

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی پایش خشکسالی کشاورزی مبتنی بر سنجش از دور با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش در ماه‌های رشد (مطالعه موردی: حوضه آبریز کارون بزرگ)

محمدحسین جهانگیر^{۱*}، ضحی مشیدی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۴/۶

چکیده

خشکی یکی از ویژگی‌های جدایی‌ناپذیر شرایط اقلیمی در کشورهای واقع در عرض‌های جنب حاره‌ای مانند ایران است. در این تحقیق ارزیابی و اعتبارسنجی پایش خشکسالی کشاورزی منتج از ماهواره MODIS در حوضه آبریز کارون بزرگ با کمک شاخص SPI^4 مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور از اطلاعات حاصل از تصاویر سنجنده $MODIS^1$ در استخراج شاخص‌های VCI^2 و TCI^3 در ماه‌های رشد گیاهی (مارس تا اوت) سالهای ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷ استفاده شده است. پس از محاسبه شاخص‌های ماهواره‌ای در نرم افزار ENVI، مقادیر شاخص SPI که در متلب محاسبه و توسط روش میانبایی IDW^5 پهنه‌بندی گردید مقایسه شد. بر اساس نتایج به دست آمده کلیه شاخص‌ها در قسمت‌های جنوبی حوضه آبریز، خشکسالی شدید را نشان داد. همچنین از بین شاخص‌های کشاورزی منتج از ماهواره، شاخص VCI همبستگی بالایی با شاخص SPI داشت. بالاترین ضریب همبستگی این شاخص مربوط به ایستگاه‌های ازنا و یاسوج به ترتیب با میزان ۰/۶۲ و ۰/۵۹ بود.

واژه‌های کلیدی: حوضه آبریز کارون بزرگ، سنجنده مودیس، SPI ، TCI ، VCI

مقدمه

به همراه داشته باشد. به ویژه در مناطق مرطوب وقوع خشکسالی مهم‌تر است. از این رو پایش این پدیده همواره به عنوان یک ابزار مدیریتی آب حائز اهمیت است که از طریق شاخص‌های مختلف بررسی و پایش می‌گردد. یکی از این شاخص‌ها، شاخص‌های منتج از سنجش از دور (ماهواره‌ای) است که به عنوان یک ابزار مفید جهت پایش مکانی و زمانی خشکسالی مورد توجه محققین واقع شده است. سازمان هواشناسی جهانی WMO^6 عواملی را که می‌توان با آنها، به تعیین و تعریف خشکسالی پرداخت، ارائه کرده است. این عوامل شامل بارش، بارش با میانگین دما، رطوبت خاک و میزان محصول، شاخص‌های اقلیمی و برآورد تبخیر و تعرق می‌باشد (Jeyaseelan, 2003).

خشکسالی کشاورزی جنبه‌های مختلف خشکسالی اقلیمی و یا خشکسالی هیدرولوژیکی را به تأثیرات کشاورزی پیوند می‌دهد. در این تعریف بیشتر توجه و تمرکز بر کمبود بارندگی، تفاوت تبخیر و تعرق واقعی با تبخیر و تعرق پتانسیل، کمبود رطوبت خاک، میزان افت سطح آبهای زیر زمینی و یا مخازن می‌باشد (خشکسالی (n.d.)). آستانه خشکسالی کشاورزی باید به گونه ای تعریف و تعیین گردد که در

خشکسالی یکی از پیچیده‌ترین بلاای طبیعی است که آسیب‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی فراوانی را به همراه دارد و غالباً به عنوان یک پدیده خزنده بیان می‌شود، چرا که بر خلاف سایر بلاای طبیعی، این پدیده به تدریج و در یک دوره زمانی نسبتاً طولانی اثر کرده و اثرات آن ممکن است پس از چند سال و با تأخیر بیشتری نسبت به سایر حوادث طبیعی ظاهر شود (خلقی و همکاران، ۱۳۹۰). خشکسالی‌های طولانی مدت باعث آسیب‌های قابل توجهی به محیط طبیعی و توسعه جوامع انسانی شده است (Han et al., 2010). در مناطقی که بیشترین بیابان‌های جهان حضور دارند، خشکی امری عادی است و ممکن است در هر محلی رخ داده و پیامدهای نامطلوب

۱- استادیار گروه انرژی‌های نو و محیط زیست دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه انرژی‌های نو و محیط زیست دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران، تهران، ایران
(*)- نویسنده مسئول: (Email: mh.jahangir@ut.ac.ir)

با رزولوشن مکانی ۵۰۰ متر است. این گزینه به ویژه برای نظارت بر خشکسالی در آینده مناسب است. همچنین مجموعه داده‌های AVHRR-MODIS-NPP-NPOESS می‌تواند بزرگترین منبع داده‌های مکانی موجود برای منطقه جنوب آسیا (و برای کل کره زمین) باشد (Thenkabail and Gamage, 2004). فانک و بووده خشکسالی کشاورزی را با استفاده از شاخص NDVI و با سنجنده MODIS در زمبابوه بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که این شاخص برای پایش دقیق خشکسالی کشاورزی، مناسب است. آنها دریافتند که باران‌های با شدت متوسط در اکتبر-نوامبر با افزایش شدید NDVI همراه است. همچنین به این نتیجه‌گیری رسیدند که ممکن است با استفاده از تکنیک‌های پیش‌بینی NDVI مبتنی بر میزان بارندگی، بتوان هشدار قبلی نسبت به شرایط خشکسالی ارائه داد (Funk and Budde, 2009). رحیم‌زاده باجگیران و همکاران امکان استفاده از شاخص‌های NDVI و VCI مستخرج از تصاویر سنجنده AVHRR ماهواره NOAA⁹ را برای پایش خشکسالی با داده‌های بارش ۱۹ ایستگاه در شمال غرب ایران طی یک دوره پنج ساله بررسی کردند. آنها بعد از پردازش و اصلاحات رادیومترک و هندسی تصاویر ماهواره‌ای و محاسبه شاخص NDVI و مقادیر NDVI ماکزیمم و مینیمم و در نهایت محاسبه شاخص VCI، همبستگی داده‌های بارش این ایستگاه‌ها را با داده‌های تصاویر ماهواره‌ای (NDVI و VCI) بدست آوردند و به این نکته رسیدند که بهترین همبستگی شاخص‌های ماهواره‌ای (NDVI و VCI) با بارش‌های سه ماهه می‌باشد (Bajgiran et al., 2008). سان و کافاتوس به بررسی ارزیابی روابط بین شاخص‌های سنجش از دوری دمای سطح زمین (LST) و اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) در شمال آمریکا پرداختند. آنها بیان کردند که همبستگی ارتباط این دو شاخص به این‌که در چه فصل از سال و چه ساعت از روز است، بستگی دارد. به نحوی که همبستگی بین NDVI و LST و ضریب رگرسیون آنها در ماه‌های سرد مثبت است و در ماه‌های گرم یک همبستگی منفی قوی بین این دو شاخص وجود دارد. بنابراین شاخص‌های خشکسالی وابسته به دما فقط در فصول گرم از ماه مه تا اکتبر قابل استفاده هستند و باید در فصول سرد سال در آمریکای شمالی احتیاط کرد. همچنین همبستگی بین NDVI و میانگین LST روزانه ($r=0.61$) بسیار قوی تر از همبستگی بین NDVI و درجه حرارت روشنایی (BT) است ($r=0.19$). از این رو، استفاده از LST در روز برای پایش خشکسالی باید معقول‌تر از استفاده از درجه حرارت روشنایی باشد (Sun and Kafatos, 2007). خلیل و همکاران از شاخص VHI¹⁰، VCI و TCI برای پایش خشکسالی در مصر استفاده کردند. آنها دوره‌های کشت سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۰۰ و ۲۰۱۱-۲۰۱۰ را برای مطالعه خود انتخاب کردند. شاخص‌های خشکسالی بر اساس

مقدار معین آستانه میزان آب مورد نیاز گیاهان مختلف در دوره‌های مختلف رشد از حالت بذر تا بلوغ کامل بتواند تأمین گردد. کمبود رطوبت خاک سطحی در هنگام کاشت ممکن است مانع از جوانه‌زنی و یا حداقل باعث به تأخیر افتادن رویش و جوانه زنی گیاه گشته و نهایتاً به کاهش تراکم گیاه در واحد سطح و کاهش تولید منجر گردد. تعریف خوب از خشکسالی کشاورزی آن است که بتواند حساسیت متغیر گیاهان زراعی را در طی مراحل نمو گیاه از سبز شدن تا بلوغ لحاظ نماید. کمبود رطوبت در لایه‌های فوقانی خاک به هنگام کاشت می‌تواند باعث تأخیر جوانه زنی شود که موجب کاهش تراکم بوته در هکتار و نقصان عملکرد نهایی گردد.

خشکی کوتاه مدت در لایه‌های سطحی که در طی یک دوره بحرانی در طول فصل رشد بروز می‌کند، می‌تواند به خشکسالی کشاورزی منجر شود که محصول را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. دماهای بالا، رطوبت نسبی پایین و بادهای خشک اغلب منجر به افزایش تاثیر فقدان باران می‌شوند. با توجه به وضعیت رطوبتی قبلی خاک، شروع خشکسالی کشاورزی نسبت به خشکسالی هواشناسی با تأخیر صورت می‌گیرد.

نواقص موجود در داده‌های عناصر جوی و پراکنندگی نامناسب ایستگاه‌های هواشناسی، دلایلی می‌باشند که لزوم توجه به روش‌های نوین با قابلیت داده‌پردازی و بازخوانی داده‌های نقاط مختلف را نشان می‌دهند (حمزه و همکاران، ۱۳۹۶). به طوری که در سال‌های اخیر در مدیریت و ساماندهی مناسب اثرات خشکسالی علاوه بر شاخص‌ها و روش‌های آماری، داده‌های سنجنده‌های ماهواره‌ای نقش مهم روزافزونی در پایش خشکسالی مرتبط با شرایط محیطی ایفا می‌کنند (Jang, 2004). لیو و کوگن با بدست آوردن NDVI⁷ هفتگی بین سال‌های ۱۹۸۵ - ۱۹۹۲ برای آمریکای جنوبی و تعیین مقادیر آستانه VCI و NDVI مناطق تحت خشکسالی را مشخص کردند و نتیجه گرفتند که مقایسه خشکسالی سالانه و فصلی مناطق از روی VCI ابزار مناسبی برای ارزیابی مکانی و زمانی خشکسالی و همچنین برای تخمین کیفیت محصول بود و پیشنهاد دادند VCI در کنار NDVI برای مدل پیش‌بینی مقدار محصول بکار رود (Liu and Kogan, 1996). تنکابیل و گامیج در گزارش خود به ارزیابی خشکسالی در جنوب غرب آسیا پرداختند. آنها در تحقیق خود از سه شاخص VCI، TCI و NDVI استفاده کردند. همچنین با ترکیب داده‌های سنجنده AVHRR⁸ و MODIS سری زمانی شاخص‌ها را از سال ۱۹۸۲ محاسبه کردند. آنها بیان کردند، داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند ابزار مفیدی برای پایش نزدیک به زمان واقعی خشکسالی باشند. آنها نتیجه گرفتند در این منطقه مورد تحقیق، شاخص TCI شاخص قابل اعتمادی برای ارزیابی خشکسالی نخواهد بود و بهترین گزینه شامل ویژگی‌های بلند مدت NDVI محاسبه شده از AVHRR به MODIS

داده‌های سنجنده MODIS محاسبه شدند. نتایج محاسبه شاخص‌های VCI و TCI نشان داد که در تمام موارد همخوانی بین این دو شاخص وجود ندارد و در تعیین وقوع و شدت خشکسالی متفاوت هستند، که این تفاوت در شاخص اثر می‌گذارد. بر اساس نتایج در چهار سال انتهای فراوانی وقوع خشکسالی‌ها در منطقه افزایش پیدا کرده است (Khalil et al., 2013). زوو و همکاران به مقایسه شاخص‌های سنجنش از دوری و هواشناسی برای پایش خشکسالی در نیمه شرقی چین پرداختند. ایشان از شش شاخص شامل VCI، درصد میانگین سبزی فصلی¹¹ (PASG)،¹² TCI، VSWI، درصد آنومالی بارش¹³ (PPA) و SPI در تحقیق خود استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد که تمام شاخص‌ها مخصوصاً شاخص‌هایی که از اطلاعات مشابهی استفاده می‌کنند، تغییرات مکانی خشکسالی را به صورت یکسان نشان داده‌اند و تنها در برخی مناطق تفاوت‌هایی بین نتایج وجود دارد. در مقایسه بین شاخص‌ها، شاخص VSWI از حساسیت بیشتری برخوردار بود. آنها بیان کردند که استفاده از ترکیبی از شاخص‌های مختلف می‌تواند نتایج قابل اعتمادتری داشته باشد (Zhou et al., 2012). دئو و همکاران به پایش خشکسالی در استان شاندونگ چین پرداختند. آنها با بیان اینکه که شاخص جامعی که به صورت همزمان اطلاعاتی از خشکسالی هواشناسی و کشاورزی را در بر گیرد وجود ندارد، در تحقیق خود به دنبال رفع این مشکل بودند. از اینرو آنها سه شاخص را با استفاده از تحلیل مولفه اصلی¹⁴ (PCA) با یکدیگر ترکیب نمودند. این سه شاخص شامل شاخص VCI، TCI و شاخص شرایط بارش¹⁵ (PCI) بود که شاخص سوم بر اساس داده‌های بارش ماهواره‌ی TRMM¹⁶ محاسبه می‌شد. آنها شاخص خود را که شاخص سنتز شده خشکسالی¹⁷ (SDI) نامیدند، با شاخص SPI مقایسه کردند و دریافتند که SDI با شاخص SPI در مقیاس سه ماهه همبستگی بالایی دارد (Du et al., 2013). کیان و همکاران با استفاده از داده‌های AVHRR به تجزیه و تحلیل تغییرات زمانی و مکانی VCI در مناطق کشاورزی چین در بین سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۰ و تحلیل روابط بین خشکسالی و عوامل اقلیمی پرداختند. نتایج نشان داد VCI در اکثر مناطق کشاورزی افزایش و فرکانس خشکسالی در طول زمان کاهش یافته است و روند کاهش در منطقه جنوبی بیشتر از منطقه شمال است و آن تحت تاثیر دما و سرعت باد بوده است. از طرفی همبستگی بین VCI و بارش پایین بود که احتمالاً به علت استفاده گسترده از فناوری آبیاری مصنوعی بوده که باعث کاهش تکیه مناطق کشاورزی در هنگام بارش می‌شود. (Qian et al., 2016). داته و همکاران با استفاده از داده‌های طولانی مدت NDVI مربوط به NOAA-AVHRR و بدست آوردن VCI به پایش خشکسالی کشاورزی در راجستان هند در کنار شاخص SPI، شاخص آنومالی بارش¹⁸ (RAI) پرداختند. نتایج نشان دهنده وقوع تنش زراعی مرتبط با خشکسالی در سال ۲۰۰۲ بود (Dutta et al.,

2015). کوپرینگ و گانش کارایی شاخص VCI در برابر شاخص‌های PDSI، شاخص Z و SPI در ارزیابی خشکسالی هواشناسی در تگزاس را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاکی از استفاده شاخص VCI با احتیاط بود چرا که همبستگی این شاخص با شاخص‌های بیان شده کم بوده و شاخص VCI با فاکتورهای متغیر مکانی همبستگی قوی داشت (Quiring and Ganesh, 2010). جیانو و همکاران شاخص VCI را براساس روش مبتنی بر تجزیه الگوی جهانی¹⁹ (VIUPD) برای پایش خشکسالی در سرتاسر قاره آمریکا با VCI حاصل از NDVI، TCI، شاخص شرایط بارندگی (PSI) و شاخص وضعیت رطوبت خاک²⁰ (SMCI) مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از همبستگی بیشتر VCI مبتنی بر تجزیه الگوی جهانی (VIUPD) نسبت به VCI حاصل از NDVI و سایر شاخص‌های مورد بررسی بود. همچنین VIUPD پتانسیل قابل توجهی برای پایش خشکسالی داشت (Jiao et al., 2016). لیانگ و همکاران به پایش خشکسالی کشاورزی از طریق شاخص VCI با داده‌های NOAA-AVHRR از سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۵ در کشور چین پرداختند. یافته‌ها نشان از روند افزایشی VCI در اکثر مناطق چین می‌داد، که نشان دهنده کاهش فرکانس خشکسالی گیاهی در سراسر کشور است. آنها روند تغییرات VCI را به چهار مرحله در طول این سال‌ها تقسیم کردند (Liang et al., 2017). دو و همکاران در مطالعه‌ای با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای Google Earth به پایش خشکسالی از طریق شش شاخص از شاخص‌های پوشش گیاهی موثر بر بارش، رطوبت خاک و ارتباط آن با تأثیرات بر تولید محصولات کشاورزی و آتش سوزی جنگل‌ها در مهمترین حوضه مرکزی ویتنام بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶ پرداختند. مطابق با یافته‌ها، شاخص‌های NDDI²¹ و VHI برای بررسی خشکسالی در زمین‌های کشاورزی و جنگل توصیه می‌شود. همچنین یافته‌های این مطالعه برای تعیین خطرات خشکسالی بسیار مهم است و یک نقشه کاهش خشکسالی را برای حوضه آماده کرده است (Du et al., 2018).

بررسی فراوانی رخداد خشکسالی نشان می‌دهد ایران از سال ۱۳۴۷ تا ۱۳۸۴ با بیش از ۱۰ دوره‌ی خشکسالی مواجه بوده است. بررسی دقیق‌تر در دهه‌ی اخیر نیز گویای این است که در فاصله‌ی سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۳ کشور تحت تأثیر خشکی و کم آبی شدید قرار گرفته است، به طوری که بارش سالانه طی سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۰ حدود ۴۵ درصد کاهش داشته است (باعقیده، ۱۳۹۰). چنار (۱۳۸۰) با استفاده از تصاویر AVHRR به ارزیابی و پایش خشکسالی در آذربایجان شرقی، غربی و اردبیل پرداخت. او برای تحقیق خود از شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاه NDVI استفاده کرد. ایشان نتایج خود را با ارزیابی زمینی خسارت خشکسالی مقایسه کرد که نتایج همخوانی NDVI را با خسارت‌های خشکسالی نشان می‌دهد. کشاورز و همکاران با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS یک شاخص برای

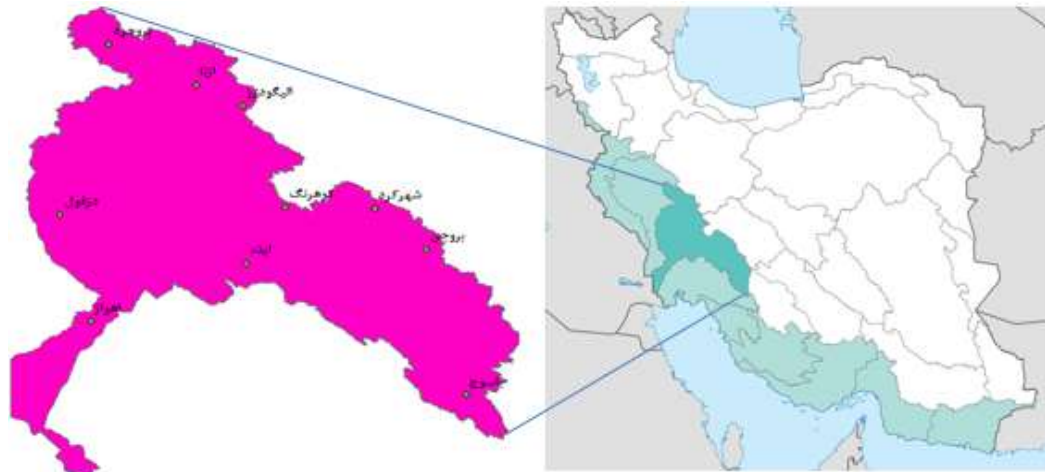
سالانه و فصلی (بهار) در کاشان از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۴ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که شاخص‌های NDVI، VCI و LSM در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ همراه خشکسالی و در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۴ دارای شرایط ترسالی بودند. همچنین بر مبنای محاسبه‌های انجام شده شرایط اقلیمی محدوده با نتایج حاصل از شاخص‌های گیاهی تطابق بیشتری دارد. آنها بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور در مطالعات محیطی مناطق خشک و بیابانی همانند کاشان را توصیه می‌کنند.

در این تحقیق داده‌های سنجش هواشناسی و سنجش از دور حوضه آبریز کارون بزرگ طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷ در طول فصل رشد (از ماه مارس تا اوت) جمع‌آوری گردید. سپس نقشه‌های حاصل از دو شاخص خشکسالی VCI و TCI ماهواره مادیس و نقشه پهنه‌بندی شاخص SPI تهیه گردید و به منظور تعیین شاخص پهنه خشکسالی، میزان همبستگی هر یک با شاخص SPI محاسبه و در نهایت شاخص پهنه خشکسالی در حوضه اعلام گردید.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی و معرفی روش

محدوده مورد مطالعه حوضه آبریز کارون در نظر گرفته شده است که در تقسیم‌بندی حوضه‌های آبریز، حوضه فرعی به شمار می‌رود و زیر مجموعه حوضه اصلی آبریز خلیج فارس و دریای عمان است (دفتر مطالعات پایه منابع آب، اسفند ۱۳۹۰) (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه حوضه آبریز کارون بزرگ در حوضه آبریز اصلی خلیج فارس و دریای عمان

قرار دارند و محدود به مختصات جغرافیایی $48^{\circ}00'$ تا $52^{\circ}30'$ درجه طول شرقی و $30^{\circ}00'$ تا $34^{\circ}05'$ درجه عرض شمالی می‌باشند. مساحت این حوضه ۶۷۲۵۷ کیلومتر مربع می‌باشد. شهرهای یاسوج، سمیرم، بروجن، شهرکرد، هفشجان، فارسان، جونقان، لردگان، ایذه،

پایش خشکسالی کشاورزی توسعه دادند. این شاخص با نام شاخص کمبود رطوبت خاک²² (SWDI) معرفی گردید. آنها در محاسبات خود از NDVI و LST استفاده کردند. نتایج نشان داد شاخص SWDI امکان تشخیص مناطق تحت تاثیر خشکسالی را فراهم می‌کند (Keshavarz et al., 2014). عرفانیان و همکاران (۱۳۹۳) برای نخستین بار به تهیه نقشه ریسک خشکسالی استان فارس با استفاده از ماهواره Terra و TRMM برای شاخص NDVI و داده‌های بارندگی ماهانه در دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۰۸ پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که داده‌های بارندگی ماهواره TRMM، تا حد زیادی قادر به تشخیص شدت خشکسالی در مقایسه با نقشه شدت خشکسالی روش SPI است. جلیلی و همکاران (۱۳۸۷) به پایش شاخص‌های ماهواره‌ای NDVI، VCI و DEV²³ و شاخص‌های هواشناسی SPI و EDI با دو مقیاس زمانی یک و سه ماهه در استان تهران با تصاویر سنجنده AVHRR ماهواره NOAA برای سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۰ پرداختند. به منظور برازش مقادیر شاخص‌ها از دو مدل رگرسیون خطی و رگرسیون با متغیرهای موهومی ماهانه استفاده شد. نتایج حاکی از وجود بهترین همبستگی بین شاخص‌های NDVI و SPI سه ماهه در مدل با متغیرهای موهومی بود و همچنین همبستگی شاخص‌ها در مناطق دارای ایستگاه باران‌سنجی، بالاتر بودند. در تحقیقی دیگر شمسی‌پور و همکاران (۱۳۸۹) تغییرات زمانی خشکسالی با استفاده از شاخص Z نرمال و از داده‌های طیفی و حرارتی ماهواره NOAA-AVHRR برای مطالعه شاخص‌های ماهواره‌ای NDVI، VCI، TCI، VHI، LSM و LST در دو مقیاس

حوضه آبریز کارون بزرگ در داخل ارتفاعات زاگرس میانی قرار داشته و با حوضه‌های کرخه، دریاچه نمک، زاینده رود، بختگان مهارلو و زهره جراحی هم‌مرز می‌باشد. حوضه آبریز کارون بزرگ متشکل از رودخانه‌های دز و کارون بوده که در داخل ارتفاعات زاگرس میانی

ویژگی سبب جلوگیری از جذب طیفی بخار آب در باند مادون قرمز شده و در نتیجه خطایی که بواسطه جذب بخار آب ایجاد می‌شود بسیار کوچک می‌گردد (پرویز و همکاران، ۱۳۹۰).

اطلاعات دریافتی سنجنده شامل دو محصول پوشش گیاهی با کد مشخصه MOD13A1 (با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر و تفکیک زمانی ۱۶ روزه) که به NDVI تبدیل شد و دمای سطح زمین با کد مشخصه MOD11A2 (با تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر و تفکیک زمانی ۸ روزه) با فرمت hdf²⁴ است. به دلیل تطابق زمانی، محصولات هشت روزه به شانزده روزه تبدیل گردید. همچنین اطلاعات برای یک دوره ۱۷ ساله مربوط به سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷ مورد استفاده قرار گرفت. از این محصولات تعداد ۲۰۴ تصویر MOD13A1 و تعداد ۲۰۴ تصویر MOD11A2 از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷ تهیه گردید. لازم به ذکر است محاسبات مربوطه در نرم‌افزار ENVI، متلب و ArcGIS انجام گردید.

داده‌های زمینی

برای انجام تحقیق، از آمار بارندگی ده ایستگاه سینوپتیک واقع در حوضه آبریز کارون بزرگ استفاده گردید (جدول ۱). ایستگاه‌ها بر اساس پوشش مکانی مناسب و طول دوره آماری مورد مطالعه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ دفتر آمار شرکت مدیریت منابع آب ایران انتخاب گردیده‌اند.

مسجد سلیمان، در قسمت علیای حوضه رودخانه کارون و شهرهای بروجرد، درود، ازنا، الیگودرز در بخش کوهستانی حوضه رودخانه دز قرار گرفته‌اند. از شهرهای مهم قسمت سفالی این دو حوضه می‌توان اندیمشک، دزفول و شوش را در حوضه دز و شوشتر، گتوند، اهواز، آبادان و خرمشهر را در حوضه کارون نام برد (دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا، ۱۳۸۹-۹۰).

از سدهای مهم این حوضه می‌توان چغاخور چهارمحال و بختیاری، آبسرد لرستان، سبزکوه چهارمحال و بختیاری، بالاود خوزستان، سد بختیاری لرستان، بیدکان چهارمحال و بختیاری، حشیان مرکزی، حوضیان لرستان، خرسان ۳ چهارمحال و بختیاری، رودبار لرستان، سورک (دهنو) چهارمحال و بختیاری، کارون ۴ چهارمحال و بختیاری، کمال صالح مرکزی، کمندان لرستان، گتوند علیا خوزستان، مروک لرستان، کوه‌رنگ ۳ چهارمحال و بختیاری و هفشجان چهار محال و بختیاری را نام برد.

داده‌های ماهواره‌ای

در این تحقیق به منظور پایش خشکسالی حوضه کارون بزرگ بر اساس شاخص VCI و TCI منتج از ماهواره، از اطلاعات سنجنده MODIS استفاده گردید. دلایل انتخاب سنجنده MODIS، در این تحقیق شامل توان تفکیک طیفی و مکانی بالا، تکنیک کالیبراسیون مخصوص، باریک بودن اکثر باندهای طیفی این سنجنده که این

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
بروجرد	۴۸/۸۰	۳۳/۷۸
ازنا	۴۹/۴۸	۳۳/۴۲
الیگودرز	۴۹/۸۴	۳۳/۲۳
دزفول	۴۸/۴۲	۳۲/۲۷
کوه‌رنگ	۵۰/۱۷	۳۲/۳۳
ایذه	۴۹/۸۷	۳۲/۳۳
اهواز	۴۸/۶۶	۳۱/۸۳
بروجن	۵۱/۲۸	۳۱/۹۶
یاسوج	۵۱/۵۸	۳۰/۶۷
شهرکرد	۵۰/۸۸	۳۲/۳۲

حداقل می‌رساند (Kogan, 1995). همچنین این شاخص یک ابزار مفید برای نظارت بر شرایط هواشناسی کشاورزی است، زیرا می‌تواند برآورد کمی از اثرات آب و هوایی را برای پوشش گیاهی فراهم آورد (ZHANG et al., 2013). این شاخص نسبت به شاخص NDVI، نتایج بهتری را نسبت به میزان بارندگی به خصوص در مناطقی که از نظر جغرافیایی ناهمگن هستند، ارائه می‌دهد. بازه تغییرات این شاخص بین صفر تا یک می‌باشد (Kogan, 1995). زمانی که VCI

معرفی شاخص‌ها

شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI)

این شاخص برای نخستین بار توسط کوگان و سولیوان توسعه یافت (Kogan and Sullivan, 1993). شاخص VCI با استفاده از مقادیر حداکثر و حداقل NDVI تعیین می‌شود. VCI تغییرات زمانی NDVI را ارزیابی می‌کند. در حالی که اثرات تغییرات مکانی فاکتورهای محیطی از قبیل اقلیم، خاک، نوع گیاه و توپوگرافی را به

مربوطه، BT_{max} و BT_{min} به ترتیب دمای درخشندگی حداکثر و حداقل در یک دوره ۱۷ ساله برای هر پیکسل در مقیاس زمانی مورد نظر می‌باشند. مقدار عددی این نمایه بین صفر و یک متغیر است. مقادیر نزدیک به صفر این نمایه نشان دهنده وجود دمای بالا طی دوره مورد نظر می‌باشد. دماهای بالا در اواسط فصل رویش معرف شرایط نامطلوب خشکسالی و دماهای پایین معرف شرایط مطلوب می‌باشند (Singh et al., 2003). طبقه‌بندی خشکسالی بر اساس شاخص TCI مشابه شاخص VCI است.

شاخص استاندارد شده بارش (SPI)

این شاخص اولین بار توسط مک کی و همکاران از دانشگاه ایالات کلرادو در سال ۱۹۹۳ گسترش داده شده است. برای کمی نمودن کمبود بارش یا میزان خشکسالی در بازه زمانی چندگانه طراحی شده است (باعقیده، ۱۳۹۰) و اثرات ویژه بر روی قابلیت دسترسی به منابع آبی مختلف بیان می‌کند و دقت محاسبات را بالا می‌برد (Wu et al., 2001). این شاخص در مطالعه تاثیرات کمبود بارش بر روی آب‌های زیرزمینی، ذخایر و منابع آب سطحی، رطوبت خاک و جریان آبراهه‌ها کارایی مناسبی دارد (قلی‌زاده، ۱۳۸۳). این شاخص از طریق رابطه ۳ قابل محاسبه است:

$$SPI = (P_i - P) / S \quad (3)$$

که در آن P_i مقدار بارش در دوره مورد نظر، P میانگین دراز مدت بارش برای دوره مورد نظر و S انحراف معیار مقدار بارش می‌باشد. برای محاسبه این شاخص، داده‌های بارش با توزیع گاما برآزش می‌شود که پس از انجام محاسبات و تعیین پارامترهای SPI انجام می‌شود. پس از محاسبه SPI، ارزیابی وضعیت خشکسالی بر اساس جدول ۳ قابل انجام است.

جدول ۳- نحوه طبقه بندی خشکسالی بر اساس مقادیر شاخص SPI (Mckee, Thomas. Doesken, nolan. Kleist, 1993)

شاخص SPI	وضعیت
$SPI < -2$	خشکسالی بسیار شدید
$-2 \leq SPI < -1/5$	خشکسالی شدید
$-1/5 \leq SPI < -1$	خشکسالی متوسط
$-1 \leq SPI < 1$	نرمال
$1 \leq SPI < 1/5$	ترسالی متوسط
$1/5 \leq SPI < 2$	ترسالی شدید
$SPI \geq 2$	ترسالی بسیار شدید

مطابق جدول، خشکسالی زمانی اتفاق می‌افتد که شاخص استاندارد شده منفی، تداوم داشته باشد و همچنین وقوع یک

به صفر نزدیک می‌شود، نشان‌گر یک ماه بسیار خشک است و وقتی که مقدار آن به بیشترین مقدار یعنی یک نزدیک می‌شود، وضعیت خشکسالی بهبود می‌یابد.

$$VCI = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (1)$$

که در آن $NDVI_{min}$ و $NDVI_{max}$ به ترتیب مقادیر حداقل و حداکثر برای هر ماه می‌باشد (Bayarjargal et al., 2006). مقدار شاخص NDVI وابسته به تغییرات گیاه از شرایط شدیداً نامطلوب تا شرایط بالای نرمال بین صفر تا یک متغیر است (Zhang et al., 2013). NDVI کم و در فواصل زمانی پیوسته نشان دهنده‌ی پیشرفت خشکسالی است. در سال ۲۰۰۱ کوگان نشان داد زمانی که مقادیر VCI به صفر نزدیک می‌شود، نشانگر یک ماه بسیار خشک است و وقتی که مقدار آن به بیشترین مقدار نزدیک می‌شود، وضعیت خشکسالی بهبود می‌یابد (Kogan, 2001) و مقادیر کم VCI برای فواصل زمانی پی در پی، اشاره به ازدیاد خشکسالی دارد (Thenkabail & Gamage, 2004). جدول ۲ نحوه طبقه‌بندی خشکسالی بر اساس مقادیر این شاخص را توسط کوگان نشان می‌دهد.

جدول ۲- نحوه طبقه‌بندی خشکسالی بر اساس مقادیر شاخص

VCI (Kogan, 2001)	
وضعیت	VCI (درصد)
خشکسالی بسیار شدید	$< 0/1$
خشکسالی شدید	$0/1 - 0/2$
خشکسالی متوسط	$0/2 - 0/3$
خشکسالی ملایم	$0/3 - 0/4$
شرایط نرمال	$0/4 - 0/6$
ترسالی	$\leq 0/6$

شاخص شرایط دمایی (TCI)

شاخص TCI در سال ۱۹۹۵ توسط کوگان پیشنهاد شد که الگوریتم محاسباتی آن همانند شاخص وضعیت پوشش گیاهی است، ولی معادله آن برای انعکاس پاسخ حرارتی پوشش گیاهی تعریف شده است. در زمان خشکی بدلیل کمبود آب برای تبخیر و در نتیجه کاهش تبخیر، دمای سطح زمین افزایش می‌یابد. بنابراین دخالت دادن دمای سطح زمین می‌تواند بعنوان معلول خشکسالی در نمایه‌های ارزیابی خشکسالی تأثیر داشته باشد (Kogan, 1995). کوگان شاخص TCI را بصورت زیر معرفی کرد:

$$TCI = \frac{BT_{max} - BT}{BT_{max} - BT_{min}} \quad (2)$$

که در آن BT دمای درخشندگی ماه مورد نظر در پیکسل

تهیه شد. از آنجا که معمولاً شاخص‌های منتج از سنجش از دور بر اساس وضعیت پوشش گیاهی، اطلاعاتی را در مورد وضعیت خشکسالی در یک منطقه ارائه می‌دهند، ارزیابی عملکرد آنها در طول فصل رشد انجام می‌شود. به همین دلیل این شاخص‌ها در دسته شاخص‌های خشکسالی کشاورزی طبقه‌بندی می‌شوند. از این رو در این تحقیق مقایسه‌ها در ماه‌های رشد گیاهی (مارس تا اوت) طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷ مد نظر قرار گرفت. در ادامه بر اساس نقشه حاصل از هر شاخص، توزیع مکانی خشکسالی توسط شاخص‌های ماهواره‌ای با توزیع مکانی شاخص SPI مقایسه گردید. در شکل ۲ فلوجارت مربوط به انجام تحقیق آورده شده است.



شکل ۲- فلوجارت کلی فرایند تحقیق

درجات مختلفی از خشکسالی را نشان می‌دهد. در مقابل در بخش‌های شمالی حوضه در محدوده ازنا، بروجرد، الیگودرز، کوهرنگ و یاسوج شرایط از نرمال به سمت ترسالی را نشان می‌دهد. با بررسی ماه‌های رشد، بیشترین سطح خشکسالی در منطقه مورد مطالعه مربوط به ماه اوت می‌باشد که بجز در ایستگاه یاسوج، کل حوضه آبریز درجات متفاوت خشکسالی را دارد. در ماه می نیز اکثر سطح حوضه در شرایط نرمال تا ترسالی می‌باشد. این شرایط را می‌توان برای ایستگاه‌های ازنا، الیگودرز، بروجرد و کوهرنگ مثال زد.

نتایج حاصل از خشکسالی کشاورزی با استفاده از داده‌های

ماهواره‌ای

به منظور بررسی خشکسالی کشاورزی، نقشه‌های VCI و TCI از تصاویر ماهواره‌ای MODIS در مقیاس زمانی ماهانه در ماه‌های رشد گیاهی (مارس تا اوت) مطابق شکل ۴ و ۵ تهیه گردید.

نتایج و بحث

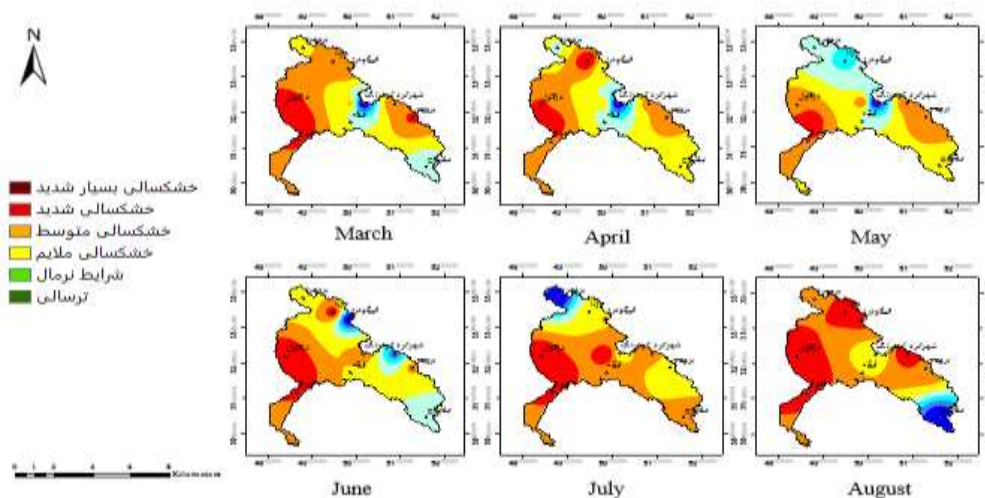
در این بخش نتایج بدست آمده از نقشه‌های خشکسالی کشاورزی منتج از تصاویر ماهواره‌ای و خشکسالی هواشناسی (توسط داده‌های بارش اخذ شده از ایستگاه‌های هواشناسی) ارائه شده است. در ادامه به مقایسه و ارزیابی این نقشه‌ها پرداخته و در نهایت شاخص بهینه برای پایش خشکسالی حوضه مورد مطالعه ارائه گردیده است.

نتایج حاصل از خشکسالی هواشناسی با استفاده از داده‌های

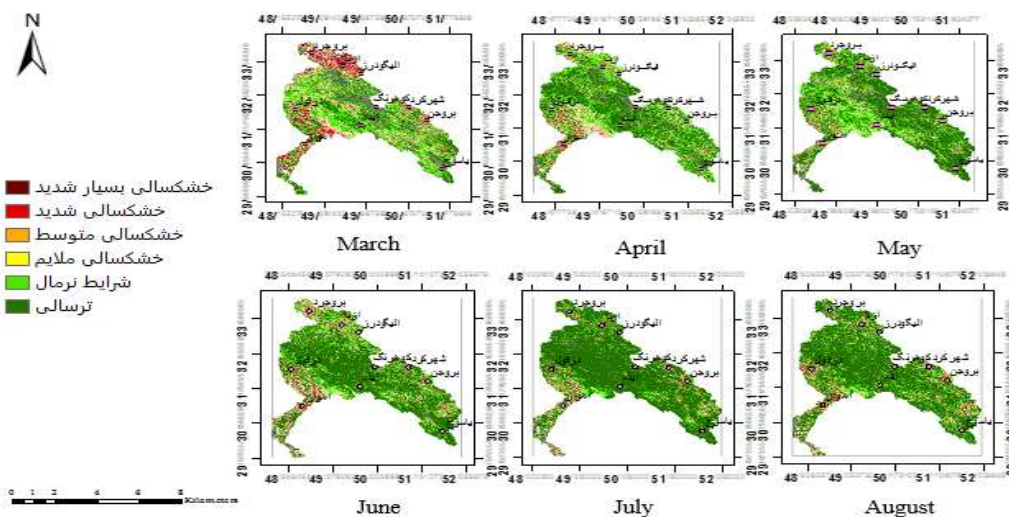
زمینی

شاخص SPI با استفاده از نرم‌افزار متلب به صورت ماهانه برای ماه‌های رشد ۱۰ ایستگاه محاسبه و با روش IDW مطابق شکل ۳ درون‌یابی گردید.

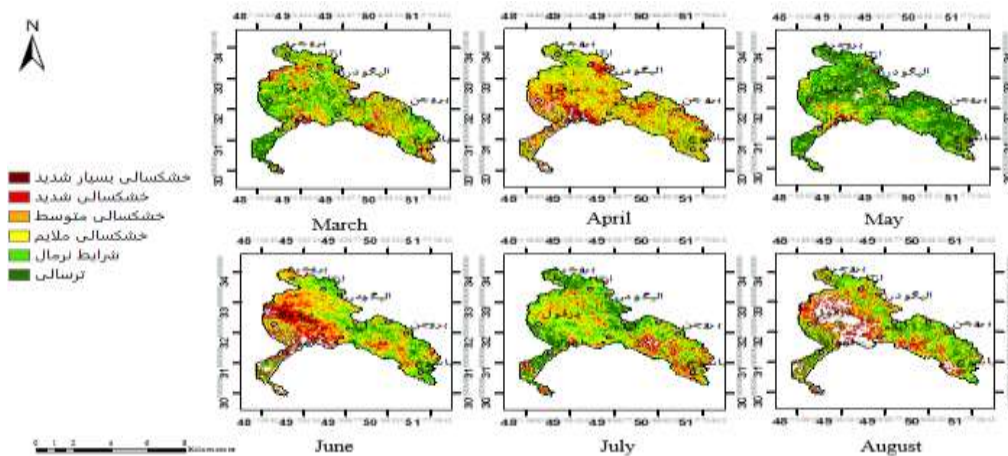
همانطور که از شکل ۳ برمی‌آید، مناطق جنوب و جنوب غربی حوضه آبریز مورد مطالعه در محدوده ایستگاه‌های دزفول و اهواز



شکل ۳- پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI در حوضه آبریز کارون بزرگ در ماه‌های رشد گیاهی (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷)



شکل ۴- نقشه شاخص VCI در حوضه آبریز کارون بزرگ در ماه‌های رشد گیاهی (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷)



شکل ۵- نقشه شاخص TCI در حوضه آبریز کارون بزرگ در ماه‌های رشد گیاهی (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷)

می‌دهد برای ماه می در کل پهنه وضعیت دما و بارش مقادیر بیش از ۰/۵ را برای شاخص TCI محاسبه نموده و وضعیت به صورت ترسالی خواهد بود.

مقایسه خشکسالی کشاورزی و هواشناسی و انتخاب شاخص بهینه پایش خشکسالی

به منظور ارزیابی دقت تصاویر ماهواره‌ای در برآورد خشکسالی و مقایسه خشکسالی کشاورزی و هواشناسی در حوضه آبریز مورد مطالعه، مقادیر شاخص‌های منتج از ماهواره در پیکسل‌های متناظر با ایستگاه‌های هواشناسی استخراج و به منظور مقایسه شاخص‌های خشکسالی زمینی و ماهواره‌ای ضریب همبستگی ماهانه آنها بررسی گردید.

همانطور که در بررسی نقشه‌های ۴ منتج شده از ماهواره برای شاخص وضعیت پوشش گیاهی مورد بررسی حوضه کارون بزرگ نشان می‌دهد تمرکز منطقه‌ای خشکسالی همانند نتایج حاصل از نقشه‌های درون‌یابی شاخص SPI در ناحیه جنوب (استان خوزستان) و مقداری نیز در شمال پهنه (استان لرستان) می‌باشد. از آنجا که مقادیر محاسبه شده شاخص VCI وابسته به پارامترهای اقلیمی، بافت خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی می‌باشد، شرایط بدست آمده نشان‌دهنده وضعیت مطلوبی از کمیت‌ها برای رسیدن به وضعیت ترسالی را نشان می‌دهد. لذا در مناطقی که احتمال وقوع وضعیت خشکسالی شدید وجود دارد (جنوب حوضه آبریز و استان خوزستان) به دلیل از بین رفتن پوشش گیاهی و ترکیب خاک منطقه، مقادیر عددی شاخص VCI کم شده و کمتر از ۰/۲ بدست آمده است. همچنین مطابق شکل ۵ وضعیت ماهانه حوضه آبریز کارون بزرگ بر اساس شاخص TCI که بیانگر وضعیت تغییرات دمایی در حوضه می‌باشد نشان

جدول ۴- ضریب همبستگی بین شاخص SPI و شاخص‌های ماهواره‌ای در مقیاس زمانی ماهانه رشد در حوضه آبریز کارون بزرگ

نام ایستگاه	ضریب همبستگی با شاخص VCI	ضریب همبستگی با شاخص TCI
بروجرد	۰/۰۰۸۱۳۶	-۰/۳۵۲۸۴۰
ازنا	۰/۴۹۸۱۲۰	۰/۰۳۳۰۴۳
الیگودرز	-۰/۷۷۱۱۳۳	-۰/۰۱۸۷۰
دزفول	-۰/۱۲۹۲۶۹	-۰/۵۳۶۷۳۰
کوه‌رنگ	-۰/۷۹۹۱۴۲	-۰/۵۶۸۱۴۰
ایذه	-۰/۶۸۶۶۸۲	-۰/۱۷۵۳۲۰
اهواز	۰/۳۲۱۳۲۵	-۰/۲۱۰۵۴۰
بروجن	-۰/۱۷۲۱۲۴	-۰/۸۱۸۹۰
یاسوج	۰/۵۷۶۸۷۳	-۰/۳۰۱۲۱۰
شهرکرد	۰/۰۲۰۵۳۳	-۰/۷۰۰۹۰

معتبر برای منطقه مورد مطالعه، شاخص‌های VCI و TCI به عنوان شاخص ماهواره‌ای انتخاب گردیدند. همچنین برای ارزیابی این شاخص‌های ماهواره‌ای، شاخص زمینی SPI در دوره رشد (مارس تا اوت) سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷ در نظر گرفته شد. با محاسبه شاخص‌های ماهواره‌ای و نقشه‌های منتج از این شاخص‌ها، مشاهده شد که بیشترین خشکسالی مربوط به قسمت‌های جنوبی حوضه آبریز می‌باشد. برای محاسبه شاخص استاندارد شده بارش، داده‌های بارش ۱۰ ایستگاه در دوره مذکور استخراج شد. با بررسی همبستگی بین شاخص VCI و SPI در ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه، بیشترین ضریب مربوط به ایستگاه‌های یاسوج، ازنا و اهواز به ترتیب ۰/۵۸، ۰/۵۰ و ۰/۳۲ می‌باشد. همچنین در کل، شاخص VCI به شاخص استاندارد شده بارش در این حوضه آبریز همبستگی بالاتری را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از این مقاله نشان می‌دهد که بهترین شاخص

همانطور که از نتایج جدول ۴ مشخص است شاخص VCI همبستگی بالاتری را در مناطق حوضه آبریز با شاخص SPI دارد. بالاترین مقادیر همبستگی نیز مربوط به ایستگاه‌های ازنا و یاسوج می‌باشد. همچنین در ایستگاه کوه‌رنگ همبستگی بین دو شاخص VCI و SPI بالا ولی در جهت معکوس می‌باشد. همچنین بررسی میزان همبستگی مکانی شاخص VCI در این حوضه با شاخص SPI در فصل رشد، ارتباط معناداری را نشان داد. این امر به دلیل وجود بارندگی و حفظ پوشش‌های گیاهی در مناطق با همبستگی بالا می‌باشد.

نتیجه‌گیری

به منظور امکان‌سنجی شاخص‌های ماهواره‌ای و انتخاب شاخص

یکسان استفاده نمود و نتایج کاملاً مشابهی را انتظار داشت. بنابراین باید رابطه هر کدام از شاخص‌های ماهواره‌ای با خشکسالی در هر منطقه جداگانه بررسی و مورد مطالعه قرار گیرد و برای هر منطقه بسته به شرایط خاص اقلیمی و پوشش گیاهی اقدام به انتخاب شاخص مناسب جهت پایش خشکسالی کشاورزی نمود.

منتج از ماهواره به منظور پایش خشکسالی کشاورزی در حوضه مورد مطالعه، شاخص VCI می‌باشد. کلام آخر اینکه اغلب مطالعات و ارزیابی‌های خشکسالی کشاورزی با شاخص‌های مختلف در مناطق با بارش نرمال و بالا صورت گرفته است که برای مطالعه خشکسالی با توجه به شرایط اقلیمی خشک ایران، نمی‌توان از روش و شاخص

پی‌نوشت:

- | | |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer 2. Vegetation Condition Index 3. Temperature Condition Index 4. Standardized Precipitation Index 5. Inverse Distance Wighting 6. World Meteorology Organization 7. Normalized Difference Vegetation Index 8. Advanced Very High Resolution Radiometer 9. National Oceanic and Atmospheric Administration 10. Vegetation Health Index 11. Percent of Average Seasonal Greenness 12. Vegetation Supply Water Index | <ol style="list-style-type: none"> 13. Percentage of Precipitation Anomalies 14. Principal component analysis 15. Precipitation Condition Index 16. Tropical Rainfall Measuring Mission 17. Synthesized Drought Index 18. Rainfall Anomaly Index 19. Vegetation Index Universal Pattern Decomposition 20. Soil Moisture Condition Index 21. Normalized Difference Drought Index 22. Soil Wetness Deficit Index 23. Deviation from its long-term mean 24. Hierarchical Data Forma |
|--|--|

منابع

- دFTER برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا، وزارت نیرو. سالنامه آماری آب کشور، ۹۰-۱۳۸۹.
- دFTER مطالعات پایه منابع آب، وزارت نیرو. تقسیم‌بندی و کدگذاری حوزه‌های آبریز و محدوده‌های مطالعاتی در سطح کشور.
- سازمان هواشناسی کشور، مرکز ملی پایش و هشدار. ۱۳۹۸. "خشکسالی کشاورزی. <http://ndc.irimo.ir/far/wd/2159>.
- شمسی‌پور، ع. ا.، علوی‌پناه، س. و محمدی، ح. ۱۳۸۹. بررسی کارایی شاخص‌های گیاهی و حرارتی ماهواره NOAA-AVHRR در تحلیل خشکسالی منطقه کاشان. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۷: ۳. ۴۴۵-۴۶۵.
- عرفانیان، م.، وفایی، ن. و رضاییان‌زاده، م. ۱۳۹۳. ارائه یک روش نوین برای ارزیابی ریسک خشکسالی استان فارس با تلفیق داده‌های ماهانه بارندگی ماهواره TRMM و داده‌های شاخص پوشش گیاهی NDVI سنجنده Terra/MODIS. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۱: ۹۳-۱۰۸.
- قلی‌زاده، م. ۱۳۸۳. پیش‌بینی و پیش‌آگاهی خشکسالی در غرب ایران. پایان‌نامه دکتری اقلیم‌شناسی. دانشگاه تربیت معلم تهران.
- Bajgiran, P.R., Darvishsefat, A.A., Khalili, A., Makhdom, M.F., Rahimzadeh Bajgiran, P., Darvishsefat, A.A., and Makhdom, M.F. 2008. Using AVHRR-based vegetation indices for drought
- باعقیده، م. ۱۳۹۰. بررسی امکان استفاده از شاخص پوشش گیاهی NDVI در تحلیل خشکسالی‌های استان اصفهان، ۱: ۴. ۳۹۱-۴۱۲.
- پرویز، ل.، خلقی، م.، ولیزاده، خ. و عراقی‌نژاد، ش. ۱۳۹۰. بررسی کارایی شاخص‌های منتج از فناوری سنجش از دور در ارزیابی خشکسالی هواشناسی؛ مطالعه موردی: حوضه‌ی آبریز سفیدرود. جغرافیا و توسعه، ۲۲، ۱۴۷-۱۶۴.
- جلیلی، ش.، مرید، س. و ضیائی‌ان فیروزآبادی، پ. ۱۳۸۷. مقایسه عملکرد شاخص‌های ماهواره‌ای و هواشناسی در پایش خشکسالی. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۱۳۹: ۱۳۹-۱۴۹.
- چنار، ع. ۱۳۸۰. ارزیابی و نظارت بر خشکسالی در استان‌های آذربایجان شرقی، غربی و اردبیل با استفاده از تصاویر AVHRR. پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.
- حمزه، س.، فراهانی، ز.، مهدوی، ش.، چترآبگون، ا. و غلام‌نیا، م. ۱۳۹۶. پایش زمانی و مکانی خشکسالی کشاورزی با استفاده از داده‌های سنجش از دور؛ مورد مطالعه: استان مرکزی ایران. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۴: ۳. ۷۰-۵۳.

- vegetation index. *Nature and Science*, 11.11: 116–122.
- Kogan, F. N. 2001. Operational space technology for global vegetation assessment. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82.9: 1949–1964.
- Kogan, F.N.F.N. 1995. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*, 15.11: 91–100.
- Kogan, F., and Sullivan, J. 1993. Development of global drought-watch system using NOAA/AVHRR data. *Advances in Space Research*, 13.5: 219–222.
- Liang, L., Sun, Q., Luo, X., Wang, J., Zhang, L., Deng, M., and Liu, Z. 2017. Long-term spatial and temporal variations of vegetative drought based on vegetation condition index in China. *Ecosphere*, 8.8: 1-15.
- Liu, W.T., and Kogan, F.N. 1996. Monitoring regional drought using the vegetation condition index. *International Journal of Remote Sensing*, 17.14: 2761–2782.
- Mckee, T., Doesken, N., and Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Eighth conference on applied climatology* (pp. 17–22).
- Qian, X., Liang, L., Shen, Q., Sun, Q., Zhang, L., Liu, Z., and Qin, Z. 2016. Drought trends based on the VCI and its correlation with climate factors in the agricultural areas of China from 1982 to 2010. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188.11:639(1-13) .
- Quiring, S.M., and Ganesh, S. 2010. Evaluating the utility of the Vegetation Condition Index (VCI) for monitoring meteorological drought in Texas. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150.3: 330–339.
- Singh, R.P., Roy, S., and Kogan, F. 2003. Vegetation and temperature condition indices from NOAA AVHRR data for drought monitoring over India. *International Journal of Remote Sensing*, 24.22: 4393–4402.
- Sun, D., and Kafatos, M. 2007. Note on the NDVI-LST relationship and the use of temperature-related drought indices over North America. *Geophysical Research Letters*, 34.24:1-4.
- Thenkabail, P.S., and Gamage, M. 2004. The use of remote sensing data for drought assessment and monitoring in Southwest Asia (Vol. 85). Iwmi.
- Wu, H., Hayes, M. J., Weiss, A., & Hu, Q.I. 2001. AN Evaluation of the standardized precipitation index, the China-Z index and the statistical Z-score, 758, 745–758.
- ZHANG, F., ZHANG, L., WANG, X., HUNG, J., Feng, Z., Li-wen, Z., and Jing-feng, H. 2013. Detecting monitoring in the Northwest of Iran. *Journal of Arid Environments*, 72.6: 1086–1096.
- Bayarjargal, Y., Karnieli, A., Bayasgalan, M., Khudulmur, S., Gandush, C., and Tucker, C. J. 2006. A comparative study of NOAA-AVHRR derived drought indices using change vector analysis. *Remote Sensing of Environment*, 105.1: 9–22.
- Du, L., Tian, Q., Yu, T., Meng, Q., Jancso, T., Udvardy, P., and Huang, Y. 2013. A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 23.1: 245–253.
- Du, T.L.T., Du Bui, D., Nguyen, M.D., and Lee, H. 2018. Satellite-based, multi-indices for evaluation of agricultural droughts in a highly dynamic tropical catchment, Central Vietnam. *Water (Switzerland)*, 10.5:1-24.
- Dutta, D., Kundu, A., Patel, N.R., Saha, S.K., and Siddiqui, A.R. 2015. Assessment of agricultural drought in Rajasthan (India) using remote sensing derived Vegetation Condition Index (VCI) and Standardized Precipitation Index (SPI). *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18.1: 53–63.
- Funk, C., and Budde, M.E. 2009. Phenologically-tuned MODIS NDVI-based production anomaly estimates for Zimbabwe. *Remote Sensing of Environment*, 113.1: 115–125.
- Han, P., Wang, P. X., Zhang, S. Y., & Zhu, D. H. 2010. Drought forecasting based on the remote sensing data using ARIMA models. *Mathematical and Computer Modelling*, 51.11–12: 1398–1403.
- Jang, J.-D. 2004. EVALUATION OF THERMAL-WATER STRESS OF FOREST IN SOUTHERN QUÉBEC FROM SATELLITE IMAGES. Thèse Doctor (Ph.D.) UNIVERSITÉ LAVAL QUÉBEC.
- Jeyaseelan, A. 2003. Droughts & floods assessment and monitoring using remote sensing and GIS. In *Satellite remote sensing and GIS applications in agricultural meteorology* . 291-313. World Meteorol. Org. Dehra Dun, India. Geneva, Switz.
- Jiao, W., Zhang, L., Chang, Q., Fu, D., Cen, Y., and Tong, Q. 2016. Evaluating an Enhanced Vegetation Condition Index (VCI) Based on VIUPD for Drought Monitoring in the Continental United States. *Remote Sensing*, 8.3: 224–245.
- Keshavarz, M.R., Vazifedoust, M., and Alizadeh, A. 2014. Drought monitoring using a Soil Wetness Deficit Index (SWDI) derived from MODIS satellite data. *Agricultural Water Management*, 132, 37–45.
- Khalil, A., Abdel-Wahab, M., Hassanein, M., Ouldbdey, B., Katlan, B., and Essa, Y. 2013. Drought monitoring over Egypt by using MODIS land surface temperature and normalized difference

Zhou, L., Zhang, J., Wu, J., Zhao, L., Liu, M., Lü, A., and Wu, Z. 2012. Comparison of remotely sensed and meteorological data-derived drought indices in mid-eastern China. *International Journal of Remote Sensing*, 33.6: 1755–1779.

agro-droughts in Southwest of China using MODIS satellite data. *Journal of Integrative Agriculture*, 12.1: 159–168.

Zhang, F., Zhang, L., Wen, WANG, X. Zhen, and Hung, J. Feng. 2013. Detecting Agro-Droughts in Southwest of China Using MODIS Satellite Data. *Journal of Integrative Agriculture*, 12.1: 159–168.

Evaluation of Remote sensing-based Agricultural Drought Monitoring Using Standardized Precipitation Index in the Growing Months (Case study: Karun Bozorg catchment area)

M.H. Jahangir^{1*}, Z. Moshayedi²

Received: Apr.11, 2020

Accepted: Jun.26, 2020

Abstract

Drought is one of the meteorological and inseparable phenomena of climate in countries located in tropical latitudes such as Iran. In this study, drought monitoring data from MODIS sensors were used to extract VCI and TCI indices in plant growth months (March to August) from 2001 to 2017. The objective is to evaluate the satellite drought monitoring in the Greater Karun Basin using SPI index. After calculating the satellite indices in ENVI software, the values were compared with the SPI index calculated in MATLAB and zoned by IDW interpolation method. Finally, in all indicators, the southern part of the catchment showed severe drought. High correlation of VCI index was also shown by examining correlation between satellite indices and SPI index. The highest correlation coefficient of this index was for Azna and Yasuj stations with 0.62 and 0.59, respectively.

Keywords: Big Karun basin, MODIS sensor, SPI, TCI, VCI

1- Assistant Professor of Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

2- Masters Student Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

(* - Corresponding Author Email: mh.jahangir@ut.ac.ir)