

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی و پایش خشکسالی در دشت قزوین با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر MODIS در سامانه گوگل ارث انجین

محدثه السادات فخار^۱، عباس کاویانی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۳

چکیده

خشکسالی یک پدیده طبیعی است که سیستم‌های مختلف اقلیمی، هیدرولوژیکی و محیطی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مدل‌سازی خشکسالی موضوع مهمی است زیرا به منظور مهار یا کاهش اثرات آن و برای حفظ منابع آبی و مدیریت اجتماعی امری مهم و ضروری تلقی می‌شود. در این پژوهش با استفاده از شاخص‌های چندگانه مبتنی بر MODIS و مجموعه داده‌های بارش CHIRPS به بررسی ویژگی‌های مکانی و زمانی، شدت و فراوانی خشکسالی در دشت قزوین در بازه زمانی ۲۰ ساله به منظور شناسایی و توصیف خشکسالی بر اساس شاخص‌های مختلف پرداخته شد. نتایج حاصل از بررسی‌ها بر اساس شاخص TCI نشان داد که در سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۲۰ حدود ۶۳٪ و ۷۶٪ از دشت به ترتیب تحت تأثیر خشکسالی متوسط تا شدید قرار دارد، با این تفاوت که نتیجه بررسی شاخص VCI در همین سال‌های بررسی شده نشان می‌دهد که تنها ۵۴٪ و ۶۷٪ از سطح منطقه تحت تأثیر، سطوح شدت خشکسالی مشابه را نشان می‌دهد. بنابراین شاخص TCI نسبت به شاخص VCI تنش خشکی نسبتاً بیشتری را برآورد کرده است. از سال ۲۰۱۴ به بعد نواحی شرق و جنوب شرقی دشت به تدریج با روند افزایشی خشکسالی روبه‌رو هستند و در سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۰ با شدت بسیار بیشتری با خشکسالی مواجه شده است. در بررسی همبستگی بین شاخص‌های مختلف نیز شاخص PDSI بیشترین میزان همبستگی را با شاخص SPI-1 با مقدار عددی ۰/۷۴ داشته است. دشت قزوین در حال حاضر به دلیل تغییرات اقلیمی و عدم بهره‌وری مناسب در استفاده و توزیع منابع آبی در معرض خشکسالی قرار دارد. بنابراین توصیه می‌شود پایش مداوم خشکسالی و استفاده از سیستم‌های هشدار اولیه در جلوگیری از وقوع احتمالی رویدادهای خشکسالی به نسبت شدید در آینده و احتمال خطرات ضمنی برای دشت قزوین مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: دامی سطح زمین، شاخص‌های متعدد خشکسالی، مجموعه داده‌های مادیس، ویژگی‌های زمانی و مکانی

مقدمه

ایجاد کند (Doughty et al., 2018). در دهه‌های اخیر به دلیل افزایش وقوع خشکسالی جامعه بین‌المللی توجه بیشتری به این موضوع داشته است (Zhou et al., 2012). کمبود منابع آب در مقایسه با شرایط عادی معمولاً به عنوان خشکسالی تعریف می‌شود و شدت خشکسالی به‌طور قابل توجهی تولیدات کشاورزی را کاهش می‌دهد (Khan et al., 2021). خشکسالی اغلب به چهار دسته اصلی خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اجتماعی-اقتصادی تقسیم‌بندی می‌شود (Sharifi et al., 2022). خشکسالی هواشناسی عمدتاً ناشی از کاهش بارندگی است و خشکسالی کشاورزی عمدتاً در کاهش تولیدات کشاورزی و تخریب جنگل‌ها و مراتع به دلیل تأمین ناکافی آب برای پوشش گیاهی ظاهر می‌شود (Souza et al., 2021). شروع خشکسالی کشاورزی اغلب با کمبود یا تعویق فصلی شروع می‌شود که منجر به افزایش تنش آبی گیاه، کاهش رطوبت خاک،

مطالعات مختلف نشان می‌دهد که در طول حیات کره زمین، تغییرات آب و هوایی بسیار زیادی صورت گرفته است که باعث شده انسان با چالش‌های گوناگونی همچون خشکسالی روبرو شود (Carrão et al., 2016). فاجعه خشکسالی بسیار پیچیده است و به خوبی درک نشده است و خشکسالی می‌تواند مشکلات اجتماعی و زیست‌محیطی همراه با خسارت‌های اقتصادی غیرقابل اندازه‌گیری را

۱- گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین

المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه

بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: Kaviani@eng.ikiu.ac.ir)

پژوهشی (Jiao et al., 2016) پیشنهاد کرد که VCI می‌تواند تأثیر خشکسالی بر سلامت پوشش گیاهی را به صورت جداگانه بررسی کند، اما VCI کافی نبود زیرا تنها یک شرایط رطوبتی را نشان می‌دهد. شاخص سلامت گیاهی (VHI)، که ترکیبی از VCI و TCI است، توسط (Kogan, 1990) معرفی شد. نتایج کوگان نشان داد که VHI یک تجزیه و تحلیل سری زمانی از اثرات رطوبت و حرارت بر روی پوشش گیاهی است و کاربرد بالقوه VHI را در تجزیه و تحلیل خشکسالی کشاورزی نشان داد. VCI، TCI، و VHI به عنوان شاخص‌های پوشش گیاهی مشخص می‌شوند زیرا شرایط پوشش گیاهی را در یک منطقه خاص توصیف می‌کنند، و منطقه را به کلاس‌های مختلف خشکسالی طبقه بندی می‌کنند و معمولاً به عنوان شاخص‌های پایش خشکسالی استفاده می‌شوند (Amalo et al., 2017). VCI به طور گسترده‌ای برای تشخیص تغییرات در پوشش گیاهی از شرایط نامطلوب به مطلوب استفاده می‌شود (Dutta et al., 2015). et al., 2015 تنش رویشی ناشی از دماهای بالا و رطوبت زیاد را تشخیص می‌دهد (Kundu et al., 2016). از طرف دیگر، VHI ترکیبی از TCI (دما) و VCI (شرایط پوشش گیاهی) است که سلامت پوشش گیاهی را توصیف می‌کند (Kirana et al., 2020). در پژوهشی جی و همکاران (Ji et al., 2018) با استفاده از داده‌های سنجش از دور و چندین شاخص خشکسالی، وضعیت خشکسالی را در استان سیچوان چین بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان از خشکسالی شدید بین بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ می‌باشد. در پژوهش دیگری بیاسا و همکاران به بررسی و مقایسه شاخص‌های مختلف خشکسالی هواشناسی و خشکسالی کشاورزی در کشور ایتوپیا پرداختند که نتایج حاصله بیانگر این بود که به‌منظور برنامه‌ریزی بهتر در مقابله با خشکسالی، بایستی تفاوت‌های بین خشکسالی کشاورزی و هواشناسی هر منطقه مشخص شود (Bayissa et al., 2019). در پژوهشی وسی و همکاران (Wassie et al., 2022) به پایش خشکسالی در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ میلادی با استفاده از سنجنده MODIS پرداختند. آن‌ها از شاخص‌های مختلفی همچون VCI، TCI و VHI برای توصیف خشکسالی کشاورزی در شمال کشور ایتوپیا استفاده کردند، نتایج حاصل از بررسی VCI نشان داد که در بازه زمانی مورد مطالعه تقریباً در تمامی سال‌ها خشکسالی کشاورزی دیده شده است. TCI نسبت به سایر شاخص‌ها تنش خشکی نسبتاً بیشتری را برآورد کرد. همچنین شاخص VHI پوشش منطقه را کمتر و سطح تنش کمتری را نسبت به شاخص‌های VCI و TCI در منطقه مورد مطالعه نشان داد. در تحقیقی عجاز و همکاران در منطقه بسیار خشک عربستان سعودی از تکنیک سنجش از دور به‌منظور پایش خشکسالی با استفاده از شاخص‌های مختلف خشکسالی هواشناسی استاندارد شده در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ استفاده شد. آن‌ها در این پژوهش به بررسی همبستگی میان

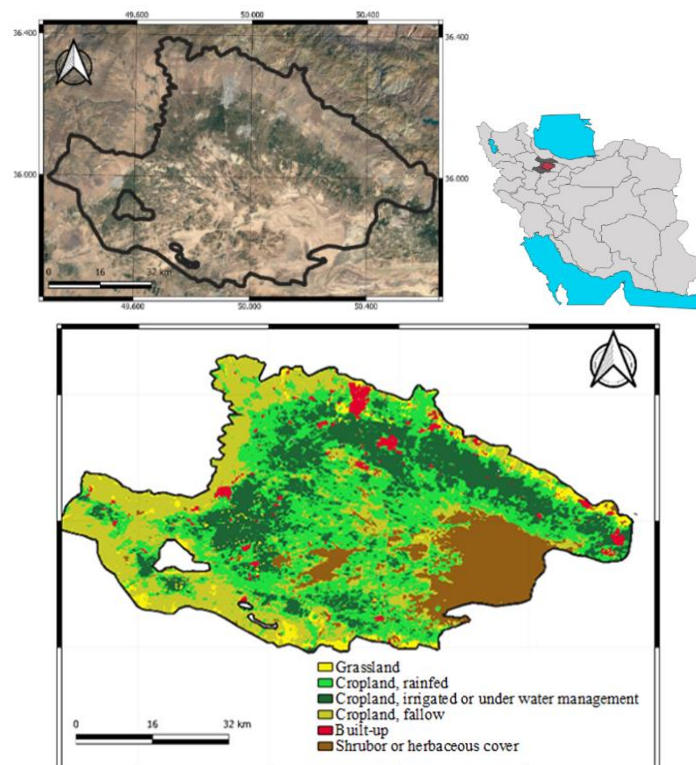
افزایش تبخیر-تعرق گیاه و از بین رفتن محصول می‌شود. تنش‌های رطوبتی و حرارتی هر دو برآورد وضعیت کلی پوشش گیاهی مهم می‌باشد (Zeng et al., 2022). خشکسالی هیدرولوژیکی به‌عنوان کمبود منابع آب سطحی و زیرزمینی تعریف می‌شود. با ارزیابی جریان رودخانه، برف و سطح دریاچه و آب زیرزمینی قابل‌اندازه‌گیری است (Qin et al., 2021). شدت خشکسالی می‌تواند به میزان قابل توجهی محتوای آب کلروفیل را کاهش دهد و بر فرآیند فتوسنتز اثر گذارد که این عامل، خشکسالی کشاورزی را تسریع می‌کند و تولیدات کشاورزی را کاهش می‌دهد (Zeng et al., 2022). بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که جمعیت جهان در ۳۰ سال بیش از ۷۰ درصد افزایش یابد که این افزایش جمعیت می‌تواند منجر به افزایش شدت خشکسالی شود که تأمین غذایی را در کشورهای مختلف با چالش روبه‌رو می‌کند (Sivakumar, 2021). متأسفانه حدود ۴۰ درصد از مردم آسیا و اقیانوسیه به دلیل خشکسالی و تغییرات آب و هوایی دچار سوء‌تغذیه و در معرض ناامنی غذایی هستند (Wang et al., 2022). تحقیقات کاربردی در مورد هر نوع خشکسالی به‌طور مؤثری باعث بهبود توانایی جامعه بشری برای واکنش به بلایای خشکسالی می‌شود (Zhao et al., 2022). در طولانی‌مدت استفاده از داده‌های محیطی و اقلیمی برای ایجاد شاخص خشکسالی مؤثرترین روش شناسایی خشکسالی در نظر گرفته شده است. در حال حاضر محققان کشورهای مختلف شاخص‌های خشکسالی مختلفی را توسعه داده‌اند (Xu et al., 2021). داده‌های ماهواره‌ای به دلیل قابلیت مکانی و زمانی خوب، ابزار مفیدی برای پایش و تخمین خشکسالی در مناطق وسیع است (Bhuiyan et al., 2006; Kogan, 1990). در پژوهشی در سال ۱۹۶۵ شخصی به نام پالمر شاخص شدت خشکسالی (PDSI) را پیشنهاد داد که اطلاعات بارش، تبخیر و تعرق، رواناب و رطوبت خاک را در قالب اصل بیلان آب در نظر می‌گیرد (Palmer, 1965). شاخص نرمال-شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص دمای سطح زمین (LST) دو پارامتر کلیدی به‌دست‌آمده از داده‌های طیفی سنجنده MODIS هستند که رطوبت و شرایط حرارتی پوشش گیاهی را نشان می‌دهد (Tucker and Choudhury, 1987). شاخص وضعیت گیاهی (VCI) و شاخص وضعیت حرارتی (TCI) دو شاخص خشکسالی هستند که به ترتیب با استفاده از مقادیر بلندمدت NDVI و LST به دست می‌آیند (Dutta et al., 2015). در سال ۱۹۹۳ مک‌کی و همکاران (McKee et al., 1993) داده‌های استاندارد شده بارش برای توسعه شاخص بارش استاندارد (SPI) ارائه داد. در حال حاضر، بسیاری از مطالعات از شاخص‌های مختلف خشکسالی برای تحقیق در مورد ویژگی‌های الگوی مکانی و زمانی خشکسالی تحت شرایط گرمایش جهانی استفاده کرده‌اند. با این حال، نتایج به‌دست‌آمده توسط مطالعات مختلف اغلب متناقض و حتی مخالف هستند. در

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در دشت قزوین، واقع در استان قزوین انجام شد. دشت قزوین با مساحتی حدود ۵۰۶۲۱۸ هکتار در محدوده‌ی طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه ۲۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی قرار دارد (Fakhar and Kaviani, 2022). این دشت در فلات مرکزی کشور قرار دارد و بر اساس نقشه طبقه‌بندی دومارتن دارای اقلیم نیمه‌خشک، است (خلیلی و همکاران، ۱۴۰۱). میانگین بارندگی سالانه این دشت بین ۳۵۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر است. میانگین دمای سالانه تقریباً ۱۵ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. دشت قزوین یکی از قطب‌های مهم کشاورزی در کشور محسوب می‌شود. از نظر کشاورزی ۷۰ درصد زمین‌های زراعی در این دشت عمدتاً شامل محصولات غلات می‌شود به طوری که بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد در نواحی مرکزی این دشت حدود ۱۸ درصد از زمین‌های زراعی این منطقه تحت کشت دیم بوده و ۲۹ درصد تحت پوشش شبکه آبیاری قرار دارد.

شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده با شاخص VCI و TCI برای یافتن ضریب همبستگی پیرسون پرداختند. به‌طور کلی، نتایج نشان داد شاخص VHI و SPEI همبستگی بهتری دارند و شاخص‌های خشکسالی برای پایش خشکسالی در مناطق فوق خشک مناسب هستند (Ejaz et al., 2023). بنابراین در این پژوهش از شاخص‌های ترکیبی خشکسالی به‌منظور بررسی تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی‌های هواشناسی و کشاورزی و تحلیل ارتباط بین آن‌ها استفاده شده است. به همین منظور برای درک بهتری از شرایط محیطی به بررسی شاخص‌های VCI، TCI و VHI در مقیاس دشت قزوین پرداخته شد. نوآوری این مقاله در استفاده از شاخص‌های مبتنی بر MODIS و مجموعه داده‌های بارش CHIRPS برای ارزیابی و پایش خشکسالی در دشت قزوین است. با استفاده از این روش، ویژگی‌های مکانی و زمانی، شدت و فراوانی خشکسالی در دشت قزوین در طول یک دوره زمانی ۲۰ ساله بررسی می‌شود. بنابراین این روش و نتایج آن می‌تواند در مدیریت منابع آبی و اقتصادی منطقه مورد استفاده قرار گیرد و به پایش مداوم خشکسالی و جلوگیری از وقوع احتمالی رویدادهای خشکسالی مفید باشد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت قزوین در محدوده مورد مطالعه و نقشه کاربری اراضی دشت قزوین در سال ۱۴۰۰

مجموعه داده‌ها و پیش‌پردازش‌ها داده‌های بارش

داده‌های بارش مورد استفاده در این مطالعه شامل مجموعه داده‌های بارش روزانه CHIRPS است (Funk et al., 2015). در حال حاضر مجموعه داده‌های بارش متنوعی وجود دارد که این مجموعه داده شامل داده‌های بارش روزانه جهانی از سال ۱۹۸۱ تا حال حاضر است. به‌عنوان مثال مجموعه داده‌های بارش رایج مانند TRMM با تفکیک مکانی ۲۵ کیلومتر، GPM تفکیک مکانی ۱۱ کیلومتر، PERSIANN با تفکیک مکانی ۲۷ کیلومتر و مجموعه داده - CHIRPS با وضوح مکانی ۵ کیلومتر امکان بررسی میزان بارش را به‌صورت روزانه و برحسب میلی‌متر فراهم می‌کند. در این پژوهش با توجه به این‌که مجموعه داده CHIRPS وضوح مکانی بالاتری را نسبت به سایر روش‌های مطرح شده دارد، بنابراین از این مجموعه داده برای بررسی استفاده شد. به‌طوری‌که می‌توان مجموعه داده‌های بارش روزانه CHIRPS را به مقادیر ماهانه تجمیع کرده و شاخص SPI را به‌صورت یک‌ماهه با علامت اختصاری SPI-1، سه‌ماهه با علامت اختصاری SPI-3 و یک‌ساله با علامت اختصاری SPI-12 محاسبه کرد. داده‌های روزانه CHIRPS را می‌توان به‌صورت روزانه از طریق پلتفرم GEE محاسبه کرد

(https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/UCSB-CHG_CHIRPS_DAILY).

داده‌های NDVI و LST

در این پژوهش از محصولات داده‌های سنجنده MODIS سری تصاویر ماهواره Terra استفاده شد. لذا از محصولات ۱۶ روزه شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) در قالب فایل MOD13A1 با قدرت تفکیک زمانی ۱۶ روز و قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر و شاخص دمای سطح زمین (LST) در قالب فایل MOD11A2 با قدرت تفکیک زمانی ۸ روزه و قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر استفاده شد. با توجه به این‌که پدیده خشکسالی به‌صورت آنی رخ نمی‌دهد و تأثیر آن بعد از گذشت چندین ماه و یا چندین سال نمایان می‌شود، لذا در این پژوهش به‌منظور بررسی تغییرات سری‌های زمانی و مکانی به بررسی تغییرات خشکسالی در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ در پلتفرم GEE^۱ پرداخته شد که در مجموع ۵۰۶ تصویر از محصول MOD13A1 و ۱۰۰۵ تصویر از محصول MOD11A2 دریافت شد.

شاخص‌های خشکسالی مورد استفاده شاخص SPI

شاخص بارش استاندارد شده (SPI) برای اولین بار توسط (McKee et al., 1993) پیشنهاد شد و به‌عنوان شاخص اولیه برای تحقیقات خشکسالی توسط سازمان جهانی هواشناسی شناخته شد (Fang et al., 2019). در دو دهه گذشته، شاخص SPI به‌طور گسترده‌ای برای تحقیقات مختلف خشکسالی استفاده شده است (Won et al., 2020). محاسبه شاخص SPI را می‌توان به دو مرحله تقسیم کرد. در گام اول برازش توزیع گاما در سری زمانی طولانی در یک بازه زمانی خاص به منظور یافتن توزیع احتمال بارش انجام می‌شود و در گام دوم توزیع احتمال گاما به توزیع نرمال به‌منظور محاسبه شاخص SPI تبدیل می‌گردد (Zhao et al., 2022). در این پژوهش شاخص SPI در دشت قزوین به‌صورت یک ماهه SPI-1، سه‌ماهه SPI-3 و یک‌ساله SPI-12 در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ محاسبه شد. هنگامی که $SPI > 0$ باشد، نشان‌دهنده بارندگی بیشتر از مقدار متوسط، و شرایط محیطی مرطوب خواهد بود، و زمانی که $SPI < 0$ باشد، نشان‌دهنده وضعیت خشک است. تابع توزیع تناوب آن به شرح زیر است.

$$F(x < x_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_0} e^{-x^2/2} dx \quad (1)$$

SPI را می‌توان با معادلات (۲) و (۳) محاسبه کرد:

$$SPI = S \frac{t - (c_2 t + c_1)t + c_0}{[d_3 t + d_2)t + d_1]t + 1.0} \quad (2)$$

$$t = \sqrt{\ln \frac{1}{F^2}} \quad (3)$$

درحالی‌که: $c_0 = 2.515517$, $c_1 = 0.802853$, $c_2 = 0.010328$,
 $F \leq 0.5$, $S = -1$ $d_1 = 1.432788$, $d_2 = 0.189269$, $d_3 = 0.001308$
 $F > 0.5$, $S = 1$;

شاخص سلامت پوشش گیاهی (VHI)

شاخص وضعیت پوشش گیاهی توسط (Kogan, 1990) پیشنهاد شد که با استفاده از شاخص‌های NDVI و LST و روابط VCI و TCI بررسی می‌شود (Kogan, 2002). VCI و TCI به ترتیب تغییرات پوشش گیاهی و دمای سطح زمین را در طول زمان و مکان منعکس می‌کنند و روش محاسبه در معادلات (۴) و (۵) نشان داده شده است. مقادیر پایین NDVI و LST بالا معمولاً با رویدادهای شدید خشکسالی همراه است. با ترکیب معادلات (۴) و (۵) می‌توان دریافت که مقادیر کوچک‌تر VCI و TCI بیانگر خشکسالی شدیدتر است. بنابراین هنگامی که یک رویداد خشکسالی شدید رخ می‌دهد، VHI مقدار کمتری دارد.

$$VCI = \frac{(NDVI - NDVI_{\min})}{(NDVI_{\max} - NDVI_{\min})} \times 100 \quad (4)$$

و TCI انتخاب شد (Liu et al., 2021) (a=0.5, b=0.5). جدول ۱. طبقه‌بندی شاخص‌های مختلف خشکسالی را نشان می‌دهد که شرایط خشکسالی در منطقه را به شش دسته تقسیم کرده است. مقادیر کوچک‌تر شاخص‌ها بیانگر شرایط خشکسالی شدیدتر است. در این پژوهش به منظور بررسی تغییرات خشکسالی به طبقه‌بندی و محاسبه مساحت شاخص‌های مختلف خشکسالی بر مبنای هوش مصنوعی در محیط GEE مطابق با جدول (۱) پرداخته شد.

$$TCI = \frac{(LST_{max} - LST)}{(LST_{max} - LST_{min})} \times 100 \quad (5)$$

$$VHI = a \times VCI + b \times TCI \quad (6)$$

که در آن $NDVI_{min}$ ، $NDVI_{max}$ ، LST_{min} و LST_{max} به ترتیب حداکثر و حداقل مقادیر NDVI و LST در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۲۱ هستند. a ضریب VCI و b ضریب TCI است. از آنجایی که تعیین سهم آب و دما در رشد پوشش گیاهی دشوار است، هنگام محاسبه VHI، ضریب وزنی مشابهی برای شاخص‌های VCI

جدول ۱- طبقه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص خشکسالی (Zhao et al., 2022)

| کلاس بندی | SPI | VHI | TCI | VCI |
|-----------|--------------------|-------------|----------|----------|
| کلاس ۱ | ترسالی | >۱ | >۵۰ | >۵۰ |
| کلاس ۲ | در حد نرمال | ۱ تا ۰ | ۴۰ تا ۵۰ | ۴۰ تا ۵۰ |
| کلاس ۳ | خفیف | ۰ تا ۰/۹۹ | ۳۰ تا ۴۰ | ۳۰ تا ۴۰ |
| کلاس ۴ | متوسط | -۱ تا -۱/۴۹ | ۲۰ تا ۳۰ | ۲۰ تا ۳۰ |
| کلاس ۵ | خشکسالی شدید | -۲ تا -۱/۵ | ۱۰ تا ۲۰ | ۱۰ تا ۲۰ |
| کلاس ۶ | خشکسالی بسیار شدید | <-۲ | <۱۰ | <۱۰ |

شاخص خشکسالی توسط متغیر زمان توضیح می‌دهد. به عبارتی اگر ضریب رگرسیونی مثبت باشد نشان‌دهنده این خواهد بود که افزایش زمان موجب افزایش مقدار شاخص خشکسالی می‌شود و در مقابل، اگر ضریب منفی باشد، افزایش زمان موجب کاهش مقدار شاخص خشکسالی می‌شود. به طور کلی نتایج حاصل نشان داد که هر شش شاخص خشکسالی روند نزولی داشته و میزان همبستگی هر یک از آن‌ها متفاوت است. اما به طور کلی دشت قزوین در بازه زمانی سال-های ۲۰۰۱ تاکنون خشک‌تر شده است. در بررسی بین شاخص‌های TCI، VCI و VHI شاخص TCI به دلیل مرتبط بودن به دمای سطح زمین بیشترین میزان همبستگی با مقدار ۰/۵۸ را داشته است. همچنین شاخص VCI با همبستگی ۰/۵۳ از همبستگی نسبتاً مناسبی برخوردار بوده است و به نظر می‌رسد شاخص VCI در مناطقی که پوشش گیاهی در آن‌ها از تراکم بسیار بالایی برخوردار هستند، از همبستگی بالاتری برخوردار باشد. به عبارتی استفاده از شاخص VCI به منظور بررسی ترسالی از دقت مناسبی برخوردار خواهد بود. شاخص VHI نیز که برای بررسی سلامت گیاه بررسی شده است از همبستگی کمتری (با مقدار عددی ۰/۲۳) برخوردار است که دلیل این همبستگی کم می‌تواند ناشی از خشک‌تر شدن منطقه و کاهش سطح پوشش گیاهی باشد. زیرا خشک‌تر شدن منطقه منجر به کاهش سطح زیر کشت اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری و افزایش اراضی تحت پوشش دیم می‌شود. افزایش سطح اراضی تحت پوشش دیم به دلیل عدم تراکم بالای شاخص سطح برگ و شاخص پوشش گیاهی می‌تواند مقدار همبستگی شاخص VHI را در سال‌های مختلف تحت تأثیر قرار دهد.

با توجه به سیستم طبقه‌بندی خشکسالی ارائه‌شده در جدول ۱، در این پژوهش فراوانی، مدت و شدت خشکسالی در دشت قزوین در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۲۱ تجزیه و تحلیل شد. محاسبه فراوانی خشکسالی در رابطه (۷) نشان داده شده است:

$$f = \frac{m}{n} \times 100\% \quad (7)$$

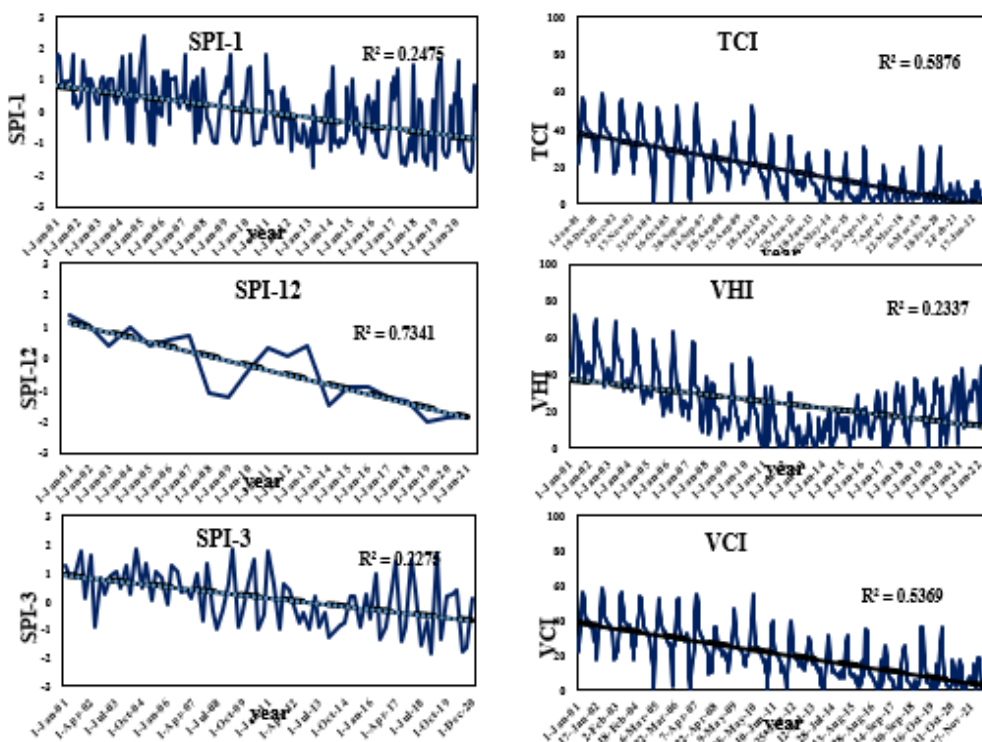
که در آن f فراوانی خشکسالی، m تعداد ماه‌های خشک و n تعداد ماه‌های موجود در بازه زمانی مورد بررسی، می‌باشد.

نتایج و بحث

به منظور بررسی تغییرات مکانی و زمانی در دشت قزوین و تفاوت‌های بین شاخص‌های مختلف خشکسالی، روند سری زمانی، الگوی توزیع مکانی، شناسایی شدت خشکسالی و همبستگی هر شاخص با نتایج حاصل از PDSI مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. نتایج برای شاخص‌های مختلف نشان داد که دشت قزوین در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ به تدریج در معرض خشکسالی قرار گرفته است.

مقایسه سری زمانی

به منظور بررسی ویژگی‌های زمانی خشکسالی در ۲۰ سال اخیر در دشت قزوین به تعیین میزان همبستگی برای محاسبه سری‌های زمانی شاخص‌های مختلف خشکسالی منطقه در شکل (۲) پرداخته شد. بنابراین برای درک بهتر ارتباط شاخص‌های خشکسالی در طول زمان از ضریب تبیین استفاده شد که میزان تغییرات مقدار عددی



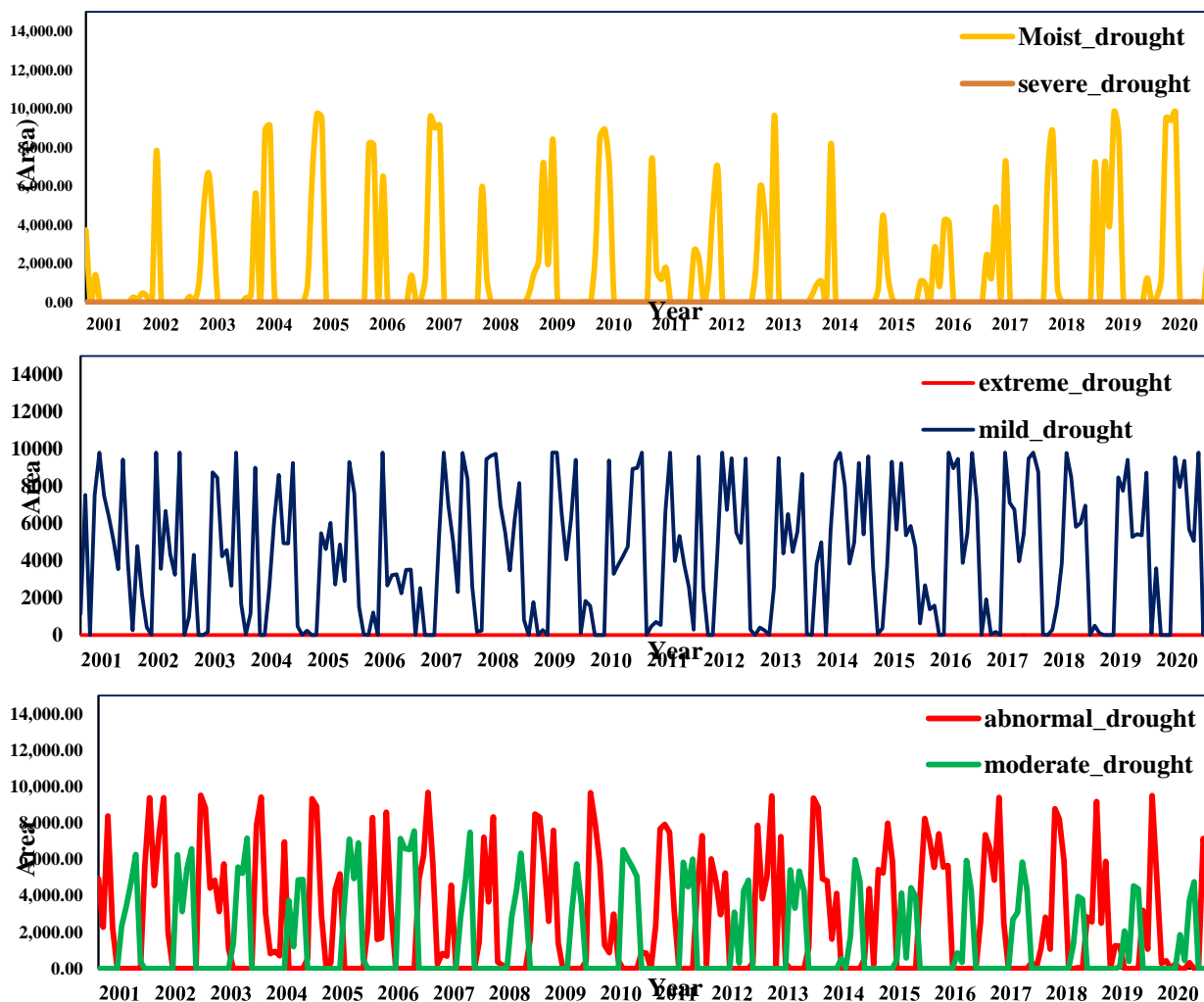
شکل ۲- سری زمانی شاخص‌های مختلف خشکسالی در دشت قزوین

خشکسالی‌های شدید و فراگیر را این شاخص با مقدار عددی صفر برآورد کرده است. با توجه به این که این شاخص بر اساس مجموعه داده‌های بارش روزانه CHIRPS که قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰۰ متر را برخوردار هستند، بررسی می‌کند؛ بنابراین انتظار این را نیز بایستی داشت که برآوردها در بعضی از کلاس‌ها از دقت مناسبی برخوردار نباشد. بررسی فراوانی خشکسالی می‌تواند در توصیف خشکسالی کشاورزی و برنامه‌ریزی بهتر در مقابله با خشکسالی از اهمیت بالایی برخوردار باشد. شکل (۴) فراوانی، مدت و شدت خشکسالی را در دشت قزوین در بازه زمانی سال‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. فراوانی خشکسالی بر اساس شاخص SPI-1 نشان می‌دهد که فراوانی خشکسالی در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ با روند افزایشی همراه بوده است و در مقابل در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۷ در بازه ترسالی نرمال تا متوسط قرار داشته است. شاخص‌های SPI-3 و SPI-12 نیز از روند تقریباً مشابهی تبعیت می‌کنند و در محدوده سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۱ در طبقه‌بندی خشکی متوسط قرار گرفته است. در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۷ در محدوده مقدار عددی ۱/۵ قرار دارد که نشان‌دهنده وقوع ترسالی در سال‌های مذکور است. در ادامه در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰ روند خشکسالی با شیب به نسبت ملایمی با روند افزایشی روبه‌رو شده است که نهایتاً در سال-

بررسی شاخص‌های خشکسالی مربوط به بارش، SPI-1، SPI-3، SPI-12 و SPI-12 نشان داد که این شاخص‌ها از روند معنی‌داری برخوردار هستند. به طوری که شاخص SPI-12 بیشترین میزان همبستگی (با مقدار ۰/۷۳) را در بین دو شاخص دیگر داشته است. با توجه به این که در شاخص SPI-1 روند تغییرات به صورت ماهانه مورد بررسی قرار می‌گیرد، بنابراین تغییرات دمایی و تغییرات بارش و روند نوسانی بودن این تغییرات در ماه‌های مختلف ممکن است موجب کاهش میزان همبستگی این شاخص شود. اما در حالت SPI-12 به دلیل بررسی تغییرات به صورت میانگین سالانه در کل منطقه از میزان نوسانات کمتری برخوردار بوده و همبستگی بیشتری را خواهد داشت. با توجه به اهمیت بررسی روند تغییرات کاربری اراضی و تغییرات مساحت اراضی مختلف و شاخص‌های خشکسالی، در شکل ۳. به بررسی و تغییرات خشکسالی در دشت قزوین در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ پرداخته شد. در این پژوهش بر اساس جدول (۱)، طبقه‌بندی شدت خشکسالی به ۶ کلاس و مساحت هر کلاس در هر سال محاسبه شد. بررسی نتایج نشان می‌دهد بیشترین مساحت از منطقه را نواحی مرطوب (Moist) تشکیل می‌دهد. روند تغییرات آن نشان می‌دهد که در طی سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ کمترین مساحت مناطق مرطوب در طی زمان مورد بررسی را داشته است. شاخص‌های

این است که این شاخص‌ها هر چه از مقدار عددی ۱۰۰ فاصله داشته باشند، نشان از افزایش خشکسالی در منطقه خواهد داشت. بررسی این شاخص‌ها در شکل (۴) نشان می‌دهد این شاخص‌ها در محدوده مقدار عددی کمتر از ۵۰ از فراوانی بیشتری برخوردار هستند.

های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۰ با افزایش چشمگیری به وقوع پیوسته است. این امر می‌تواند حاکی از شرایط تنش دمایی و همچنین تنش ناشی از رطوبت در طی سال‌های اخیر باشد. به‌طور کلی شاخص SPI-12 نشان داد که در هفت سال اخیر کل منطقه مورد مطالعه دارای فراوانی خشکسالی بالایی است. بررسی شاخص‌های VCI و TCI نیز بیانگر



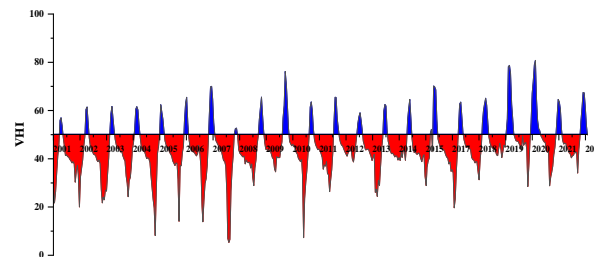
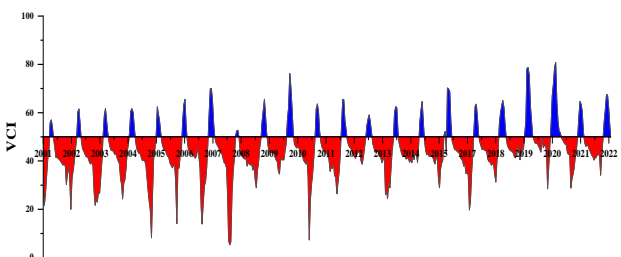
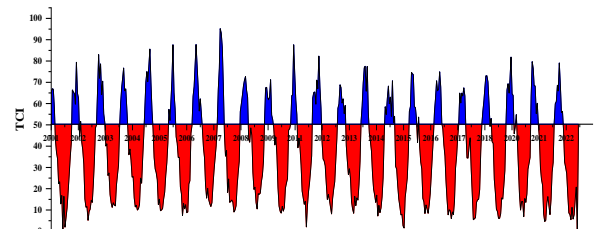
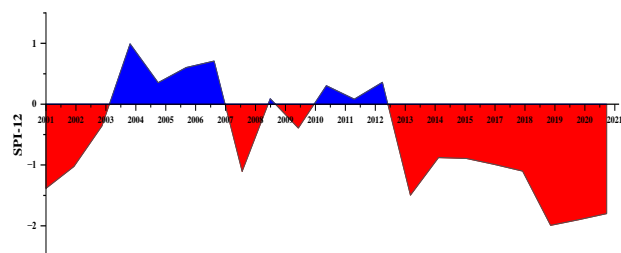
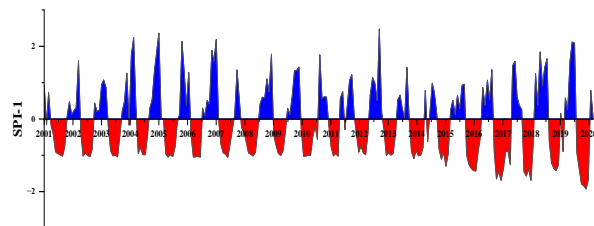
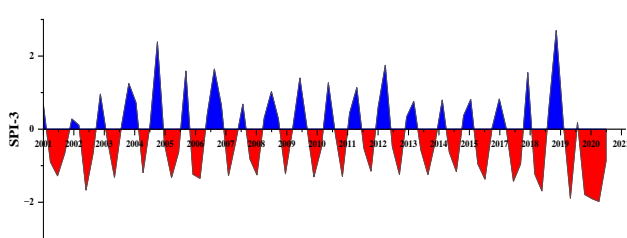
شکل ۳- بررسی مساحت خشکسالی بر اساس شاخص SPI

مناسبی بوده است که این میزان بارش سبب برآورد میزان میانگین شاخص SPI-12 در همین نواحی با میانگین بالاتر از یک شده است؛ که شامل نواحی بدون خشکسالی می‌شود. اما در دهه دوم سال‌های بررسی شده نشان می‌دهد که از میزان بارندگی در دشت به شدت کاسته شده و حتی نواحی که در دهه ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ دارای مقدار بارندگی مناسبی بودند، در دهه ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ با کاهش چشمگیر بارندگی روبرو شده‌اند که همین کاهش بارندگی در تعیین میزان شاخص SPI نقش مؤثری داشته است. به طوری که مناطقی که دارای

شکل (۵) به بررسی میانگین میزان بارش بر اساس مجموعه داده CHIRPS و شاخص SPI-12 حاصل از این مجموعه داده پرداخته است. نتایج به صورت میانگین دو دهه خروجی گرفته شده است. به این معنی که در شکل ۵-الف به بررسی میانگین میزان بارش در طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ و شکل ۵-ب میانگین بارش در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ را نشان می‌دهد. خروجی‌های به دست آمده بیانگر این موضوع می‌باشد که در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ نواحی شمال و شمال غرب دشت دارای میانگین بارندگی به نسبت

مناطقى که در محدوده مناطق به نسبت خشک قرار داشتند، با افزایش ۱۸ درصدی همراه است.

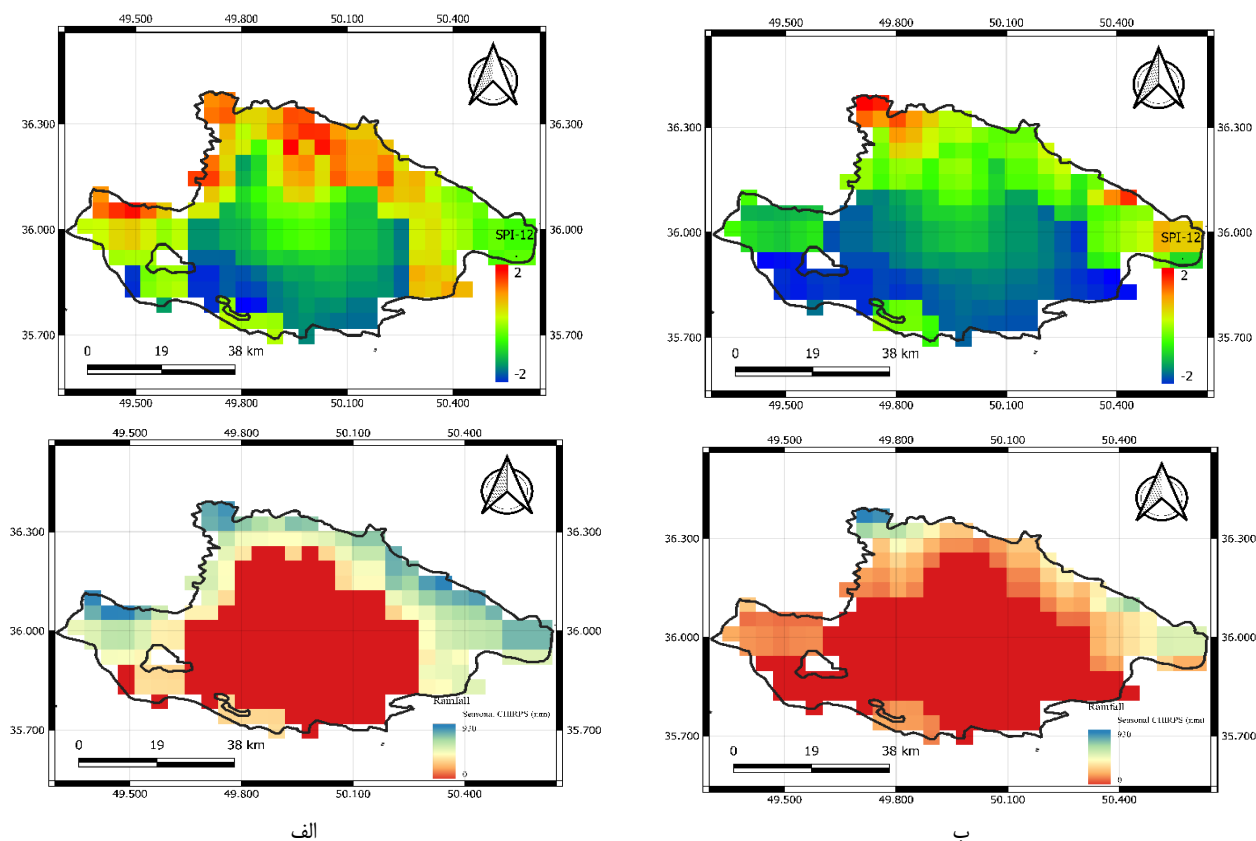
مقادیر SPI بالایی بودند در دهه ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ با کاهش بسیار زیادی مواجه شده‌اند. بررسی نواحی مرکزی نیز نشان می‌دهد مساحت



شکل ۴- بررسی روند شاخص‌های خشکسالی در طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ در دشت قزوین

۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ نشان می‌دهد، سطح اراضی که در کلاس ۴ و ۵ قرار می‌گیرد در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ به ترتیب حدود ۱۸ و ۳۱ درصد بیشتر از سال ۲۰۰۱ است. در بازه سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۳ به جز سال‌ها ۲۰۱۰ که خشکسالی به نسبت بالایی دیده می‌شود، در مابقی سال‌ها تقریباً روند یکسانی در دشت قزوین دارد. اما از سال ۲۰۱۴ به بعد ملاحظه می‌شود که نواحی شرق و جنوب شرقی دشت به تدریج با روند افزایشی خشکسالی روبه‌رو هستند و در سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۰ با شدت بسیار بیشتری با خشکسالی مواجه شده است. با توجه به اینکه قسمتی از ناحیه شرقی دشت قزوین را شوره‌زار تشکیل می‌دهد؛ این مناطق بیشتر در معرض خشکسالی شدید قرار دارد و این موضوع در شکل ۶ نیز قابل ملاحظه است. بنابراین شاخص TCI با توجه به نقشه کاربری دشت قزوین با دقت به نسبت مناسبی توانسته است، کلاس‌بندی خشکسالی را در دشت اجرا کند.

شاخص LST دمای تابشی به پوسته زمین است که از تابش مادون قرمز حاصل می‌شود (Frey et al., 2012). مقدار LST بالا در طول فصل رشد پوشش گیاهی یکی از موارد مهم بررسی محسوب می‌شود. زیرا LST بالا باعث افزایش تنش گیاهی از طریق افزایش تبخیر و تعرق می‌شود و عملکرد محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Liou and Mulualem, 2019). به همین منظور، سری زمانی LST و TCI برای توصیف شرایط خشکسالی در طول دوره مورد مطالعه، محاسبه شد (شکل ۶). نتایج نشان داد در طی سال‌های ۲۰۰۵، ۲۰۰۶، ۲۰۱۱، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ شاخص TCI مقدار عددی بیشتری را نشان داده است و در نتیجه بیش از ۹۵ درصد منطقه در هر سال عاری از خشکسالی می‌باشد. بررسی روند خشکسالی‌ها نشان می‌دهد، خشکسالی عموماً تنها در یک سال رخ نمی‌دهد و تقریباً روند تدریجی را به همراه داشته است. به طوری که بررسی‌های سال‌های

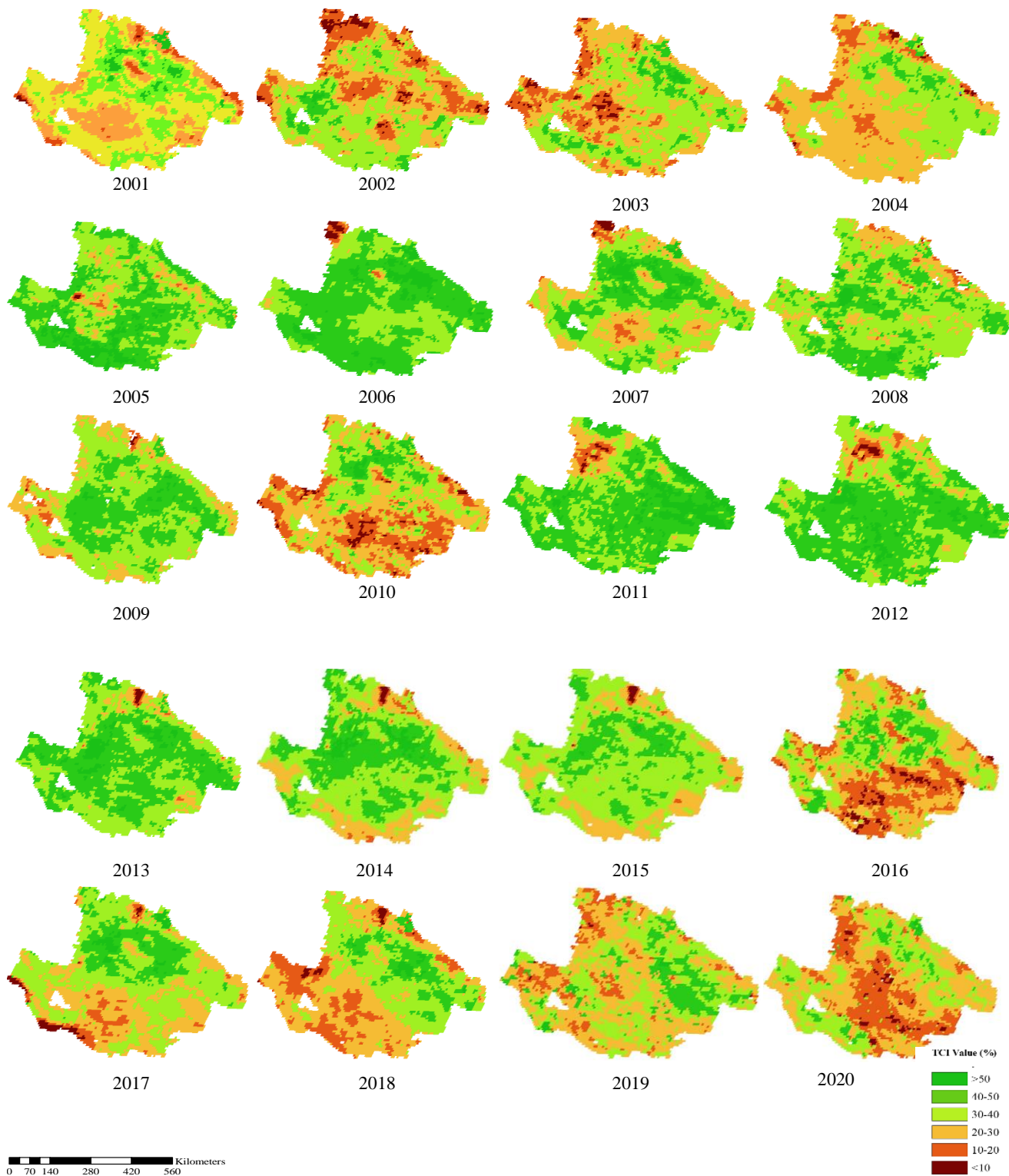


شکل ۵- بررسی میانگین شاخص SPI-12 و بارش فصلی در (الف) دهه ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ و (ب) دهه ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰

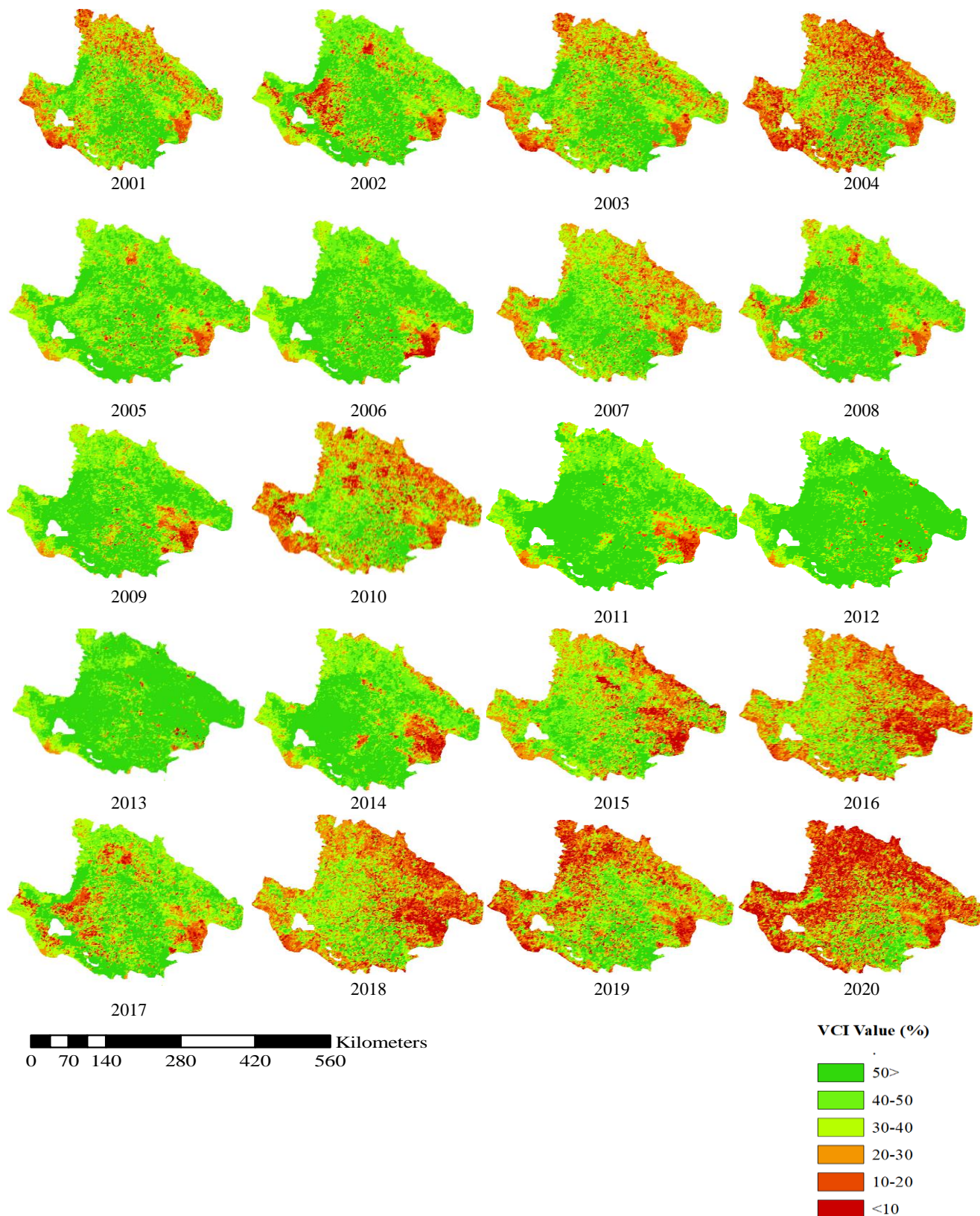
شاخص‌ها نسبت داد.

در ادامه به منظور بررسی دقت تمامی شاخص‌های بررسی شده از شاخص PDSI استفاده شد. شاخص PDSI نقطه عطفی در توسعه شاخص‌های خشکسالی است. این شاخص می‌تواند هم میزان رطوبت (مقدار مثبت) و هم خشکی (مقادیر منفی) را بر اساس مفهوم عرضه و تقاضا در معادله بیلان آب اندازه بگیرد. و به این ترتیب ترکیبی از بارش، ذخیره رطوبت، رواناب و پتانسیل تبخیر در سطح زمین را شامل می‌شود. بنابراین این شاخص مطابق با سایر شاخص‌ها در بازه زمانی مورد مطالعه برآورد شد و در نهایت به بررسی ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص PDSI و شاخص‌های دیگر مورد ارزیابی در این پژوهش پرداخته شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که شاخص PDSI بیشترین میزان همبستگی را با شاخص SPI-1 با ضریب همبستگی ۰/۷۴ و کمترین میزان همبستگی را با شاخص TCI با ضریب همبستگی ۰/۴۳ داراست.

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که بر اساس شاخص TCI در سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۲۰ حدود ۶۳٪ و ۷۶٪ به ترتیب تحت تأثیر خشکسالی متوسط تا شدید قرار دارد. با این تفاوت که نتیجه بررسی شاخص VCI در شکل ۷ نشان می‌دهد که تنها ۵۴/۱٪ و ۶۷/۳٪ از سطح منطقه تحت تأثیر سطوح شدت خشکسالی مشابه هستند. که به نظر می‌رسد خشکسالی رخ داده در منطقه بیشتر تحت تأثیر کمبود آب در سطح منطقه بوده و عامل اصلی محدودکننده رشد پوشش گیاهی و منجر به خشکسالی کشاورزی در منطقه شده و افزایش دما از تأثیر کمتری برخوردار بوده است. بررسی شاخص VCI نشان می‌دهد که این شاخص نیز همچون شاخص TCI در بررسی و کلاس بندی خشکسالی به خوبی عمل کرده و نتایج مشابه با شاخص TCI را ارائه نموده است. با توجه به این که در برآورد این شاخص از محصول MOD13A1 با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر استفاده شده است، لذا از دیگر دلایل اختلاف مساحت کلاس‌های ارائه شده توسط شاخص VCI با شاخص TCI را می‌توان به اختلاف وضوح مکانی این



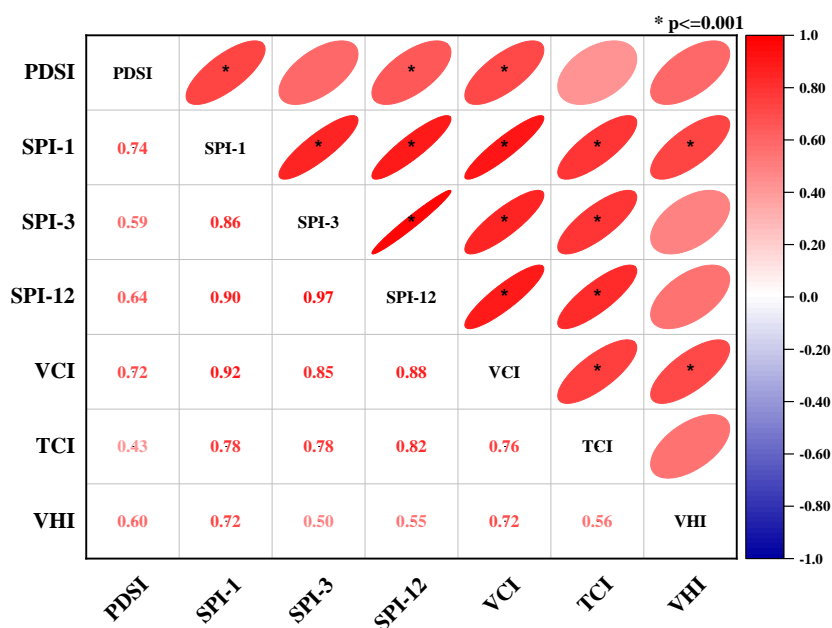
شکل ۶- بررسی خشکسالی بر اساس کلاس بندی سری زمانی مقادیر TCI در بازه زمانی سالهای ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰



شکل ۷- بررسی خشکسالی بر اساس کلاس‌بندی سری زمانی مقادیر VCI در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰

ترتیب با میزان همبستگی ۰/۷۲، ۰/۵۰ و ۰/۵۵ داشته است که تنها شاخص SPI-1 در سطح $P < 0/001$ نتایج معناداری ارائه کرده است. بررسی همبستگی شاخص‌های VCI، TCI و VHI نیز نشان داد که این شاخص‌ها نیز از همبستگی مناسبی با یکدیگر برخوردار هستند.

در بررسی شاخص PDSI با شاخص‌های SPI-3 و SPI-12 نیز مشخص شد که این شاخص توانسته است با مقدار $P < 0/001$ نتایج معناداری را داشته باشد. بررسی شاخص SPI-1، SPI-3 و SPI-12 نشان می‌دهد که این شاخص‌ها بیشترین میزان همبستگی را با شاخص VCI و کمترین میزان همبستگی را با شاخص VHI به



شکل ۸- نمودار ماتریس همبستگی بین شاخص‌های مختلف برآوردشده

نتیجه‌گیری

شاخص SPI نقش مؤثری داشته است. با توجه به اهمیت بررسی روند تغییرات خشکسالی در منطقه، شدت خشکسالی به ۶ کلاس طبقه‌بندی و مساحت هر کلاس در هر سال به دست آمد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که از سال ۲۰۱۴ نواحی شرق و جنوب شرقی دشت به تدریج با روند افزایشی خشکسالی روبه‌رو هستند و در سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۰ با شدت بسیار بیشتری با خشکسالی مواجه شده‌اند. بررسی مساحت کلاس‌بندهای انجام‌شده بین دو شاخص TCI و VCI نشان داد بر اساس شاخص TCI در سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۲۰ حدود ۶۳٪ و ۷۶٪ به ترتیب تحت تأثیر خشکسالی متوسط تا شدید قرار دارد. با این تفاوت که نتیجه بررسی شاخص VCI در شکل ۷ نشان می‌دهد که تنها ۱/۵۴٪ و ۳/۶۷٪ از سطح منطقه تحت تأثیر سطوح شدت خشکسالی مشابه بوده است و احتمال رخداد خشکسالی بر اساس کمبود آب در سطح منطقه را نشان می‌دهد. بررسی فراوانی خشکسالی بر اساس شاخص SPI-12 نشان داد که در هفت سال اخیر کل منطقه مورد مطالعه دارای فراوانی خشکسالی به نسبت بالایی بوده است و درصدی از آن ناشی از کاهش بارندگی و افزایش دما در سطح منطقه است. در ادامه به منظور برآورد دقت شاخص‌های برآوردی از

در طی سال‌های اخیر پیشرفت‌های زیادی در زمینه بررسی خشکسالی با استفاده از سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفته است. در این پژوهش به منظور پایش خشکسالی در منطقه از شاخص VCI، TCI، VHI استفاده و نتایج حاصل از آن با شاخص SPI در دشت قزوین به صورت یک‌ماهه SPI-1، سه‌ماهه SPI-3 و یک‌ساله SPI-12 مقایسه شد. بررسی خروجی‌های بارش و شاخص SPI حاصل از مدل CHIRPS نشان داد که در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ نواحی شمال و شمال غرب دشت دارای میانگین بارندگی به نسبت مناسبی بوده است که این میزان بارش سبب برآورد میزان میانگین شاخص SPI-12 در همین نواحی با میانگین بالاتر از یک شده است که شامل نواحی بدون خشکسالی می‌شود. اما در دهه دوم سال‌های بررسی شده نشان می‌دهد که میزان بارندگی در دشت به شدت کاسته شده و حتی نواحی که در دهه ساله ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ دارای مقدار بارندگی مناسبی بودند در دهه ساله ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ با کاهش چشمگیر بارندگی روبه‌رو شده و همین کاهش بارندگی در تعیین میزان

718–748.

Bhuiyan, C., Singh, R.P. and Kogan, F.N. 2006. Monitoring drought dynamics in the Aravalli region (India) using different indices based on ground and remote sensing data. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 8, 289–302.

Carrão, H., Naumann, G. and Barbosa, P. 2016. Mapping global patterns of drought risk: An empirical framework based on sub-national estimates of hazard, exposure and vulnerability. *Glob. Environ. Chang.* 39, 108–124.

Doughty, R., Xiao, X., Wu, X., Zhang, Y., Bajgain, R., Zhou, Y., Qin, Y., Zou, Z., McCarthy, H. and Friedman, J. 2018. Responses of gross primary production of grasslands and croplands under drought, pluvial, and irrigation conditions during 2010–2016, Oklahoma, USA. *Agric. Water Manag.* 204: 47–59.

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). *Egypt. J. Remote Sens. Sp. Sci.* 18: 53–63.

Ejaz, N., Bahrawi, J., Alghamdi, K.M., Rahman, K.U. and Shang, S. 2023. Drought Monitoring Using Landsat Derived Indices and Google Earth Engine Platform: A Case Study from Al-Lith Watershed, Kingdom of Saudi Arabia. *Remote Sens.* 15: 984.

Fakhar, M.S. and Kaviani, A. 2022. Estimation of actual evapotranspiration using automatic calibration in PY_SEBAL and METRIC algorithms in Qazvin plain. *Iranian Journal of. Soil Water Research.*

Fang, W., Huang, S., Huang, Q., Huang, G., Wang, H., Leng, G., Wang, L. and Guo, Y. 2019. Probabilistic assessment of remote sensing-based terrestrial vegetation vulnerability to drought stress of the Loess Plateau in China. *Remote Sens. Environ.* 232: 111290.

Frey, C.M., Kuenzer, C. and Dech, S. 2012. Quantitative comparison of the operational NOAA-AVHRR LST product of DLR and the MODIS LST product V005. *International Journal of Remote Sensing.* 33: 7165–7183.

Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L. and Hoell, A. 2015. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data.* 2: 1–21.

Jiao, w., Zhang, l., Q. Chang, D. Fu, Y. Cen, and Q. Tong. 2016. Evaluating an enhanced vegetation condition index (VCI) based on VIUPD for drought monitoring in the continental United States. *Remote Sensing.* 8(3): 224. doi: 10.3390/rs8030224.

Ji, T., Li, G., Yang, H., Liu, R. and He, T. 2018.

شاخص PDSI استفاده شد. از جمله مزایای این شاخص، مقیاس زمانی طولانی است. شاخص PDSI به‌طور مداوم توسط محققان مختلف بهبود یافت و در نهایت شاخص خودتنظیم پالمر معرفی شد که به‌طور قابل ملاحظه‌ای مقایسه‌ی مکانی و پایش وقایع خشک و مرطوب را فراهم کرد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که شاخص PDSI بیشترین میزان همبستگی را با شاخص SPI-1 و با ضریب همبستگی ۰/۷۴ را داشته است. همچنین نتایج ماتریس همبستگی نشان داد که شاخص‌های VCI، VCI و TCI نیز از همبستگی مناسبی با یکدیگر برخوردار هستند. با توجه به این که در این پژوهش از چندین شاخص خشکسالی استفاده شده است لذا نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که بررسی و پایش خشکسالی بر اساس داده‌های سنجش‌از‌دور به‌منظور پایش و بررسی خشکسالی در مناطقی که فاقد داده‌های مشاهداتی حاصل از برداشت‌های زمینی می‌باشد، بسیار سودمند بوده و از دقت قابل قبولی برخوردار هستند. با توجه به این که دشت قزوین جزء یکی از دشت‌های مرغوب کشور به شمار می‌رود در حال حاضر به دلیل تغییرات اقلیمی و عدم بهره‌وری مناسب در استفاده و توزیع منابع آبی در معرض خشکسالی قرار داد. این تا حدی نشان‌دهنده وقوع احتمالی رویدادهای خشکسالی در آینده (خطر خشکسالی) و احتمال خطرات ضمنی برای دشت قزوین است. بنابراین توصیه می‌شود با توجه به نقشه توپوگرافی منطقه در هدایت توزیع بارندگی و در نتیجه در نظر گرفتن دسترسی به آب برای رشد کشاورزی و تأمین نیاز غذایی، تمرکز و توجه بیشتری بر این منطقه شود تا از بروز مشکلات اجتماعی و زیست‌محیطی که ممکن است با خسارت‌های اقتصادی غیرقابل اندازه‌گیری همراه باشد، تا حد ممکن جلوگیری شود.

منابع

- خلیلی، ع.، بذرافشان، ج. و چراغعلی‌زاده، م. ۱۴۰۱. بررسی تطبیقی نقشه‌های اقلیمی ایران در طبقه‌بندی دمارتن گسترش داده شده و کاربست روش برای پهنه بندی اقلیم جهان. ۱۰ (۱): ۳–۱۶.
- Amalo, L.F.; Hidayat, R. 2017. Comparison between remote-sensing-based drought indices in East Java. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*; IOP Publishing: Bristol, UK.
- AghaKouchak, A., Farahmand, A., Melton, F.S., Teixeira, J., Anderson, M.C., Wardlow, B.D. and Hain, C.R., 2015. Remote sensing of drought: Progress, challenges and opportunities. *Rev. Geophys.* 53: 452–480.
- Bayissa, Y.A., Tadesse, T., Svoboda, M., Wardlow, B., Poulsen, C., Swigart, J. and Van Andel, S.J. 2019. Developing a satellite-based combined drought indicator to monitor agricultural drought: A case study for Ethiopia. *GIScience Remote Sens.* 56:

- adaptation, and sustainability. *Clim. Resil. Environ. Sustain. Approaches Glob. Lessons Local Challenges*. 87–109.
- Souza, A.G.S.S., Neto, A.R. and de Souza, L.L. 2021. Soil moisture-based index for agricultural drought assessment: SMADI application in Pernambuco State-Brazil. *Remote Sensing of Environment*. 252: 112124.
- Tucker, C.J. and Choudhury, B.J., 1987. Satellite remote sensing of drought conditions. *Remote Sensing. Environ.* 23: 243–251.
- Wang, L., Chen, W., Fu, Q., Huang, G., Wang, Q., Chotamonsak, C. and Limsakul, A. 2022. Super droughts over East Asia since 1960 under the impacts of global warming and decadal variability. *International Journal of Climatology*. 42: 4508–4521.
- Wassie, S.B., Mengistu, D.A. and Birlie, A.B. 2022. Agricultural drought assessment and monitoring using MODIS-based multiple indices: the case of North Wollo, Ethiopia. *Environmental Monitoring and Assessment*. 194(11): 787.
- Won, J., Choi, J., Lee, O. and Kim, S. 2020. Copula-based Joint Drought Index using SPI and EDDI and its application to climate change. *Science of the Total Environment*. 744: 140701.
- Xu, H., Wang, X. and Zhao, C., 2021. Drought sensitivity of vegetation photosynthesis along the aridity gradient in northern China. *The International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 102: 102418.
- Zeng, J., Zhang, R., Qu, Y., Bento, V.A., Zhou, T., Lin, Y., Wu, X., Qi, J., Shui, W. and Wang, Q. 2022. Improving the drought monitoring capability of VHI at the global scale via ensemble indices for various vegetation types from 2001 to 2018. *Weather and Climate Extremes*. 35: 100412.
- Zhao, X., Xia, H., Liu, B. and Jiao, W. 2022. Spatiotemporal comparison of drought in Shaanxi–Gansu–Ningxia from 2003 to 2020 using various drought indices in google earth engine. *Remote Sensing*. 14: 1570.
- 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: 1755–1779.
- Zhou, X., Wang, P., Tansey, K., Zhang, S., Li, H. and Wang, L. 2020. Developing a fused vegetation temperature condition index for drought monitoring at field scales using Sentinel-2 and MODIS imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*. 168: 105144.
- Comprehensive drought index as an indicator for use in drought monitoring integrating multi-source remote sensing data: a case study covering the Sichuan-Chongqing region. *International Journal of Remote Sensing*. 39: 786–809.
- Kirana, A.; Ariyanto, R.; Ririd, A.; Amalia, E. Agricultural drought monitoring based on vegetation health index in East Java Indonesia using MODIS Satellite Data. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*; IOP Publishing: Bristol, UK, 2020.
- Khan, M.I., Zhu, X., Jiang, X., Saddique, Q., Saifullah, M., Niaz, Y. and Sajid, M. 2021. Projection of future drought characteristics under multiple drought indices. *Water* 13: 1238.
- Kogan, F. 2002. World droughts in the new millennium from AVHRR-based vegetation health indices. *Eos, Trans. Am. Geophys. Union* 83: 557–563.
- Kogan, F.N., 1990. Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. *International Journal of Remote Sensing*. 11: 1405–1419.
- Kundu, A.; Dwivedi, S. and Dutta, D. 2016. Monitoring the vegetation health over India during contrasting monsoon years using satellite remote sensing indices. *Arab. Journal of Geosciences*. 9: 1–15
- Liou, Y.-A. and Muluaem, G.M. 2019. Spatio-temporal assessment of drought in Ethiopia and the impact of recent intense droughts. *Remote Sensing*. 11: 1828.
- Liu, Qi, Zhang, J., Zhang, H., Yao, F., Bai, Y., Zhang, S., Meng, X. and Liu, Quan. 2021. Evaluating the performance of eight drought indices for capturing soil moisture dynamics in various vegetation regions over China. *Science of the Total Environment*. 789: 147803.
- McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales, in: *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*. Boston. 179–183.
- Palmer, W.C. 1965. *Meteorological drought*. US Department of Commerce, Weather Bureau.
- Qin, Q., Wu, Z., Zhang, T., Sagan, V., Zhang, Z., Zhang, Y., Zhang, C., Ren, H., Sun, Y. and Xu, W., 2021. Optical and thermal remote sensing for monitoring agricultural drought. *Remote Sensing*. 13: 5092.
- Sharifi, A., Mahdipour, H., Moradi, E. and Tariq, A. 2022. Agricultural field extraction with deep learning algorithm and satellite imagery. *J. Indian Soc. Remote Sensing*. 1–7.
- Silleos, N.G., Alexandridis, T.K., Gitas, I.Z. and Perakis, K. 2006. Vegetation indices: advances made in biomass estimation and vegetation monitoring in the last 30 years. *Geocarto International*. 21: 21–28.
- Sivakumar, M. 2021. Climate change, agriculture

Evaluation and Monitoring of Drought in Qazvin Plain Using MODIS Based Indicators in Google Earth Engine System

M. S. Fakhar¹, A. Kaviani^{2*}

Received: Mar.07, 2023

Accepted: Sep.25, 2023

Abstract

Drought is a natural phenomenon that affects different climatic, hydrological and environmental systems. Drought modeling is an important issue because it is considered important and necessary in order to contain or reduce its effects and to preserve water resources and social management. In this research, by using multiple indicators based on MODIS and CHIRPS precipitation data set, to investigate the spatial and temporal characteristics, intensity and frequency of drought in Qazvin plain in a 20-year period in order to identify and describe drought based on different indicators. The results of the surveys based on the TCI index showed that in 2004 and 2020, about 63% and 76% of the plain is under the influence of moderate to severe drought, with the difference that the result of the VCI index survey in the same year The analyzed data show that only 54.1% and 67.3% of the affected area show similar drought intensity levels. Therefore, the TCI index has estimated relatively more drought stress than the VCI index. From 2014 onwards, the eastern and southeastern areas of the plain are gradually facing an increasing trend of drought, and in the years 2018 to 2020, drought has been faced with much greater intensity. In examining the correlation between different indices, the PDSI index has the highest correlation with the SPI-1 index with a numerical value of 0.74. Qazvin plain is currently exposed to drought due to climate changes and lack of proper productivity in the use and distribution of water resources. Therefore, it is recommended that continuous monitoring of drought and the use of early warning systems are effective in preventing the possible occurrence of severe drought events in the future and the possibility of implicit risks for Qazvin Plain.

Keywords: Land surface temperature, MODIS dataset, Multiple drought indices, Temporal and spatial characteristics

1- Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

2- Associate professor, Department of Water Sciences and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

(*- Corresponding Author Email: kaviani@eng.ikiu.ac.ir)