k} = \sum_{i=1}^{3k} Q_{i,j} \quad [3]$$

$$j = 1, 2, \dots, 12 \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (i = 1, 2, \dots)$$

در این رابطه؛ i سال هیدرولوژیکی، j ماه (مثلاً برای ماه مهر $j=1$ و برای ماه شهریور $j=12$)، k دوره زمانی، Q مقادیر حجمی جریان تجمعی و همچنین، پارامترهای S_k و V_k به ترتیب میانگین و انحراف معیار سری داده‌های تجمعی دبی است (۲۵). جدول ۳ طبقه‌بندی وضعیت خشکسالی را بر اساس شاخص SDI نشان می‌دهد.

جدول ۳. طبقه‌بندی وضعیت خشکسالی بر اساس شاخص SDI

شاخص SDI	وضعیت خشکسالی
$SDI < -2$	خشکسالی بسیار شدید
$-2 \leq SDI < -1/5$	خشکسالی شدید
$-1/5 \leq SDI < -1$	خشکسالی متوسط
$-1 \leq SDI < 0$	خشکسالی خفیف
$SDI \geq 0$	ترسالی

خشکسالی کشاورزی

جهت بررسی خشکسالی کشاورزی از تصاویر سنجنده MODIS محصول MOD09Q1 با تفکیک مکانی ۲۵۰ متر و

تفکیک زمانی ۸ روزه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ استفاده گردید. جدول ۴ خصوصیات باندهای طیفی محصول MOD09Q1 را نشان می‌دهد.

جدول ۴. خصوصیات باندهای طیفی محصول MOD09Q1

نوع محصول	باند طیفی	محدوده طیفی (میکرومتر)
MOD09Q1	باند ۱ (قرمز)	۶۲۰-۶۷۰
	باند ۲ (مادون قرمز)	۸۴۱-۸۷۶

جهت آماده‌سازی تصاویر و انجام تصحیحات بر روی تصاویر از نرم‌افزار ENVI و PCI Geomatica، جهت محاسبه شاخص NDVI از نرم‌افزار ENVI و در نهایت جهت طبقه‌بندی نقشه‌ها و خروجی گرفتن نرم‌افزار ArcGIS استفاده گردید.

عددی هر پیکسل بین +۱ و -۱ متغیر است. مقدار این شاخص برای مناطق دارای پوشش گیاهی تنک (۰/۱) تا متراکم (۰/۸) تغییر می‌کند (۱۱ و ۳۷). مقدار این شاخص طبق رابطه ۴ محاسبه گردید.

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad [4]$$

در این رابطه؛ NIR انعکاس نور در باندهای مادون قرمز و RED انعکاس نور در باند قرمز است.

شاخص NDVI

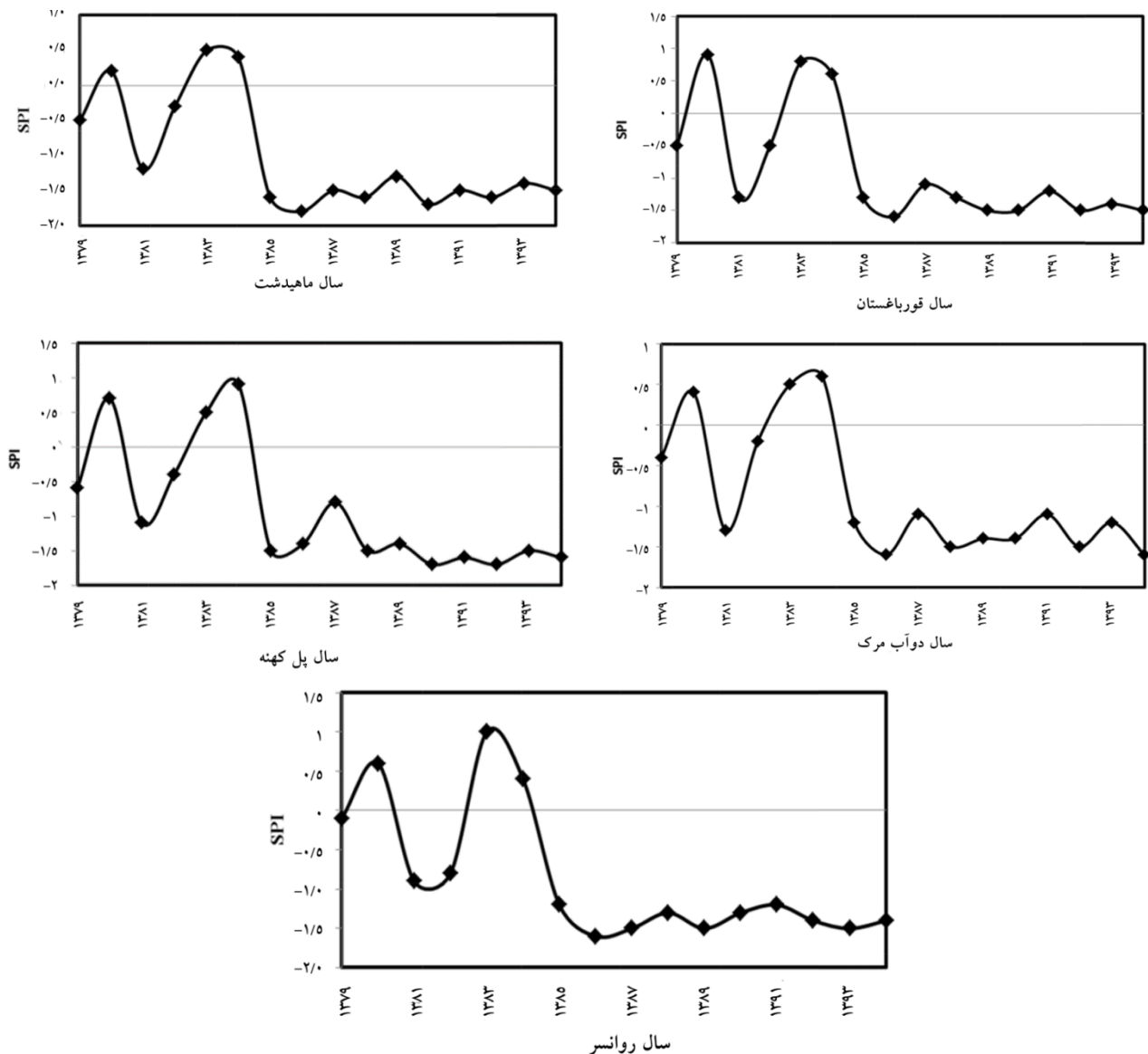
برای اولین بار توسط تاگر (۳۸) به‌عنوان شاخصی برای سلامت پوشش گیاهی مطرح گردید. در این شاخص مقدار

نتایج

استخراج دوره‌های خشک‌سالی هواشناسی با شاخص SPI

نتایج محاسبه شاخص SPI نشان داد که در تمامی پنج ایستگاه مورد مطالعه خشک‌سالی در اکثر سال‌های آماری به جزء سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۸۳ و ۱۳۸۴ رخ داده است. همچنین

شدیدترین خشک‌سالی در سال ۱۳۸۶ با میزان SPI، $-1/8$ در ایستگاه ماهیدشت اتفاق افتاده است. شکل ۲ وضعیت خشک‌سالی را بر اساس شاخص SPI در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۲. وضعیت خشک‌سالی هواشناسی بر اساس شاخص SPI در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه مورد مطالعه خشک‌سالی در اکثر سال‌های آماری رخ داده است. همچنین شدیدترین خشک‌سالی در سال ۱۳۸۶

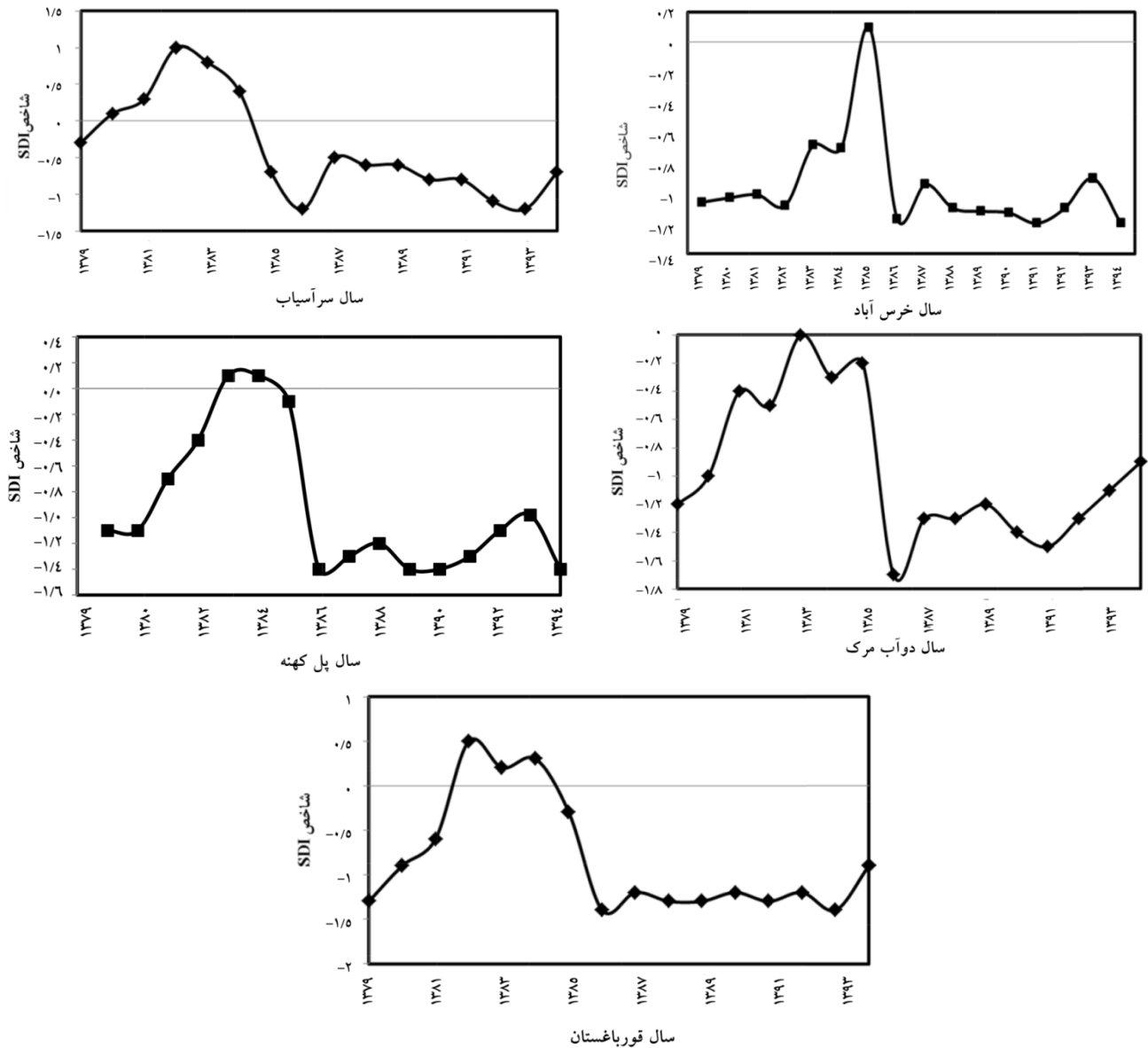
استخراج دوره‌های خشک‌سالی هیدرولوژیکی با شاخص

SDI

نتایج محاسبه شاخص SDI نشان داد که در تمامی پنج

ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.

با میزان SDI، $-1/7$ در ایستگاه دوآب مرک اتفاق افتاده است. شکل ۳ وضعیت خشک‌سالی را بر اساس شاخص SDI در



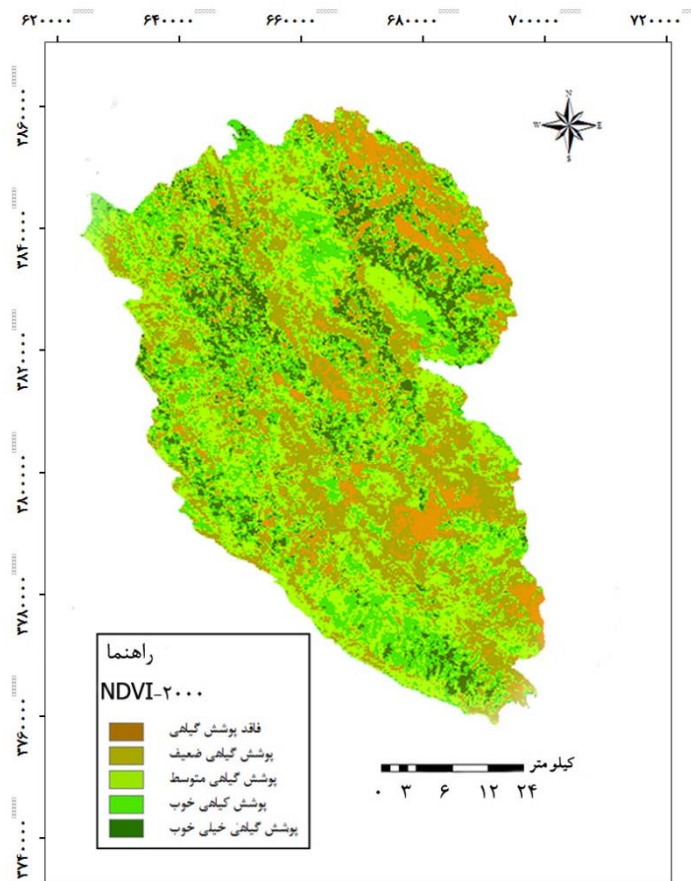
شکل ۳. وضعیت خشک‌سالی هیدرولوژیکی بر اساس شاخص SDI در ایستگاه‌های مورد مطالعه

به دلیل تغییرات نامحسوس پوشش گیاهی در سال‌های متوالی، از بین سال‌های آماری مورد مطالعه تنها سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ به منظور نمایش بهتر تغییرات پوشش گیاهی در قسمت نتایج ارائه شد. نتایج نشان داد که بر اساس نقشه NDVI در سال ۲۰۰۰،

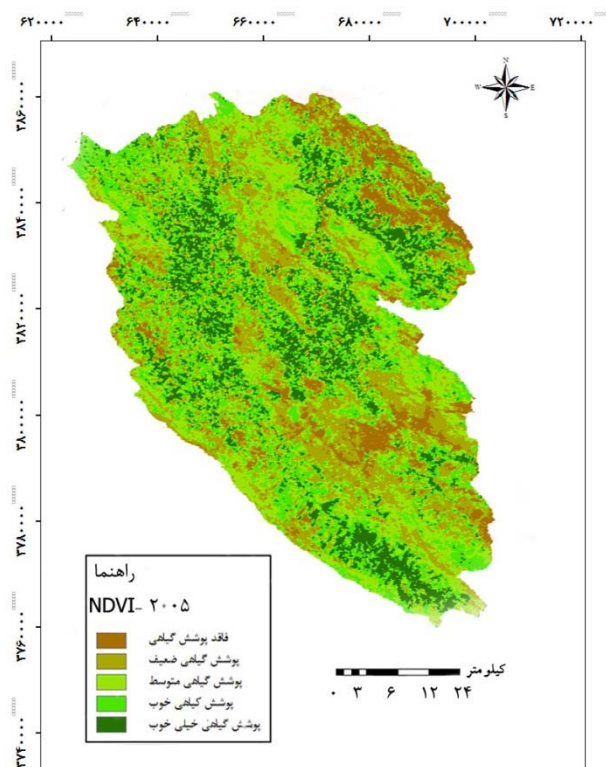
بررسی خشک‌سالی کشاورزی با شاخص NDVI
با توجه به اینکه بیشترین میزان پوشش گیاهی در استان کرمانشاه مربوط به اواخر اردیبهشت‌ماه است به همین دلیل تصاویر ماه May از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ جهت ارزیابی شاخص NDVI انتخاب شدند.

۶۴۳ کیلومترمربع، طبقه پوشش گیاهی خوب ۱۲۷۴ کیلومترمربع، طبقه پوشش گیاهی متوسط ۱۵۷۵ کیلومترمربع و طبقه پوشش گیاهی ضعیف ۱۴۲۲ کیلومترمربع از مساحت کل حوزه را در بر گرفته است. در نهایت در سال ۲۰۱۵، طبقه پوشش گیاهی خیلی خوب ۳۹۷ کیلومترمربع، طبقه پوشش گیاهی خوب ۹۸۳ کیلومترمربع، طبقه پوشش گیاهی متوسط ۱۶۸۷ کیلومترمربع و طبقه پوشش گیاهی ضعیف ۱۴۹۶ کیلومترمربع از مساحت کل حوزه را شامل می شود (شکل های ۴، ۵، ۶ و ۷).

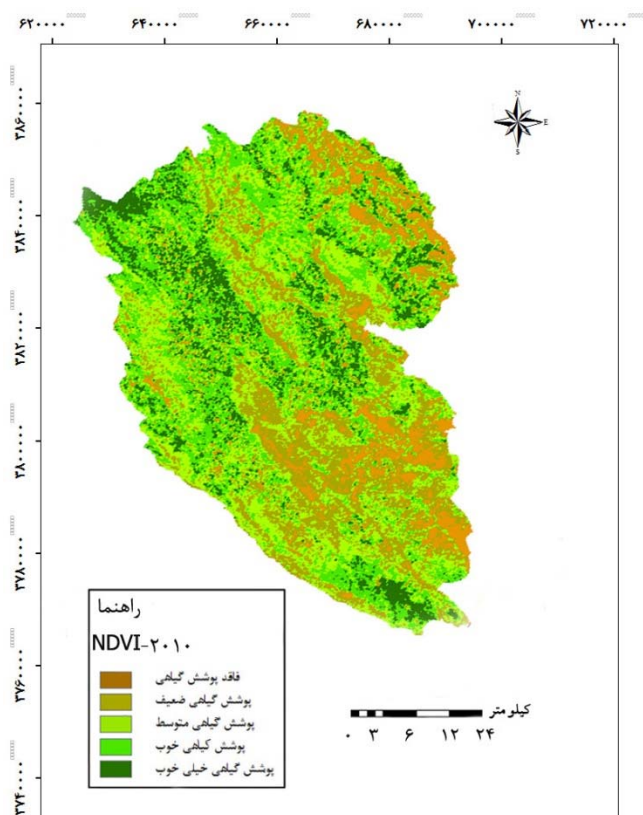
میزان پوشش گیاهی خیلی خوب ۴۴۵ کیلومترمربع، میزان پوشش گیاهی خوب ۱۱۹۰ کیلومترمربع، میزان پوشش گیاهی متوسط ۱۸۳۰ کیلومترمربع و میزان پوشش گیاهی ضعیف ۱۴۸۶ کیلومترمربع از مساحت کل حوزه را در بر گرفته است. همچنین در سال ۲۰۰۵، طبقه پوشش گیاهی خیلی خوب ۸۰۸ کیلومترمربع طبقه پوشش گیاهی خوب ۱۴۶۰ کیلومترمربع، طبقه پوشش گیاهی متوسط ۱۴۷۵ کیلومترمربع و طبقه پوشش گیاهی ضعیف ۱۲۲۶ کیلومترمربع از مساحت کل حوزه را شامل می شود. در سال ۲۰۱۰، طبقه پوشش گیاهی خیلی خوب



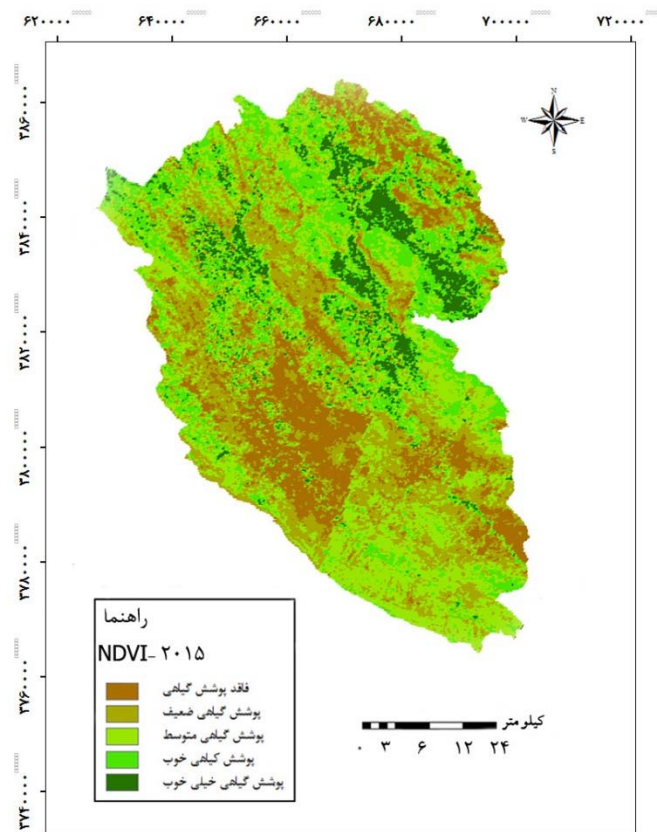
شکل ۴. طبقات پوشش گیاهی بر اساس شاخص NDVI در سال ۲۰۰۰



شکل ۵. طبقات پوشش گیاهی بر اساس شاخص NDVI در سال ۲۰۰۵



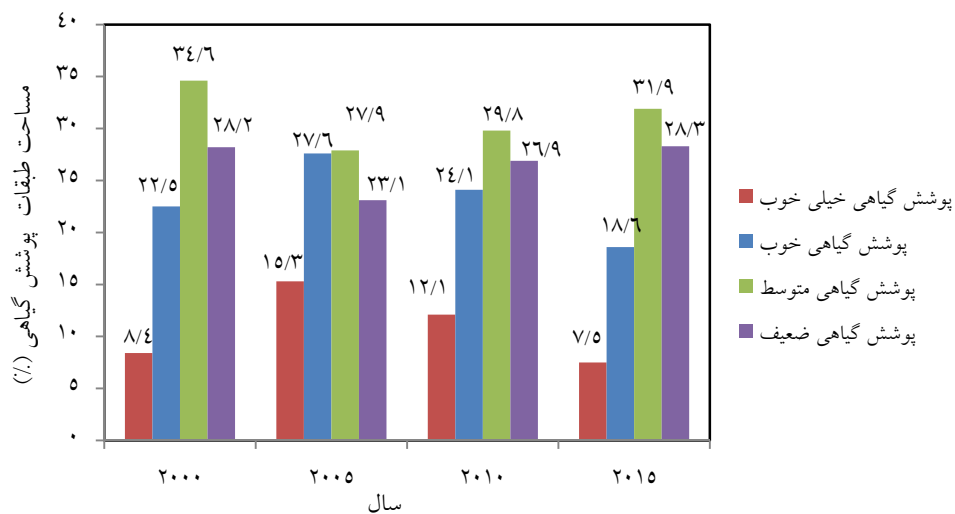
شکل ۶. طبقات پوشش گیاهی بر اساس شاخص NDVI در سال ۲۰۱۰



شکل ۷. طبقات پوشش گیاهی بر اساس شاخص NDVI در سال ۲۰۱۵

متوسط (۳۴/۶٪) در سال ۲۰۱۰ و طبقه پوشش گیاهی ضعیف (۲۸/۳٪) در سال ۲۰۱۵ بیشترین درصد مساحت را به خود اختصاص داده است (شکل ۸ و جدول ۵).

نتایج حاصل از بررسی نقشه‌های شاخص NDVI نشان داد طبقه پوشش گیاهی خیلی خوب (۱۵/۳٪) و طبقه پوشش گیاهی خوب (۲۷/۶٪) در سال ۲۰۰۵، طبقه پوشش گیاهی



شکل ۸. مساحت طبقات پوشش گیاهی در سال‌های مطالعه

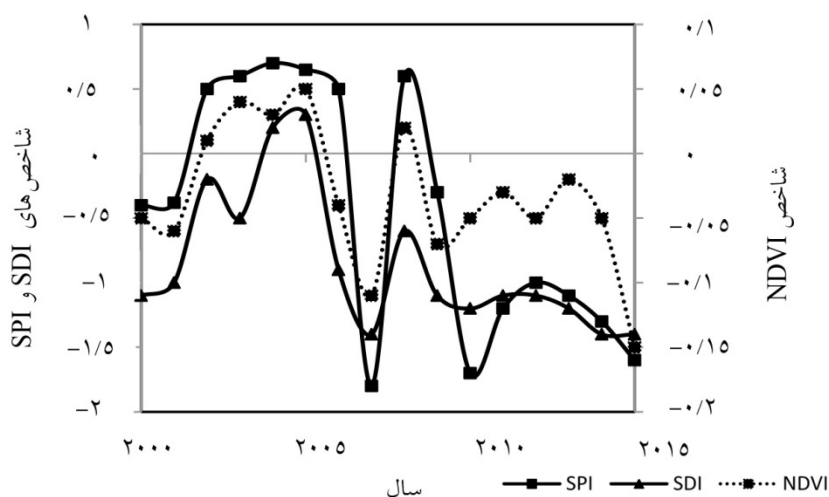
جدول ۵. مساحت طبقات پوشش گیاهی (برحسب درصد) در سال‌های مطالعه

سال	پوشش گیاهی خیلی خوب	پوشش گیاهی خوب	پوشش گیاهی متوسط	پوشش گیاهی ضعیف
۲۰۰۰	۸/۴	۲۲/۵	۳۴/۶	۲۸/۲
۲۰۰۵	۱۵/۳	۲۷/۶	۲۷/۹	۲۳/۱
۲۰۱۰	۱۲/۱	۲۴/۱	۲۹/۸	۲۶/۹
۲۰۱۵	۷/۵	۱۸/۶	۳۱/۹	۲۸/۳

تحلیل رابطه بین شاخص‌های SPI، SDI و NDVI

بررسی میانگین شاخص‌های SPI، SDI و NDVI نشان داد تغییرات هر سه شاخص در اکثر سال‌های آماری تقریباً یکسان است. اما هم‌زمانی وجود خشکسالی هواشناسی،

هیدرولوژیکی و کشاورزی برای تمامی سال‌ها وجود ندارد. شکل ۹ تغییرات شاخص SPI، SDI و NDVI را در طول دوره‌ی آماری نشان می‌دهد.



شکل ۹. تغییرات شاخص SPI، SDI و NDVI در طول دوره آماری

نتایج حاصل از همبستگی پیرسون نشان داد که بین میانگین شاخص NDVI و میانگین شاخص SPI و SDI همبستگی بالایی به ترتیب برابر با ۰/۷۰۶ و ۰/۷۸۸ در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ وجود دارد (جدول ۶).

جدول ۶. نتایج حاصل از همبستگی پیرسون بین شاخص‌های SPI و NDVI

متغیرها	ضریب همبستگی (r)
NDVI و SPI	۰/۷۰۶
NDVI و SDI	۰/۷۸۸

بحث

برای بررسی دقیق خشک‌سالی بایستی هر سه نوع خشک‌سالی هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی، هم‌زمان بررسی شوند و با تلفیق آن‌ها ارزیابی درستی از وقوع و گستره خشک‌سالی در یک محدوده به دست آورد (۱۶). در این تحقیق وضعیت خشک‌سالی هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵، بر اساس مقادیر به‌دست‌آمده از محاسبه هر یک از شاخص‌های SPI، SDI و NDVI در حوزه آبخیز قره‌سو تعیین شد. نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی نشان داد که از سال ۱۳۷۹ تا انتهای دوره آماری مورد مطالعه در اکثر سال‌ها خشک‌سالی رخ داده است. این شرایط می‌تواند ناشی از تشدید بحران آب در کشور در سال‌های اخیر باشد که با نتایج مرید و پایمزد (۲۳)، رحیمی و همکاران (۱۰)، قمقماقی و بذرافشان (۱۹)، اسلامیان و همکاران (۳) و بایزیدی و همکاران (۲۸) مطابقت دارد. همچنین نتایج خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی نشان داد که شدیدترین خشک‌سالی طبق مقادیر به‌دست‌آمده از شاخص‌های SPI و SDI در سال ۱۳۸۶ رخ داده است که با نتایج کریمی و همکاران (۲۱) مطابقت دارد. وجود ارتباط مثبت میان شاخص‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی با پوشش گیاهی در بسیاری از تحقیقات موردبررسی قرار گرفته است (۴، ۶، ۱۱، ۱۴، ۱۶، ۲۹، ۴۰).

نتایج حاصل از محاسبه شاخص NDVI نشان داد میزان پوشش گیاهی خوب در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ کاهش و میزان پوشش گیاهی خیلی خوب و خوب در سال ۲۰۰۵ افزایش یافته است. به‌طوری‌که بیشترین مقدار پوشش گیاهی مربوط به طبقه خیلی خوب و خوب (جمعاً ۴۲/۹ درصد) در سال ۲۰۰۵ و کمترین مقدار پوشش گیاهی در سال ۲۰۱۵ مشاهده شد. همچنین نتایج حاصل از شاخص‌های SPI و SDI نشان داد که در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ نیز خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در کل حوزه آبخیز قره‌سو رخ داده است و در سال ۲۰۰۵ منطقه با ترسالی مواجه شده است.

بنابراین هر سه شاخص شرایط خشکی و به دنبال آن کاهش پوشش گیاهی و جریان را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از مقایسه خشک‌سالی هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی بیانگر انطباق هر سه نوع خشک‌سالی در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۱، ۲۰۰۴، ۲۰۰۵، ۲۰۰۷، ۲۰۰۹، ۲۰۱۰، ۲۰۱۱، ۲۰۱۲، ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ بود. با وجود اینکه مقادیر شاخص SPI و NDVI در سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۳ و ۲۰۰۸ مثبت بود، اما شاخص SDI وقوع خشک‌سالی هیدرولوژیکی (مقادیر منفی) را نشان داد. همچنین در سال ۲۰۰۶ علیرغم افزایش بارش اما این سال با خشک‌سالی کشاورزی و هیدرولوژیکی مواجه بوده است. بنابراین طبق نتایج به‌دست‌آمده هم‌زمانی انواع خشک‌سالی در تمام سال‌ها وجود ندارد و نباید انتظار داشت با افزایش بارندگی، شاخص SDI و NDVI ترسالی و افزایش پوشش گیاهی و با کاهش بارندگی، شاخص SDI و NDVI خشک‌سالی و کاهش پوشش گیاهی را نشان دهد که این نتیجه با نتایج فاتحی مرج و حیدریان (۱۶) و صفری‌شاد و همکاران (۲۰) مطابقت دارد. همان‌طور که مشاهده شد تغییرات شاخص SPI، SDI و NDVI در اکثر سال‌های آماری مورد مطالعه تقریباً یکسان است که با نتایج باعقیده و همکاران (۴)، میرموسوی و کریمی (۲۷)، سرابی و همکاران (۱۴)، رضایی بنفشه و همکاران (۱۱)، یانگ و همکاران (۴۰) و جلیلی و همکاران (۶) مطابقت دارد. همچنین نتایج حاصل از همبستگی پیرسون نشان داد که بین میانگین شاخص NDVI و میانگین شاخص SPI و SDI همبستگی بالایی به ترتیب برابر با ۰/۷۰۶ و ۰/۷۸۸ در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ وجود دارد. به‌طورکلی نتایج شاخص SPI و SDI تا حدود زیادی نتایج شاخص NDVI را تأیید می‌کند.

تحقیق حاضر باهدف بررسی میزان ارتباط میان شاخص ماهواره‌ای (NDVI) با پارامترهای اقلیمی (SPI) و هیدرولوژیکی (SDI) انجام گرفت. همان‌طور که مشاهده گردید نتایج شاخص SPI و SDI تا حدود زیادی نتایج شاخص NDVI را تأیید می‌کند. بنابراین شاخص NDVI می‌تواند جایگزین مناسبی برای شاخص‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی در

- نژاد. ۱۳۹۰. بررسی کارایی شاخص‌های منتج از فناوری سنجش‌ازدور در ارزیابی خشکسالی هواشناسی (مطالعه موردی: حوزه آبریز سفیدرود). مجله جغرافیا و توسعه، ۱۶۴-۱۴۷: (۱): ۲۲.
۶. جلیلی، ش.، س. مرید و پ. ضیائی‌ان فیروزآبادی. ۱۳۸۷. مقایسه عملکرد شاخص‌های ماهواره‌ای و هواشناسی در پیش‌خشکسالی. مجله تحقیقات آب‌و‌خاک ایران، ۳۹: (۱): ۱۳۹-۱۴۹.
۷. جهانبخش اصل، س.، ب. ساری صراف، م. خورشید دوست و ه. رستم زاده. ۱۳۸۸. ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی دشت سراب و تحلیل دو دوره خشکسالی و ترسالی. مجله جغرافیای ایران، ۷(۲۳): ۱۱۷-۱۳۲.
۸. چشمه‌سفیدی، ز. ۱۳۹۴. پیامدهای هیدروژئومورفولوژیک خشکسالی رودها در محیط‌های شهری (مطالعه موردی: رودخانه قره‌سو کرمانشاه). دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، کارشناسی ارشد. ۱۰۰ صفحه.
۹. دستورانی، م.، ا. ا. ولی، ا. سپهر و ب. ج. کمکی. ۱۳۹۴. بررسی خشکسالی بر روی پوشش گیاهی با استفاده از سنجنده مودیس در خراسان رضوی. نشریه مهندسی اکوسیستم بیابان، ۴(۷): ۸-۱.
۱۰. رحیمی، د.، س. موحدی و ح. برقی. ۱۳۸۸. بررسی شدت خشکسالی با شاخص نرمال بارش (مطالعه موردی: استان سیستان و بلوچستان). مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۰(۴): ۴۳-۵۶.
۱۱. رضایی‌بنفشه، م.، ع. رضایی و م. فریدپور. ۱۳۹۴. تحلیل خشکسالی کشاورزی استان آذربایجان شرقی با تأکید بر سنجش‌ازدور و شاخص وضعیت پوشش گیاهی. نشریه دانش و خاک، ۲۵(۱): ۱۱۳-۱۲۳.
۱۲. رضایی‌مقدم، م.، ح. ک.، خ. ولی‌زاده، ه. رستم‌زاده و ا. رضایی. ۱۳۹۱. ارزیابی کارایی داده‌های سنجنده مودیس در برآورد خشکسالی (مطالعه موردی: حوزه آبریز دریاچه ارومیه). جغرافیا و پایداری محیط (پژوهشنامه جغرافیایی)، ۲(۵): ۳۷-۵۲.
۱۳. زمانیان، م.، ت. م.، ب. بهیار، ا. کریمی حسینی و م. وظیفه دوست. ۱۳۹۱. پیش و تحلیل خشکسالی کشاورزی با استفاده از تولیدات ماهواره‌ای سنجنده NOAA-AVHRR.

ارزیابی و پایش خشکسالی‌ها باشد بخصوص در مناطقی که فاقد داده‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی هستند، یا اینکه داده‌ها دقت قابل قبولی ندارند و همچنین در محدوده‌های وسیع بسیار کارآمد است. اما همان‌طور که نتایج این پژوهش نیز نشان داد هم‌زمانی وقوع خشکسالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی در تمام سال‌ها وجود ندارد، بنابراین نباید انتظار داشت با افزایش بارندگی، ترسالی و افزایش پوشش گیاهی و بارندگی خشکسالی هیدرولوژیکی و کشاورزی روی دهد. این مسئله ضرورت ارزیابی انواع خشکسالی و یا تعریف یک شاخص جامع به‌منظور ارائه تصویری جامع از شرایط و ویژگی‌های این پدیده را دوچندان می‌کند که بایستی در تحقیقات آتی موردتوجه قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

۱. ابراهیم‌زاده، س.، ج. بذرافشان و خ. قربانی. ۱۳۹۲. مطالعه تطبیقی شاخص‌های خشکسالی مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای و زمینی با استفاده از تکنیک تحلیل بردار تغییر (مطالعه موردی: استان کرمانشاه). نشریه آب‌و‌خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۷(۵): ۱۰۳۴-۱۰۴۵.
۲. ابراهیمی خوسفی، م.، ر. درویش زاده، ا. ا. متکان و د. عاشورلو. ۱۳۸۹. بررسی خشکسالی در مناطق خشک مرکزی ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با تکیه بر شاخص‌های گیاهی (مطالعه موردی: شیرکوه یزد). مجله علوم محیطی، ۷(۴): ۵۹-۷۲.
۳. اسلامیان، س.، س. م.، قاسمی و س. سلطانی گرد فرامرزی. ۱۳۹۱. محاسبه و ناحیه‌بندی شاخص‌های جریان کم و تعیین دوره‌های خشکسالی هیدرولوژیک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کرخه). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب‌و‌خاک، ۱۶(۵۹): ۱-۱۴.
۴. باعقیده، م.، ب. علیخانی و پ. ضیائی‌ان. ۱۳۹۱. بررسی امکان استفاده از شاخص پوشش گیاهی NDVI در تحلیل خشکسالی‌های استان اصفهان. مجله مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۱(۴): ۱-۱۶.
۵. پرویز، ل.، م. خلقی، خ. ولی‌زاده، ش. عراقی نژاد و پ. ایران-

- نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۳(۹): ۴۳-۵۴.
۱۴. سرابی، س.، ع. حشمت‌پور، ج. ب. کمکی و ا. طهماسی. ۱۳۹۴. ارزیابی ارتباط میان شاخص‌های گیاهی سنجنده MODIS و خشک‌سالی مراتع شمالی استان گلستان. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۲(۲): ۳۹۲-۴۰۵.
۱۵. شمسی‌پور، ا. ا.، س. ک. علوی‌پناه و ح. محمدی. ۱۳۸۹. بررسی کارایی شاخص‌های گیاهی و حرارتی ماهواره NOAA-AVHRR در تحلیل خشک‌سالی منطقه کاشان. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۷(۳): ۴۴۵-۴۶۵.
۱۶. فاتحی مرج، ا. و س. ا. حیدریان. ۱۳۹۲. بررسی خشک‌سالی هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژی با استفاده از GIS در استان خوزستان. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۲۳(۷): ۱۹-۳۲.
۱۷. فاضل دهکردی، ل.، ط. سهرابی و ف. محمودی کهن، ۱۳۹۴. پایش خشک‌سالی با استفاده از تصاویر مودیس در مناطق خشک (مطالعه موردی: مراتع استان یزد). نشریه مهندسی اکوسیستم بیابان، ۴(۹): ۵۷-۷۰.
۱۸. فرامرزم، و. ح. نوری. ۱۳۹۴. بررسی و امکان‌سنجی کارایی شاخص‌های گیاهی و حرارتی ماهواره لندست در تحلیل خشک‌سالی کشاورزی (مطالعه موردی: شهرستان ملایر). فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۳۰(۳): ۱۳۹-۱۵۲.
۱۹. قمری، م. و ج. بذرافشان. ۱۳۹۱. پیش‌آگاهی وضعیت خشک‌سالی هواشناسی در گستره‌ی ایران با استفاده از مدل زنجیره مارکوف. مجله حفاظت منابع آب‌و خاک، ۱(۳): ۱-۱۲.
۲۰. صفری‌شاد، م.، م. حبیب‌نژاد روشن و ع. ر. ایلدرمی. ۱۳۹۴. ارزیابی شاخص NDVI در پایش خشک‌سالی به کمک تکنیک سنجش‌ازدور (مطالعه موردی: استان اصفهان)، مجله اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۲۵(۱۰۰): ۳۶-۴۴.
۲۱. کریمی، م.، ک. شاهدی و خ. خسروی. ۱۳۹۵. بررسی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی در حوزه آبخیز قره‌سو. مجله فیزیک زمین و فضا، ۴۲(۱): ۱۵۹-۱۷۰.
۲۲. مرادی، ح.، ع. سپهوند، و م. خزایی. ۱۳۸۸. ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص SPI اصلاح‌شده و SDI (مطالعه موردی: حوزه شهر خرم‌آباد)، پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران،
- دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۲ الی ۳ اردیبهشت ماه، ۱-۱۰.
۲۳. مرید، س. و ش. پایمزد. ۱۳۸۶. مقایسه روش‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی جهت پایش روزانه خشک‌سالی (مطالعه موردی: دوره خشک‌سالی ۱۳۸۷ لغایت ۱۳۸۰ استان تهران). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۱(۴۲): ۳۲۵-۳۳۳.
۲۴. مظفری، غ.ا. و م. نارنگی‌فرد. ۱۳۹۴. تأثیر خشک‌سالی بر روند پوشش گیاهی حوزه آبخیز سد ملاصدرا و کاربرد فنون سنجش‌ازدور برای پایش آن، مجله مهندسی منابع آب، ۸(۱۴): ۱-۲۶.
۲۵. مفیدی‌پور، ن.، و. بردی‌شیخ، م. اونق و ا. سعدالدین. ۱۳۹۱. بررسی رابطه خشک‌سالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوزه آبخیزاترک. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۳(۵): ۱۶-۲۶.
۲۶. ملکی‌نژاد، ح. و م. سلیمانی مطلق. ۱۳۹۰. بررسی شدت خشک‌سالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوزه چغلوئندی. مجله پژوهش آب ایران، ۹(۵): ۶۱-۷۲.
۲۷. میرموسوی س.ح. و ح. کریمی. ۱۳۹۲. مطالعه اثر خشک‌سالی بر روی پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS (مطالعه موردی: استان کردستان). جغرافیا و توسعه، ۳۱(۱): ۵۷-۷۶.
28. Byzedi M, Siosemardeh M, Rahimi A, Mohammadi K. 2012. Analysis of hydrological drought on Kurdistan Province. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 6:255-259.
29. Dutta D, Kundu A, Patel N, Saha S, Siddiqui A. 2015. Assessment of agricultural drought in Rajasthan (India) using remote sensing derived Vegetation Condition Index (VCI) and Standardized Precipitation Index (SPI). The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 18(1):53-63.
30. Edossa DC, Babel MS, Gupta AD. 2010. Drought analysis in the Awash river basin, Ethiopia. Water Resources Management, 24(7):1441-1460.
31. Heim RR. 2002. A review of 20th century drought indices used in United States. Bulletin of the American Meteorological Society, 84: 1149-1165.
32. Hisdal H, Tallaksen LM. 2000. Drought event definition, Technical report to the ARIDE Project supplement to work package 2 Hydro-meteorological drought activity 2.1 Event Definition, 6: 1-41.
33. Hisdal H, Tallaksen LM, Randen F. 2005.

- Regional low flow and drought frequency analysis. *Geophysical Research Abstracts*, 7: 10838.
34. McKee TB, Doesken NJ, Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 Jan., Anaheim, California, USA.
35. Rhee J, Im J, Carbone GJ. 2010. Monitoring agricultural drought for arid and humid regions using multi-sensor remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 114(12): 2875-2887.
36. Safari Shad M, Ildoromi A, Akhzari D. 2017. Drought Monitoring Using Vegetation Indices and MODIS Data (Case Study: Isfahan Province, Iran). *Journal of Rangeland Science*, 7(2): 148-159.
37. Thenkabail PS, Smith RB, De Pauw E. 2002. Evaluation of narrowband and broadband vegetation indices for determining optimal hyperspectral wavebands for agricultural crop characterization. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 68(6): 607-622.
38. Tucker CJ. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*, 8(2): 127-150.
39. Wilhite DA. 2000. Drought as a natural hazard. Published in *Drought: A Global Assessment*, Vol. I, edited by Donald A. Wilhite, chap 1, London: Routledge, 3-18.
40. Yang W, Shabanov N, Huang D, Wang W, Dickinson R, Nemani R, Knyazikhin Y, Myneni R. 2006. Analysis of leaf area index products from combination of MODIS Terra and Aqua data. *Remote Sensing of Environment*, 104(3): 297-312.



Investigation of meteorological, hydrological and agricultural drought using drought indices (Case study: Gharehsou watershed)

M. Karimi ¹, K. Shahedi ^{2*}

1. PhD. Student of Watershed Management, Department of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

2. Assoc. Prof. College of Watershed Management, Department of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 31 May 2017

Accepted 26 May 2018

Available online 23 August 2018

Keywords:

Drought

NDVI index

MODIS sensor

Gharehsou watershed

ABSTRACT

Drought as a natural hazard has always affected some parts of the country. Nowadays, it is possible to study drought using remote sensing techniques through its effects on the plants and achieve more accurate and efficient results for drought modelling. This study aims to investigate the relationship between meteorological, hydrological and agricultural drought using drought indices and remote sensing method in Gharehsou watershed. For this purpose, MODIS images (satellite Terra, product MODO9Q1) and rainfall and discharge data of five meteorological and hydrometric stations for 2000 to 2015 time period were used. The results of the comparison of meteorological, hydrological and agricultural drought represent conformity of the three types of drought in the years 2000, 2001, 2004, 2005, 2007, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 and 2015. Although the SPI and NDVI values were positive in the years 2002, 2003 and 2008, SDI index showed the occurrence of hydrological drought (negative values). In the year 2006 despite the rainfall increase, but this year has been facing the agricultural and hydrological drought. So the results simultaneity of drought there does not exist in all the years. The results of Pearson correlation showed there is a high correlation between mean NDVI and SPI and SDI indices equal to 0.706 and 0.788 respectively at the significance level of 0.01. Generally, the results of SDI and SPI indices largely confirm the results of the NDVI index.

* Corresponding author e-mail address: k.shahedi@sanru.ac.ir