



فصلنامه علوم محیطی، دوره بیست و یکم، شماره ۳، پائیز ۱۴۰۲

۱۹۵-۲۱۲

مقاله پژوهشی

ارزیابی تطبیقی نمایه‌های خشکسالی استنتاجی از داده‌های سنجش از دور و هواشناسی در غرب میانه ایران

حمید نظری پور^{۱*}، حسین جهانتیغ^۲ و مختار جعفری^۳

^۱ گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

^۲ دانشکده منابع طبیعی، مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران

^۳ گروه جغرافیا و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه گلستان، گلستان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۴/۲۴

نظری پور، ح.، ح. جهانتیغ و م. جعفری. ۱۴۰۲. ارزیابی تطبیقی نمایه‌های خشکسالی استنتاجی از داده‌های سنجش از دور و هواشناسی در غرب میانه ایران. فصلنامه علوم محیطی. ۲۱(۳): ۱۹۵-۲۱۲.

سابقه و هدف: خشکسالی بعنوان یکی از مخاطرات طبیعی عمده، بر محیط زیست، جامعه، کشاورزی و اقتصاد تأثیر می‌گذارد. نمایه‌های متعددی برای کمی‌سازی خشکسالی بر مبنای داده‌های زمینی و سنجش از دور توسعه یافته‌اند. روش‌های سنتی کمی‌سازی خشکسالی مبتنی بر داده‌های هواشناسی و معیارهای قراردادی بوده و معمولاً در زمان واقعی نزدیک در دسترس نمی‌باشند. از سوی دیگر، داده‌های مبتنی بر سنجش از دور، پیوسته در دسترس بوده و می‌توانند برای تشخیص چندین جنبه و مشخصه خشکسالی مورد استفاده قرار گیرند. هدف از این پژوهش، بررسی و مقایسه نمایه‌های مختلف استنتاجی از داده‌های سنجش از دور و هواشناسی برای پایش خشکسالی مقیاس محلی (بخش شرقی استان کردستان) می‌باشد.

مواد و روش‌ها: هفت شاخص خشکسالی مقایسه شده شامل شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI)، شاخص خشکی پوشش گیاهی (VDI)، شاخص سلامت پوشش گیاهی (VHI)، شاخص ذخیره آب پوشش گیاهی (VSWI)، شاخص پوشش گیاهی تفاوت نرمال شده (NDVI)، شاخص وضعیت دمایی (TCI) و شاخص بارش استاندارد (SPI) می‌باشند. شاخص‌های سنجش از دور از داده‌های مودیس استنتاج شده است. شاخص هواشناسی SPI از تلفیق داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی و بارش شبکه‌بندی شده حاصل شده است. نقشه‌های رقومی شاخص‌های هفت‌گانه خشکسالی برای دوره ۲۰۲۱ - ۲۰۰۲ با تفکیک زمانی مشابه (۱۶ روزه) تهیه شده‌اند. برای تجزیه و تحلیل ویژگی‌های هر شاخص خشکسالی از روش مقایسه‌ای شامل انتخاب دوره‌های خاص از خشکسالی رخ داده و ویژگی‌های شناسایی خشکسالی فضایی استفاده گردیده است. مقایسه شاخص‌های خشکسالی در ماه اردیبهشت انجام گردیده که زمان رویشی است. در نهایت، از تجزیه و تحلیل

* Corresponding Author: *Email Address*. h.nazaripour@gep.usb.ac.ir

<http://dx.doi.org/10.48308/envs.2023.1280>

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1402.21.3.9.9>



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

همبستگی پیرسون برای ارزیابی تشابه رفتاری شاخص‌ها استفاده گردیده است.

نتایج و بحث: تحلیل مقایسه‌ای فضایی بین شاخص‌های خشکسالی نشان داد که همه شاخص‌ها در توزیع مقیاس منطقه‌ای خشکسالی انطباق معین دارند؛ به ویژه آن‌هایی که از مجموعه داده‌های مشابه مشتق شده‌اند. در حالی که، آشکارا تفاوت توزیع مقیاس محلی در میان گروه‌های مختلف شاخص‌ها یافت شد. نتایج نشان داد که روند کلی شاخص ذخیره آب پوشش گیاهی انطباق بهتری با شاخص بارش استاندارد شده دارد. بر اساس تحلیل همبستگی، اثبات گردید که شاخص ذخیره آب پوشش گیاهی می‌تواند بازتاب بهتری از میزان بارندگی و شدت خشکسالی به دلیل کمبود بارندگی باشد. علاوه بر این، دمای سطح زمین (LST)، بیشتر از اطلاعات بازتابی به نتایج شاخص پیوندی (VSWI) کمک می‌کند. یک تأخیر ۳۲ روزه از شاخص‌های بیانگر وضعیت پوشش گیاهی به خوبی بیانگر شرایط خشکسالی هواشناسی در منطقه مورد مطالعه است. نبود و کمبود بارندگی در حداقل پنج دوره (۸۰ روز) قبل‌تر می‌تواند بر وضعیت پوشش گیاهی در شرایط موجود تأثیر جدی داشته باشد. مناطق دشتی و پایکوهی واقع در بخش‌های مرکزی، شرقی و جنوب‌شرقی منطقه مورد مطالعه با غلبه کشاورزی غلات به ویژه کشت دیم، نسبت به شرایط خشکسالی حساس‌تر از سایر قسمت‌ها می‌باشند.

نتیجه‌گیری: علیرغم مزیت‌های فراوان شاخص‌های خشکسالی سنجش از دوری در تجزیه و تحلیل خشکسالی در زمان نزدیک به واقع، همچنان شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در اولویت پایش خشکسالی می‌باشند. این جایگاه ناشی از وابستگی سیستم‌های هیدرولوژیکی و کشاورزی به شرایط هواشناسی است. عمدتاً این سیستم‌های هیدرولوژیکی و کشاورزی در مناطق مختلف با تأخیر زمانی متفاوت به نوسانات هواشناسی پاسخ می‌دهند. درک این روابط پیچیده میان سیستم‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی می‌تواند در برنامه‌های آمادگی زود هنگام در برابر خشکسالی و مدیریت آن مفید واقع گردد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل خشکسالی، سنجش از دور، شاخص ذخیره آب پوشش گیاهی، شاخص بارش استاندارد شده، شاخص سلامت پوشش گیاهی.

مقدمه

در مطالعات پیشین، شاخص‌های متعدد خشکسالی از جمله شاخص‌های هواشناسی، سنجش از دور، هیدرولوژیکی، اکولوژیکی و غیره با استفاده از داده‌های مختلف از دیدگاه رشته‌های متفاوت پیشنهاد شده است (Voget et al, 2000; Kallis, 2008). شاخص‌های پایش خشکسالی منتج از داده‌های هواشناسی دارای پیشینه دیرینه می‌باشند. داده‌های بارش قابل اعتماد، در بیش از دو قرن پیش وجود داشته است. از اوایل قرن بیستم، مدل‌های مختلفی برای پایش خشکسالی با استفاده از داده‌های مشاهدات هواشناسی سنتی ایجاد شده است (Wilhite and Glantz, 1985). یکی از پرکاربردترین شاخص‌های خشکسالی هواشناسی، شاخص بارش استاندارد شده (SPI) است (McKee et al, 1993). شاخص بارش استاندارد شده با برآزش داده‌های بارش تاریخی به تابع توزیع احتمال گاما برای یک دوره زمانی و مکانی خاص و سپس تبدیل توزیع گاما به یک توزیع

در میان مخاطرات طبیعی، درک خشکسالی سخت‌تر و پیچیدگی آن بیشتر است (Hagman, 1984). همچنین یکی از بلایای طبیعی است که می‌تواند باعث جدی‌ترین خسارات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی جهانی گردد (Carolwicz, 1996) که به طور متوسط سالانه بین ۶ تا ۸ میلیارد دلار خسارت جهانی ایجاد می‌کند و در مجموع بیش از هر بلای طبیعی دیگر افراد بیشتر را متأثر می‌کند (Keyantash and Dracup, 2002). در دهه‌های اخیر، خشکسالی در برخی از نقاط جهان به‌طور مداوم رخ داده که تأثیر جدی بر محیط زیست انسانی داشته است (Bayarjargal et al, 2006). مطالعه خشکسالی به تدریج به یک موضوع داغ در سراسر جهان تبدیل شده است (Wilhite et al, 2007). خشکسالی یک فرایند اقلیمی تکراری است که با مشخصه‌های زمانی و فضایی در یک منطقه وسیع و در یک دوره طولانی رخ می‌دهد (Ir et al, 2006).

پوشش گیاهی (VCI) توسعه یافته توسط کوگان (Kogan, 2000)، به طور گسترده‌ای در تحقیقات پایش خشکسالی کشاورزی استفاده شده است. در مورد پایش خشکسالی کشاورزی منطقه‌ای در طول فصل رشد، VCI بهتر از NDVI می‌تواند روابط بین شرایط رشد پوشش گیاهی و بارش را منعکس و تداخل سایر عوامل محیطی را خنثی کند. VCI یک ابزار مؤثر برای پایش خشکسالی است که می‌تواند برای نظارت بر آغاز، تغییر، توسعه و شدت خشکسالی و میزان تأثیر آن بر پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گیرد (Sun *et al.* 2008). دمای سطح با خشکسالی ارتباط تنگاتنگی دارد. در شرایط مشابه پوشش گیاهی، کمبود آب ناشی از خشکسالی، تعرق را کاهش می‌دهد که منجر به افزایش دمای سطح می‌شود، در حالی که دمای پایین نشان‌دهنده سلامت طبیعی وضعیت پوشش گیاهی است. براین اساس، شاخص وضعیت دمایی (TCI) توسعه یافته و به طور گسترده در پایش خشکسالی استفاده می‌شود. این شاخص از اطلاعات سنجنش از دور مادون قرمز حرارتی استفاده می‌کند که برای تولید سایر شاخص‌ها نیز بکار رفته است.

شرایط پوشش گیاهی و دمای تاج (T_s) زمانی که نیاز گیاه به آب برابر یا کمتر از سطح رطوبت موجود در خاک باشد، در محدوده معینی تثبیت می‌شود. پتانسیل تنش زمانی وجود دارد که آب موجود در ذخیره خاک برای حمایت از رشد فعلی کافی نباشد. پاسخ دمای تاج می‌تواند حتی زمانی که گیاهان سبز هستند رخ دهد، زیرا روزنه‌ها بسته می‌شوند تا از دست رفتن آب در اثر تعرق به حداقل برسد که منجر به کاهش شار گرمای نهان می‌گردد (McVicar and Jupp, 1998). پس از آن، کاهش شاخص گیاهی مانند NDVI و افزایش شار حرارتی وجود خواهد داشت که منجر به افزایش دمای برگ به دلیل نیاز به تعادل شار انرژی می‌شود (Mottram *et al.*, 1983). شیب $T_s/NDVI$ با شاخص رطوبت محصول همبستگی منفی دارد (Nemani *et al.*, 1993). برای تاج‌های کامل، شیب رابطه

نرمال محاسبه می‌گردد. در نهایت توزیع فراوانی انباشتگی بارش استاندارد شده برای طبقه‌بندی دسته‌های خشکسالی استفاده می‌گردد. با هدف بهبود شاخص بارش استاندارد شده از طریق تجزیه و تحلیل، گاتمن (Guttman, 1999) پیشنهاد داده است که پیرسون تیپ سه بهترین مدل جهانی برای محاسبه توزیع احتمال بارش است. تحقیقات بسیاری ثابت کرده‌اند که شاخص بارش استاندارد شده مزایای زیادی نسبت به سایر شاخص‌ها دارد، زیرا در اصل ساده بوده و امکان پایش و ارزیابی خشکسالی را در مقیاس‌های زمانی مختلف فراهم می‌کند. بنابراین به طور گسترده برای پایش و ارزیابی خشکسالی در سراسر جهان استفاده می‌شود (Zhou *et al.*, 2012). علاوه بر شاخص‌های خشکسالی هواشناسی، داده‌های سنجنش از دور نقش مهمی در پایش خشکسالی ایفا می‌کنند (Ji and Peters 2003). از دهه ۱۹۹۰، محققان به اهمیت سنجنش از دور ماهواره‌ای هواشناسی در بررسی خشکسالی پی بردند. داده‌های تابش سنج طیفی تصویربرداری با وضوح متوسط (MODIS) با وضوح مناسب فضایی، زمانی و طیفی به طور گسترده در مطالعه پایش و ارزیابی خشکسالی استفاده شده است. در میان تمام کاربردهای سنجنش از دور که برای پایش و ارزیابی قدرت پوشش گیاهی زمینی استفاده می‌گردد، شاخص تفاوت نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI) بیشترین کاربرد را دارد. این شاخص، بهترین شاخص برای وضعیت رشد گیاهی و پوشش گیاهی بوده و به طور گسترده برای تخمین زیست‌توده گیاهی و ارزیابی شرایط محیطی استفاده شده است (Sruthi and Aslam, 2015; Nejadreki *et al.*, 2022; Karnieli *et al.*, 2010). همچنین، می‌تواند برای توصیف محتوی آب گیاه استفاده شود و با پارامترهای محیطی مانند بارش، گرما و رطوبت خاک رابطه نزدیک دارد. بسیاری از شاخص‌های خشکسالی بر اساس داده‌های سری زمانی NDVI توسعه یافته‌اند. شاخص وضعیت

برای تولید غلات محسوب می‌گردد. علاوه بر آن، تولید علوفه و دامپروری از شغل‌های اصلی بومیان محلی آن است. در دهه‌های اخیر، رخداد خشکسالی‌های پیاپی هواشناسی و تأثیر فعالیت‌های انسانی سبب کاهش کیفیت زیست‌محیطی این مناطق گردیده است. به منظور بهبود ارزیابی شاخص‌های خشکسالی، ماتریس همبستگی و روابط رگرسیونی بین شاخص‌های خشکسالی هفت‌گانه و بارندگی در ایستگاه‌های هواشناسی محاسبه گردیده است.

مواد و روش‌ها

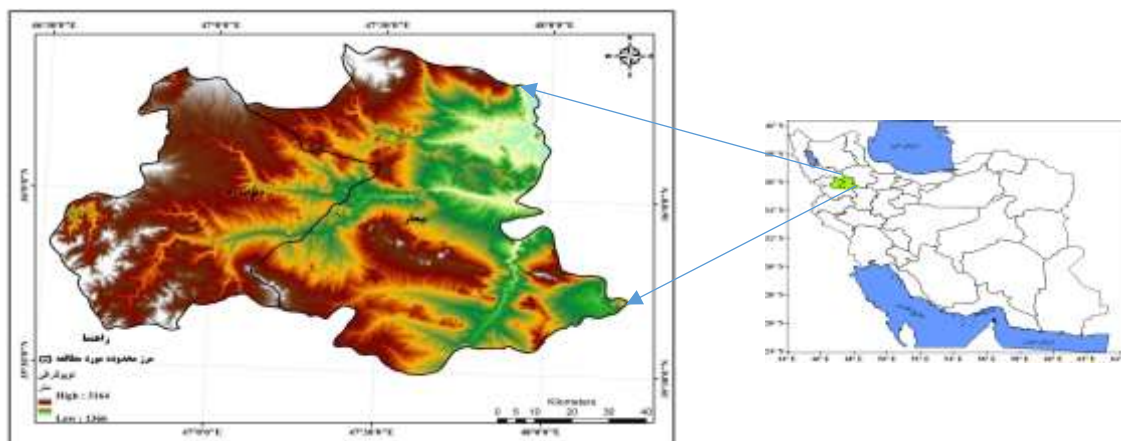
منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در غرب میانه ایران واقع در بخش‌های شرقی استان کردستان (36°N - 35°N, 45.5°E - 48°E) انجام گرفته است (شکل ۱). از نظر تقسیمات سیاسی این منطقه شامل شهرستان‌های دیواندره و بیجار می‌باشد. براساس نقشه پهنه‌بندی اقلیمی ایران که توسط (Rahimi et al., 2013) توسعه داده شده است، منطقه مورد مطالعه عمدتاً در ناحیه نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای و نیمه‌مرطوب قرار دارد. توزیع فضایی بارش در منطقه مورد مطالعه تابعی از توزیع ناهموارها بوده و مناطق غربی به واسطه همجواری با ارتفاعات زاگرس، بارش بیشتری دریافت می‌کنند. مقدار متوسط منطقه‌ای بارش در محدوده مورد مطالعه از شرق به غرب بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر متغیر است (Darand, 2018). رژیم غالب بارش در منطقه مورد مطالعه زمستانه و بهاره بوده و طی این دو فصل حدود ۸۰ درصد بارش رخ می‌دهد. سامانه‌های مدیترانه‌ای در فصل زمستان و سامانه‌های همرفتی در فصل بهاره عامل ایجاد بارش در منطقه مورد مطالعه هستند. دمای پایین و خشکسالی نامطلوب‌ترین عوامل برای تولید محصولات کشاورزی در این منطقه است.

$T_s/NDVI$ با مقاومت تاج مرتبط است. شاخص دما / گیاهی (TVI) و شاخص ذخیره آب پوشش گیاهی (VSWI) بر اساس تئوری ذکر شده در بالا ایجاد و اثر بخشی آن‌ها در زمینه پایش خشکسالی ارزیابی و اعتبارسنجی گردیده است (Gillies et al, 1997; McVicar and Bierwirth, 2001).

تاکنون تعداد زیادی شاخص خشکسالی برای اندازه‌گیری شدت خشکسالی ایجاد و اعمال شده است. سختی خشکسالی تابعی از شدت، مدت و گستره فضایی آن است که برای پایش بلادرنگ و ارزیابی و مقایسه رویدادهای مختلف ضروری است (Kallis, 2008). با این حال، پایش خشکسالی چالش برانگیز است، زیرا همه شاخص‌های خشکسالی کاربرد خاص خود را در یک منطقه و دوره خاص دارند (Brown et al, 2008). استفاده از شاخص‌های متعدد در کنار هم می‌تواند ارزیابی کلی بهتری از شرایط خشکسالی ارائه دهد (Kallis, 2008). تحقیقات نسبتاً اندکی به تحلیل و ارزیابی عملکرد شاخص‌های خشکسالی پرداخته‌اند (Bayarjargal et al. 2006). مطالعه جامعی برای مقایسه شاخص‌های خشکسالی برای شناسایی مؤثرترین و پایدارترین نمایه‌ها بعنوان متغیرهایی برای مدل‌های چندگانه برای ارزیابی سختی خشکسالی نیاز است. مجموعه داده مشاهدات خشکسالی‌های کشاورزی و هواشناسی و داده‌های هواشناسی و همچنین شاخص‌های خشکسالی برپایه داده‌های مشاهدات هواشناسی را می‌توان بعنوان معیار کمی انتخاب کرد؛ زیرا تقریباً شامل تمام تعاریف خشکسالی شامل متغیر بارش یا ترکیب بارش با سایر عوامل هواشناسی است.

هدف از این مطالعه، ارزیابی همبستگی بین شاخص‌های خشکسالی منتج از داده‌های سنجش از دور و هواشناسی در شرق استان کردستان است. دشت بیجار، اوباتو و سارال در منطقه مورد مطالعه بعنوان مهمترین منطقه



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های توپوگرافی منطقه مورد مطالعه
Fig. 1- Geographical location and topographic features of the study area

جمع‌آوری داده‌ها

طبقه‌بندی، ورودی اولیه الگوریتم MODIS LST طبقه‌بندی، ورودی اولیه الگوریتم MODIS LST محصول MOD13A2 می‌باشند. محصولات ۸ روزه LST با محاسبه مقدار متوسط تصاویر مجاور به منظور حفظ وضوح زمانی یکسان با مجموعه داده NDVI به محصولات ۱۶ روزه تبدیل شده‌اند. نقشه‌های رقومی محصولات LST و NDVI برای کل منطقه مورد مطالعه در طول دوره آماری ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱ ساخته شده است. برای زدودن اثر ابر از تصاویر NDVI از الگوریتم ترکیب حداکثر ارزش (MVC) استفاده شده است (Fensholt *et al*, 2012). علاوه بر آن، از فیلتر Savitzky - Golay (Chen *et al*, 2004) برای ساخت داده‌های سری زمانی با کیفیت بالا از NDVI برای بازتاب وضعیت رشد و چرخه رشد فصلی پوشش گیاهی استفاده شده است.

داده‌های هواشناسی مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های ارتفاع بارش در ایستگاه‌های باران‌سنجی بوده که از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان کردستان تهیه شده است. داده‌های بارش روزانه از ۲۶ ایستگاه باران‌سنجی در منطقه مورد مطالعه به عنوان داده‌های هواشناسی انتخاب شده‌اند. برای تولید پایگاه داده بارش با وضوح زمانی یکسان با داده‌های سنسجش از دور از داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی و پایگاه شبکه‌ای CHIRPS استفاده شده است. میانگین چهار یاخته اطراف هر ایستگاه باران‌سنجی بعنوان بارش روزانه آن ایستگاه لحاظ گردیده است. سپس

ابزارهای طیف‌سنج تصویربرداری با وضوح متوسط ترا که به اختصار مودیس (MODIS) نامیده می‌شود، محصولات بلندمدت، دمای سطح زمین (T_s) و NDVI ارائه می‌دهد که برای تشخیص تنش خشکی ضروری هستند. علاوه بر این، مودیس T_s شب‌هنگام را نیز فراهم می‌کند، که می‌تواند برای اطلاعات لختی حرارتی هنگام ترکیب با T_s روزهنگام استفاده گردد. مودیس همچنین اطلاعات طیفی در کانال باند موج کوتاه مادون قرمز ارائه می‌دهد و می‌تواند محتوی آب برگ را منعکس کند که ممکن است به شرایط خشکسالی حساس‌تر باشد (Gu *et al*, 2008). در نتیجه از داده‌های مودیس در این مطالعه استفاده شده است. داده‌های بیست ساله از محصولات NDVI، T_s روز - شب‌هنگام و بازتاب سطحی استفاده شده است. این محصولات شامل (۱) سری زمانی ۱۶ روزه NDVI مودیس ($MOD13A2.1km \times 1km$) از ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱، (۲) سری زمانی میانگین ۸ روزه دمای ترکیبی سطح زمین ($MOD11A2.1km \times 1km$) (LST) از ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱. محصولات NDVI مودیس ($MOD13A2$) عمدتاً از بازتاب قرمز باند ۱ (620 - 670 nm) و بازتاب مادون قرمز نزدیک باند ۲ (841 - 876 nm) تولید می‌شوند. گسیل‌ها در باند ۳۱ مودیس ($10.780 - 11.280 \mu m$) و باند ۳۲ ($11.770 - 12.270 \mu m$) برآورده شده توسط روش انتشار مبتنی بر

شاخص VDI شرایط پوشش گیاهی را با میانگین ویژگی‌های درازمدت آن در زمان مورد نظر مقایسه می‌کند. شاخص VHI از ترکیب شاخص VCI و TCI حاصل شده که اثرات ترکیبی پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین را در پایش خشکسالی دنبال می‌کند. شاخص SPI مقیاس ۳ ماهه (۶ × ۱۶ روز) از مجموعه داده‌های پردازش شده بارش ۱۶ روزه محاسبه شده است. داده‌های SPI با استفاده از روش اسپلاین بصورت فضایی در فرمت تصویر رستری با سیستم تصویر، وضوح مکانی و زمانی مشابه با مجموعه داده‌های استنتاجی از سنجش از دور میانابایی شده‌اند. ارزش میانگین از SPI برای نشان دادن شرایط خشکسالی هواشناسی منطقه محاسبه و یک سال خشک برای مقایسه عملکرد شش شاخص خشکسالی منتج از داده‌های سنجش از دور (MODIS) با شاخص خشکسالی هواشناسی (SPI) انتخاب می‌گردد. برای تجزیه و تحلیل ویژگی‌های هر شاخص خشکسالی از روش مقایسه‌ای شامل انتخاب دوره‌های خاص از خشکسالی رخ داده و ویژگی‌های شناسایی خشکسالی فضایی استفاده می‌گردد (Zhou et al. 2012). در نهایت، تجزیه و تحلیل همبستگی پیرسون برای هر هفت شاخص خشکسالی منتج از داده‌های سنجش از دور و هواشناسی انجام می‌گردد.

داده‌های بارش ۱۶ روزه برای هر یک از ایستگاه‌ها باران-سنجی تهیه گردیده است. به این صورت که بارندگی روز اول هر سال آبی مجموع بارندگی روز اول تا روز شانزدهم بوده و بارندگی روز هفدهم، مجموع بارندگی از روز هفدهم تا سی و دوم است. در نهایت، داده‌های بارش مبنای محاسبه شاخص استاندارد شده بارش بعنوان شاخص خشکسالی هواشناسی قرار گرفته است. این تکنیک امکان مقایسه داده‌ها با وضوح زمانی یکسان را فراهم می‌کند.

محاسبه نمایه‌های خشکسالی

شش شاخص خشکسالی VCI، VDI، VHI، NDVI و VSWI و TCI از محصولات LST و NDVI مودیس استخراج شده‌اند. شاخص خشکسالی هواشناسی یعنی SPI بر اساس مشاهدات ایستگاه‌های باران‌سنجی ایجاد شده است. شاخص VCI برای تشخیص خشکسالی از طریق پایش شرایط رشد پوشش گیاهی بر اساس داده‌های سری زمانی NDVI ایجاد شده است. شاخص TCI برای پایش خشکسالی از طریق ناهنجاری‌های سطح زمین برپایه اطلاعات سنجش از دور مادون قرمز حرارتی استفاده می‌شود. رویکرد VSWI که ترکیبی از داده‌های NDVI و حرارتی است، برای تشخیص تنش گیاهی، رطوبت و همچنین مناطق تحت تأثیر خشکسالی ایجاد شده است.

جدول ۱- نمایه‌های خشکسالی منتج از داده‌های سنجش از دور و هواشناسی

Table 1. Drought indicators derived from remote sensing and meteorological data

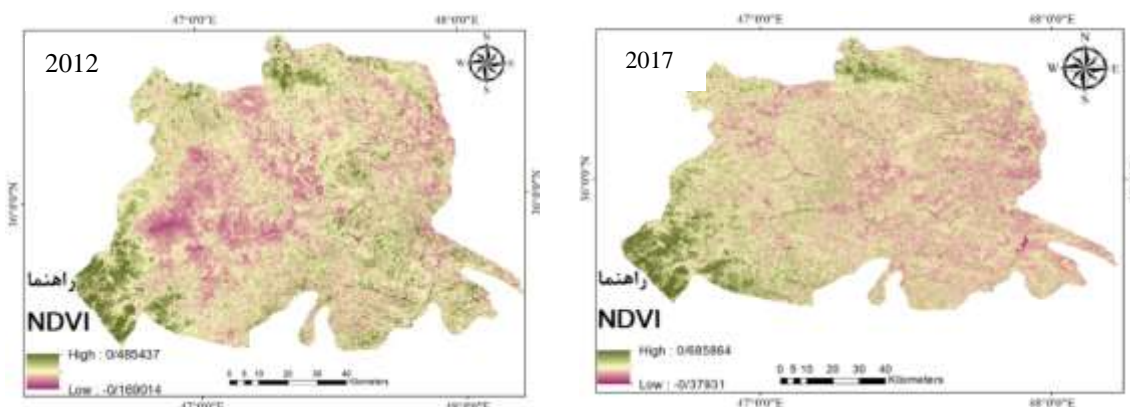
منبع Source	فرمول Formula	شاخص‌های خشکسالی Drought indices
Bayarjargal et al. 2006	$VCI_{ijk} = \frac{(NDVI)_{ijk} - (NDVI)_{i.min}}{(NDVI)_{i.max} - (NDVI)_{i.min}}$	شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) Vegetation condition index
Sun et al. 2013	$VDI = \alpha \times WCI + (1 - \alpha) \times \Delta TCI$	شاخص خشکی پوشش گیاهی (VDI) Vegetation drought index
Sun et al. 2013	$VHI = \alpha \times VCI + (1 - \alpha) \times TCI$	شاخص سلامت پوشش گیاهی (VHI) Vegetation health index
MaVicar and Beirwirth. 2001	$VSWI_{ijk} = 1000(NDVI)_{ijk}/LST_{ijk}$	شاخص ذخیره آب پوشش گیاهی (VSWI) Vegetation supply water index
Son et al. 2012	$NDVI = (NIR - VIS)/(NIR + VIS)$	شاخص پوشش گیاهی تفاوت نرمال شده (NDVI) Normalized difference vegetation index
Kogan. 2000	$TCI_{ijk} = \frac{(LST)_{i.max} - (LST)_{ijk}}{(LST)_{i.max} - (LST)_{i.min}}$	شاخص وضعیت دمایی (TCI) Temperature condition index
McKee et al. 1993	$f(x) = \frac{1}{\beta\gamma\Gamma(x)} x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}$ $F(x < x_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} e^{-z^2/2} dx$	شاخص بارش استاندارد (SPI) Standardized Precipitation Index

نتایج و بحث

پایش فضایی خشکسالی

۰/۲ شرایط خشکی و بین ۰/۲ تا ۰/۴ شرایط متوسط را بیان می‌کند. به‌طور خلاصه ارزش‌های کوچکتر از ۰/۲ بیانگر شرایط پوشش گیاهی زیر نرمال بوده که نشان‌دهنده وضعیت خشکسالی است. بر اساس نتایج شاخص NDVI، سال‌های ۱۳۹۱ (۲۰۱۲) و ۱۳۹۶ (۲۰۱۷) شرایط پوشش گیاهی منطقه در منطقه مورد مطالعه غالباً بیانگر وضعیت خشکسالی بوده است. در سایر سال‌ها تقریباً وضعیت نرمال و مطلوب برقرار بوده است. در مقیاس محلی، شرایط خشکسالی همیشه در قسمت‌های غربی خفیف‌تر بوده است. به‌عبارت دیگر، مناطق دشتی واقع در بخش‌های شرقی با غلبه کشاورزی غلات به ویژه کشت دیم، نسبت به شرایط خشکسالی بسیار حساس می‌باشند.

دامنه‌های شاخص NDVI برای کلاس‌های مختلف پوشش زمین توسط (Akbar *et al.*, 2019) تعیین گردیده است. در این طبقه‌بندی، دامنه بین ۰/۱۸ تا ۰/۲۷ برای بوته‌زارها و علف‌زار (مرتع)، ۰/۲۷ تا ۰/۳۶ برای پوشش گیاهی پراکنده و ۰/۳۶ تا ۰/۷۴ برای پوشش گیاهی متراکم تعریف شده است. به‌طور قراردادی، ارزش‌های فراتر از ۰/۲ در این پژوهش بعنوان مناطق دارای پوشش گیاهی فرض شده است. مقادیر NDVI بر اساس نتایج (Yun-Hao *et al.*, 2003) به پنج کلاس مختلف تقسیم می‌شود که چنانچه ارزش آن کوچکتر از صفر باشد بیانگر شرایط خشکی شدید، بین ۰ تا

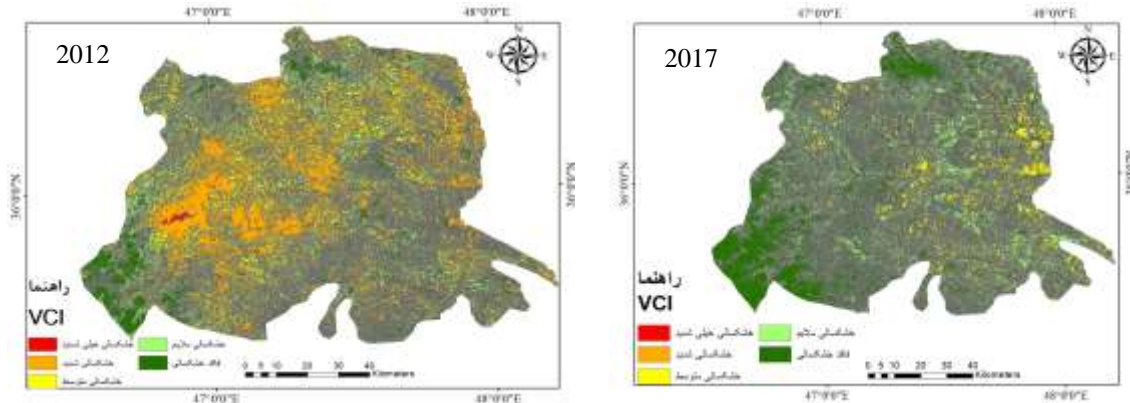


شکل ۲- الگوی فضایی خشکسالی پایش شده توسط NDVI برای اردیبهشت ماه ۱۳۹۱ و ۱۳۹۶

Fig. 2- Spatial pattern of drought monitored by NDVI for May 2012 and 2017

نشان می‌دهد؛ با این وجود، یک هم‌مانگی کلی بین این دو شاخص وجود دارد. به نظر می‌آید رشد سبزیگی در نتیجه افزایش زود هنگام دمای هوا و آغاز زود هنگام فصل رشد در دهه‌های اخیر ناشی از گرمایش جهانی در ارزش شاخص VCI تأثیرگذار بوده است. زیرا شاخص VCI ناهنجاری‌های وضعیت رشد گیاهان را در برابر میانگین تاریخی بیان می‌کند. از این رو، بر اساس شاخص مزبور، شرایط خشکسالی کشاورزی در منطقه مورد مطالعه در دو دهه اخیر چندان نامطلوب نبوده است. در سال‌های ۱۳۹۱ (۲۰۱۲) و ۱۳۹۶ (۲۰۱۷) به ترتیب ۴۲۶/۵ و ۳/۵ کیلومتر مربع از مساحت منطقه مورد مطالعه درگیر خشکسالی‌های شدید و خیلی- شدید بوده است.

شاخص VCI بر اساس تاریخچه توالی NDVI برای منعکس کردن ناهنجاری‌های وضعیت رشد گیاهان در برابر میانگین تاریخی ایجاد شده است. دامنه این شاخص بین صفر و یک است. زمانی که اندازه شاخص به صفر نزدیک گردد، بیانگر یک ماه خشک می‌باشد. مقادیر اندک VCI برای فواصل زمانی پی‌درپی، اشاره به ازدیاد خشکسالی دارد (Thenkabail and Gamage, 2004). مطالعات پیشین نشان داده است که VCI در مقایسه با NDVI نتایج بهتری را نسبت به میزان بارندگی به خصوص در مناطقی که از نظر جغرافیای ناهمگون هستند، ارائه می‌دهد (Hamzeh *et al.*, 2017). توزیع فضایی ارزش‌های این شاخص در منطقه مورد مطالعه شرایط مطلوب‌تری را نسبت به NDVI

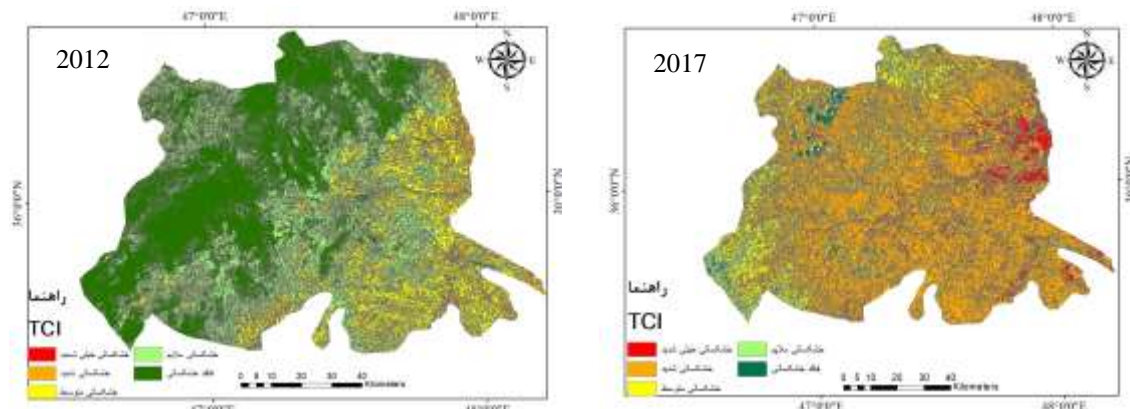


شکل ۳- الگوی فضایی خشکسالی پایش شده توسط VCI برای اردیبهشت ماه ۱۳۹۱ و ۱۳۹۶

Fig. 3- Spatial pattern of drought monitored by VCI for May 2012 and 2017

شرایط دمای سطح زمین می‌باشد. توزیع فضایی گستره‌های درگیر با خشکسالی عمدتاً شامل مناطق شرقی، جنوب و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. این مناطق عمدتاً مناطق نسبتاً هموار با دمای بالاتر را شامل می‌شوند. از طرف دیگر، پوشش گیاهی این مناطق به نسبت کوتاه قامت‌تر و پراکنده‌تر بوده و ظرفیت گرمایی پایین‌تری دارند و باعث افزایش دمای سطح زمین می‌گردند که اثرات آن در شاخص TCI نمود می‌یابد. پاسخ محیط به تغییرات کاربری اراضی و افزایش دمای هوا در دهه‌های اخیر به خوبی در شاخص TCI آشکار است. عوامل محلی تأثیرگذار در دمای سطح زمین از جمله ناهمواری‌ها و پوشش زمین در توزیع فضایی خشکسالی در سال ۱۳۹۱ نمود دارد. اما در سال ۱۳۹۶ بعنوان یک سال گرم و خشک سراسری در کل گستره ایران این تفاوت‌های محلی رنگ باخته و حاکمیت گسترده سامانه‌های بزرگ‌مقیاس جوی مولد خشکسالی را بیان دارد.

شاخص وضعیت دمایی (TCI) روش‌شناسی محاسباتی مشابه با VCI دارد. با این تفاوت که به جای NDVI از دمای سطح زمین (LST) به دست می‌آید. این شاخص معمولاً برای تعیین دمای مرتبط با تنش پوشش گیاهی و همچنین تنش ناشی از رطوبت بیش از حد استفاده می‌گردد. در این شاخص، هرچه دمای سطح زمین بیشتر باشد، شدت خشکسالی نیز بیشتر است. این شاخص در مجموع برای مشاهدات اقلیمی، ارتباط بین حرارت سطحی و رطوبت زمین و تأثیرات ناحیه‌ای خشکسالی استفاده می‌شود (Rezaeimoghadam *et al*, 2013). طبقات مختلف این شاخص بر اساس شدت خشکسالی با شاخص‌های VCI و VHI مشابه بوده و ارزش‌های پایین بیانگر شرایط خشکسالی می‌باشند. بررسی توزیع فضایی طبقات خشکسالی و گستره‌های درگیر با خشکسالی در منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص TCI بیانگر آن است یک انطباق کاملاً آشکار با

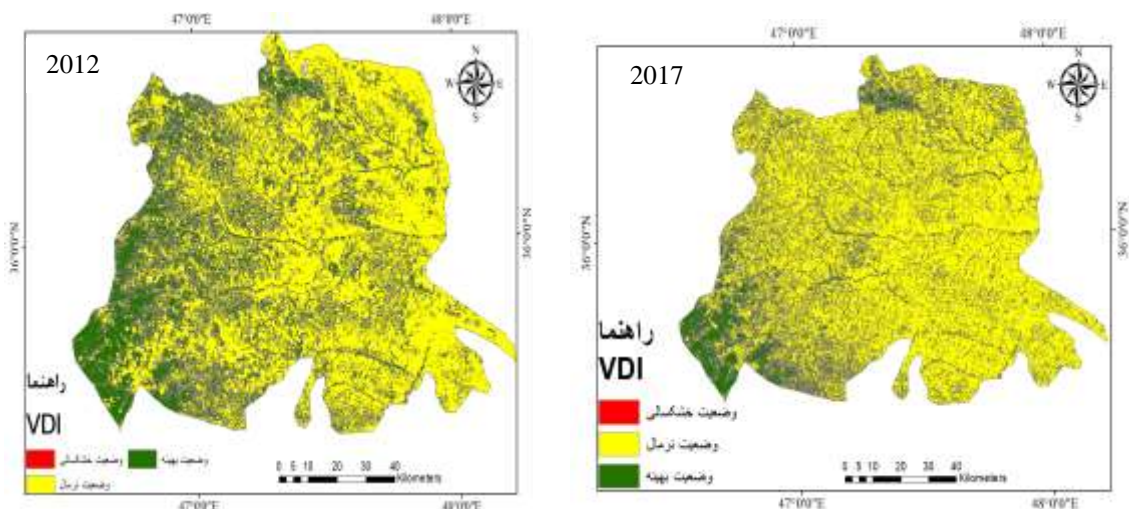


شکل ۴- الگوی فضایی خشکسالی پایش شده توسط TCI برای اردیبهشت ماه ۱۳۹۱ و ۱۳۹۶

Fig. 4- Spatial pattern of drought monitored by TCI for May 2012 and 2017

شرایط مطلوب و بهینه و چنانچه به صفر متمایل گردد نشانگر رویداد خشکسالی شدید است. گستره‌های درگیر با تنش خشکسالی در دو دهه اخیر بر اساس بررسی شاخص VDI بسیار اندک بوده است. بیشترین گستره از منطقه مورد مطالعه همواره با شرایط نرمال مواجه بوده است. با این وجود، توزیع فضایی اندک گستره‌های بهینه عمدتاً در نیمه غربی منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

شاخص VDI وضعیت خشکسالی پوشش گیاهی را بر اساس کمبود آب در گیاهان و همچنین کمبود آب خاک اندازه‌گیری می‌کند. همچنین می‌توان این شاخص را بر اساس تغییرات درازمدت شاخص VSWI نیز برآورد نمود. در این صورت، روش‌شناسی محاسباتی مشابه با VCI دارد، اما به جای NDVI از VSWI استفاده می‌شود. اگر مقادیر این شاخص به ۱۰۰ درصد نزدیک باشد بیانگر

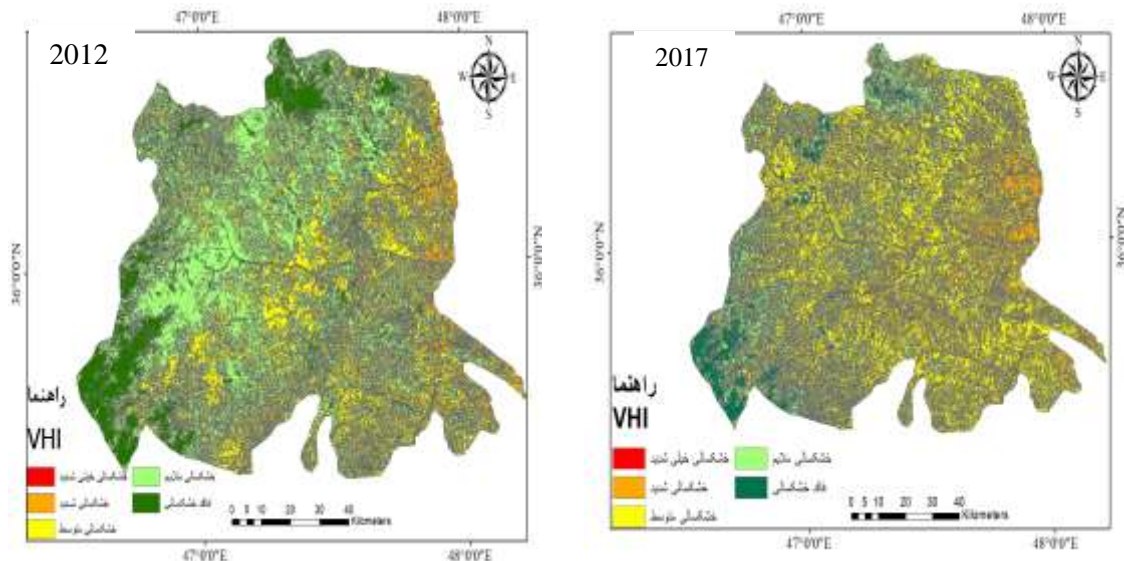


شکل ۵- الگوی فضایی خشکسالی پایش شده توسط VDI برای اردیبهشت ماه ۱۳۹۱ و ۱۳۹۶

Fig. 5- Spatial pattern of drought monitored by VDI for May 2012 and 2017

است (Kogan, 1995). تحت شرایطی که VCI مقادیر پایینی را ارائه می‌دهد و می‌تواند به اشتباه بعنوان خشکسالی تعبیر گردد. بنابراین انتظار می‌رود TCI مقادیر پایین را به دلیل تغییر در پاسخ پوشش گیاهی به دما در مقایسه با NDVI اصلاح کند. نتایج حاصل از VHI در منطقه مورد مطالعه، وضعیت خشکسالی‌های خیلی شدید را نشان نمی‌دهد. علاوه بر آن، گستره‌های درگیر با خشکسالی شدید نیز تقریباً در تمامی سال‌ها محدود است. بیشترین گستره خشکسالی‌های متوسط و شدید در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۱ به ترتیب با ۶۹۲۶ و ۲۸۷۳ کیلومتر مربع نمود یافته است. توزیع فضایی گستره‌های درگیر با خشکسالی‌های متوسط و شدید نیز عمدتاً در مناطق شرقی، جنوب و جنوب‌شرقی بوده است. توزیع فضایی الگوهای خشکسالی این شاخص با TCI هماهنگی بسیار خوبی دارد.

شاخص VHI در واقع حاصل مشارکت شاخص‌های VCI و TCI است که اثرات ترکیبی وضعیت پوشش گیاهی و درجه حرارت را در پایش خشکسالی بیان می‌کند. همانند شاخص VDI مقدار α برابر ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود و بیانگر سهم یکسان شاخص‌های VCI و TCI در خشکسالی است. این شاخص دارای رویکرد شبه‌واقعی از ارزیابی خشکسالی کشاورزی بوده و هدف آن دخیل کردن وضعیت رطوبت پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین در یک شاخص پیوندی است. این شاخص به طور گسترده برای تشخیص خشکسالی رویشی در بسیاری از مناطق دنیا استفاده شده است (Bhuiyan and Kogan, 2010). عموماً شاخص VHI به عنوان مرجعی برای ارزیابی اعتبار VDI در نظر گرفته می‌شود. VHI برای رفع برخی از محدودیت‌های VCI در مناطقی با رطوبت بیش از حد خاک و یا با دوره‌های طولانی ابرناکی پیشنهاد داده شده

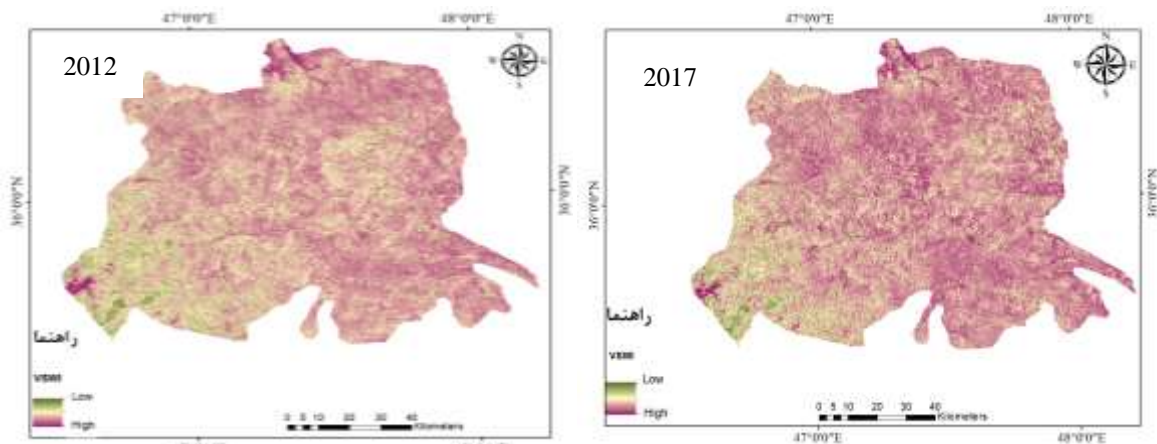


شکل ۶- الگوی فضایی خشکسالی پایش شده توسط VHI برای اردیبهشت ماه ۱۳۹۱ و ۱۳۹۶

Fig. 6- Spatial pattern of drought monitored by VHI for May 2012 and 2017

برگ‌های محصول به منظور کاهش آب از دست رفته از تاج پوشش گیاهی بسته می‌شود که منجر به افزایش آشکار دما در مزارع می‌گردد. بنابراین با استفاده از رابطه بین تغییر دمای تاج پوشش و تأمین آب خاک می‌توان رویکردی مانند VSWI برای پایش خشکسالی ایجاد کرد. افزایش VSWI ممکن است به معنی افزایش شدت خشکسالی در منطقه مورد مطالعه نباشد. این امر بویژه در مواردی که محصول در اوایل رشد خود بوده و تاج پوشش به‌طور کامل زمین را نپوشانده، صادق است. با این اوصاف، VSWI به دلیل بازتاب دقیق‌تر پاسخ پوشش گیاهی به شرایط خشکسالی، بعنوان یک رویکرد نزدیک به زمان واقعی مناسب برای پایش خشکسالی است. نتایج حاصل از VSWI در منطقه مورد مطالعه نشان از همپوشانی فضایی زیادی بین آن و سایر شاخص‌های خشکسالی حاصل از تصاویر ماهواره - ای و داده‌های هواشناسی دارد. با این حال، شاخص VSWI گستره وسیع‌تری را بعنوان خشکسالی نسبت به سایر شاخص‌های خشکسالی شناسایی کرده است.

شاخص VSWI مانند شاخص‌های VCI و TCI از ترکیب شاخص‌های NDVI و LST استنتاج می‌گردد. بنابراین، رویکرد VSWI که ترکیبی از داده‌های NDVI و حرارتی است، برای تشخیص تنش گیاهی، رطوبت و همچنین مناطق تحت تأثیر خشکسالی ایجاد گردیده است. مقادیر زیاد VWSI ناشی از شاخص پوشش گیاهی اندک و درجه حرارت زیاد تاج و پوشش است، که نشانگر تنش پوشش گیاهی بوده که می‌تواند منجر به خشکسالی شدید گردد و برعکس. در نتیجه، VWSI می‌تواند بیانگر سلامت کلی پوشش گیاهی و مشخص‌کننده تغییر رطوبت و شرایط حرارتی گیاه باشد. محصولات زراعی در حال رشد به تأمین مداوم آب خاک نیاز دارند. بارندگی و آبیاری منابع اصلی تأمین آب خاک می‌باشند. هنگامی که آب خاک برای رشد محصول کافی نباشد، تبخیر و تعرق از خاک و پوشش آن بالا رفته که منجر به دمای پایین سطح می‌شود. در طول دوره خشکسالی که تأمین آب خاک برای پاسخگویی به تقاضای طبیعی رشد محصولات ناکافی است؛ در نتیجه استوما روی

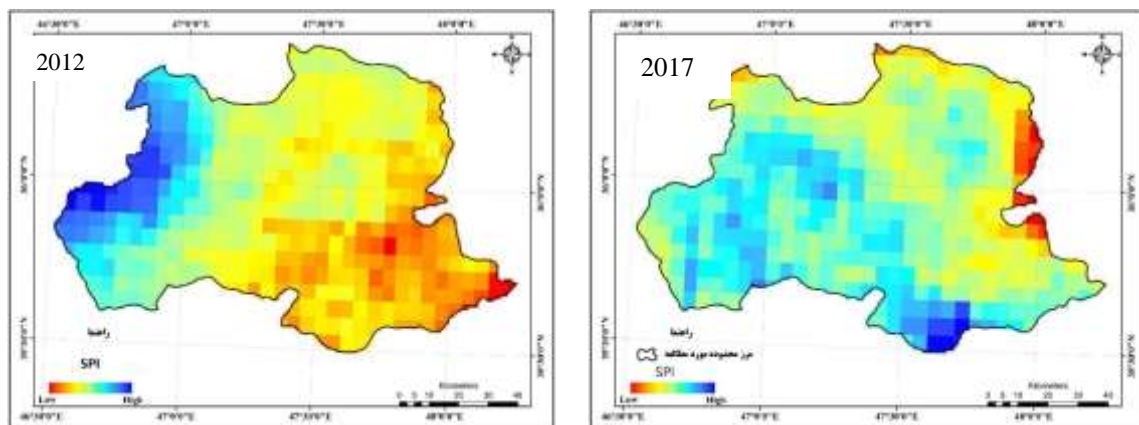


شکل ۷- الگوی فضایی خشکسالی پایش شده با VSWI برای اردیبهشت ماه ۱۳۹۱ و ۱۳۹۶

Fig. 7- Spatial pattern of drought monitored by VSWI for May 2012 and 2017

پوشش گیاهی و شاخص‌های بیانگر وضعیت کشاورزی تأثیرگذار است. اثر وضعیت زمانی آشکارتر می‌گردد که وضعیت بارش فصل قبل‌تر (زمستان) نیز مطلوب نباشد. وضعیت خشکسالی هواشناسی در منطقه مورد مطالعه از لحاظ الگوی فضایی با شاخص‌های منتج از داده‌های سنجش از دور در انطباق است. گستره‌های درگیر با خشکسالی در ماه می (اردیبهشت) عمدتاً شامل نیمه شرقی است. مناطق دشتی و پایکوهی واقع در بخش‌های مرکزی، شرقی و جنوب‌شرقی منطقه مورد مطالعه با غلبه کشاورزی غلات به ویژه دیم‌زارها نسبت به شرایط کمبود و نبود بارش بسیار حساس می‌باشند.

شاخص خشکسالی SPI یک نمایه خشکسالی هواشناسی مبتنی بر داده‌های بارش است. از آنجاییکه بارندگی بعنوان منبع تأمین رطوبت مورد نیاز خاک و گیاه محسوب می‌گردد، بنابراین تغییرپذیری آن با وضعیت و وضعیت خشکسالی کشاورزی در ارتباط است. این ارتباط بویژه در دیم‌زارها ملموس‌تر است. توزیع زمانی بارش (رژیم بارش) در منطقه مورد مطالعه گویای سهم تقریباً یکسان بارش‌های بهاره با فصل پاییز می‌باشد؛ لیکن رژیم غالب بارش زمستانه است. بنابراین بارش‌های فصل بهار در تأمین نیاز آبی محصولات زراعی و مراتع بسیار مهم و حیاتی است. کمبود و نبود بارش بهاره به‌طور مستقیم بر روی وضعیت



شکل ۸- الگوی فضایی خشکسالی پایش شده توسط SPI برای اردیبهشت ماه ۱۳۹۱ و ۱۳۹۶

Fig. 8- Spatial pattern of drought monitored by SPI for May 2012 and 2017

روش همبستگی پیرسون ایجاد شده است. تمامی شاخص‌های استنتاجی از داده‌های سنجش از دور با شاخص خشکسالی هواشناسی دارای همبستگی منفی است. در این

به منظور بررسی کمی انطباق شاخص‌های خشکسالی استنتاجی از داده‌های سنجش از دور و شاخص خشکسالی هواشناسی، ماتریس همبستگی بین آن‌ها با استفاده از

VCI بر اساس سری زمانی NDVI بوده که شرایط رشد پوشش گیاهی را منعکس می‌کنند. ضریب همبستگی بین شاخص‌های بیانگر وضعیت پوشش گیاهی و شاخص خشکسالی هواشناسی با اعمال تأخیر در شاخص خشکسالی هواشناسی یا تعجیل در شاخص‌های وضعیت پوشش گیاهی بهبود می‌یابد. به این مفهوم که یک تعجیل ۲۲ روزه از شاخص‌های بیانگر وضعیت پوشش گیاهی به خوبی بیانگر شرایط خشکسالی هواشناسی در منطقه مورد مطالعه است. به عبارتی دیگر، نبود و کمبود بارندگی در حداقل پنج دوره (۸۰ روز) قبل‌تر می‌تواند بر وضعیت پوشش گیاهی در شرایط موجود تأثیر جدی داشته باشد.

بین، شاخص‌های VSWI و NDVI دارای همبستگی قابل توجهی با شاخص خشکسالی هواشناسی بوده که ضرایب همبستگی آن‌ها به ترتیب $-0/625$ و $-0/528$ در سطح معنی‌داری $0/05$ است. این وضعیت بیانگر آن است که VSWI می‌تواند به خوبی میزان خشکسالی ناشی از کمبود بارندگی را منعکس نماید. ضریب همبستگی بین VSWI و VDI، TCI و VHI به ترتیب $0/756$ ، $0/685$ و $0/672$ می‌باشد که در سطح $0/05$ معنی‌دار است؛ اما رابطه بین VSWI و NDVI کمتر است. این نشان می‌دهد که TCI می‌تواند خشکسالی را بهتر از VCI منعکس نماید. همبستگی بالای بین VCI و NDVI ناشی از آن است که

جدول ۲- ماتریس همبستگی بین شاخص‌های خشکسالی منتج از MODIS و هواشناسی
Table 2. Correlation matrix between drought indicators derived from MODIS and meteorology

Drought indices	NDVI	VCI	VDI	VHI	TCI	VSWI	SPI
NDVI	1						
VCI	0.831**	1					
VDI	0.625**	0.436*	1				
VHI	0.354	0.648**	0.432	1			
TCI	0.298	0.429	0.562*	0.538**	1		
VSWI	0.423*	0.318	0.756**	0.672**	0.685**	1	
SPI	-0.528**	-0.309	-0.229	-0.327	-0.213	-0.625**	1

** و * ارزش‌های معنی‌دار به ترتیب در $p < 0.05$ و $p < 0.1$

محسوب می‌گردد. مقایسه میان نتایج شاخص‌های خشکسالی منتج از داده‌های سنجش از دور و شاخص خشکسالی هواشناسی در غرب میانه ایران گویای انطباق رفتاری آن‌ها در نمایش ویژگی‌های خشکسالی می‌باشد. به گونه‌ای که امکان استفاده از شاخص‌های خشکسالی هواشناسی بعنوان هشدار زودهنگام شرایط خشکسالی، کشاورزی را ممکن می‌سازد. در بین شاخص‌های خشکسالی استنتاجی از داده‌های سنجش از دور، شاخص ذخیره آب پوشش گیاهی، انطباق کامل‌تری با شاخص خشکسالی هواشناسی داشته و بازتاب بهتری از نوسانات میزان بارندگی، افزایش دما و شدت خشکسالی ناشی از کمبود بارندگی است. همچنین شاخص دمای سطح زمین نیز بیشتر از اطلاعات بازتابی به پیش وضعیت خشکسالی

نتیجه‌گیری

کمی‌سازی خشکسالی معمولاً از طریق شاخص‌ها و نمایه‌ها انجام می‌گیرد. چندین شاخص خشکسالی رایج و متداول بر اساس داده‌های زمینی و سنجش از دور وجود دارد. داده‌های مبتنی بر ماهواره، پیوسته در دسترس بوده و می‌توانند همزمان بر تشخیص چندین جنبه و مشخصه خشکسالی مورد استفاده قرار گیرد. در واقع، تعداد روزافزون و اثربخشی سیستم‌های ماهواره‌ای پایش زمین، طیف گسترده‌ای از قابلیت‌های جدید را ارائه می‌دهد که می‌تواند برای ارزیابی و پایش خطرات خشکسالی و اثرات آن استفاده شود. پایش خشکسالی در مناطق حساس کشاورزی از اهمیت اساسی برخوردار بوده و ورودی بسیار مهمی در هر طرح آمادگی و تعدیل اثرات خشکسالی

کشاورزی کمک می‌کند. هرگونه کمبود و نبود بارندگی در حداقل پنج دوره (۸۰ روز) قبل‌تر در منطقه مورد مطالعه پتانسیل تأثیرگذاری بر وضعیت پوشش گیاهی را دارا می‌باشد. مناطق دشتی و پایکوهی واقع در بخش‌های مرکزی، شرقی و جنوب‌شرقی منطقه مورد مطالعه با غلبه سیستم‌های کشاورزی سنتی متکی بر کشت غلات دیم، نسبت به شرایط خشکسالی حساس‌تر از سایر قسمت‌ها می‌باشد. علیرغم مزیت‌های فراوان شاخص‌های خشکسالی سنجش از دوری در تجزیه و تحلیل خشکسالی در زمان نزدیک به واقع، اما همچنان شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در اولویت پایش خشکسالی می‌باشند. این جایگاه ناشی از وابستگی سیستم‌های

کشاورزی کمک می‌کند. هرگونه کمبود و نبود بارندگی در حداقل پنج دوره (۸۰ روز) قبل‌تر در منطقه مورد مطالعه پتانسیل تأثیرگذاری بر وضعیت پوشش گیاهی را دارا می‌باشد. مناطق دشتی و پایکوهی واقع در بخش‌های مرکزی، شرقی و جنوب‌شرقی منطقه مورد مطالعه با غلبه سیستم‌های کشاورزی سنتی متکی بر کشت غلات دیم، نسبت به شرایط خشکسالی حساس‌تر از سایر قسمت‌ها می‌باشد. علیرغم مزیت‌های فراوان شاخص‌های خشکسالی سنجش از دوری در تجزیه و تحلیل خشکسالی در زمان نزدیک به واقع، اما همچنان شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در اولویت پایش خشکسالی می‌باشند. این جایگاه ناشی از وابستگی سیستم‌های

منابع

سپاسگزاری

از بازبینان ناشناس بابت ارائه نظرات سازنده در راستای بهبود کیفیت مقاله صمیمانه قدردانی می‌گردد. این پژوهش از طرف شخص یا نهادی حمایت مالی نشده است.

to natural disasters. *EOS77*. 16, 149–153.

Akbar, T.A., Hassan, Q.K., Ishaq, S., Batool, M., Butt, H.J. and Jabbar, H., 2019. Investigative spatial distribution and modelling of existing and future urban land changes and its impact on urbanization and economy. *Remote Sensing*. 11(2), 105.

Chen, J., Jönsson, P., Tamura, M., Gu, Z., Matsushita, B. and Eklundh, L., 2004. A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky–Golay filter. *Remote sensing of Environment*. 91(3-4), 332-344.

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.

Darand, M., 2018. Spatial analysis of precipitation persistency in Kurdistan Province. *Geography and Development*. 16(52), 247-266.

Bhuiyan, C. and Kogan, F.N., 2010. Monsoon variation and vegetative drought patterns in the Luni Basin in the rain-shadow zone. *International Journal of Remote Sensing*. 31(12), 3223-3242.

Fensholt, R. and Proud, S.R., 2012. Evaluation of earth observation based global long term vegetation trends—Comparing GIMMS and MODIS global NDVI time series. *Remote Sensing of Environment*. 119, 131-147.

Brown, J.F., Wardlow, B.D., Tadesse, T., Hayes, M.J. and Reed, B.C., 2008. The vegetation drought response index (VegDRI): A new integrated approach for monitoring drought stress in vegetation. *GIScience and Remote Sensing*. 45(1), 16-46.

Fensholt, R., Langanke, T., Rasmussen, K., Reenberg, A., Prince, S.D., Tucker, Cand Wessels, K., 2012. Greenness in semi-arid areas across the globe 1981–2007—an earth observing satellite based analysis of trends and drivers. *Remote Sensing of Environment*. 121, 144-158.

Carolwicz, M., 1996, Nature hazards need not lead

Gillies, R.R., Kustas, W.P. and Humes, K.S., 1997.

- A verification of the 'triangle' method for obtaining surface soil water content and energy fluxes from remote measurements of the normalized difference vegetation index (NDVI) and surface e. International Journal of Remote Sensing. 18(15), 3145-3166.
- Gu, Y., Hunt, E., Wardlow, B., Basara, J.B., Brown, J.F. and Verdin, J.P., 2008. Evaluation of MODIS NDVI and NDWI for vegetation drought monitoring using Oklahoma Mesonet soil moisture data. Geophysical Research Letters. 35(22).
- Guttman, N. B., 1999. Accepting the standardized precipitation index: a calculation algorithm 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association. 35(2), 311-322.
- Hagman, G. (Ed.), 1984. Prevention Better than Curve: Report on Human Natural Disasters in the Third World (Stockholm: Swedish Red Cross).
- Hamzeh, S., Farahani, Z., Mahdavi, S., Chatroboun, O. and Gholamnia, M., 2017. Spatio-temporal monitoring of agricultural drought using remotely sensed data (Case study of Markazi province of Iran). Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards. 4(3), 53-70.
- Ji, L., & Peters, A. J., 2003). Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices. Remote sensing of Environment. 87(1), 85-98.
- Ji, L., & Peters, A. J., 2003. Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices. Remote sensing of Environment. 87(1), 85-98.
- Kallis, G., 2008, Droughts. Annual Review of Environment and Resources. 33, 85-118.
- Karnieli, A., Agam, N., Pinker, R. T., Anderson, M., Imhoff, M. L., Gutman, G. G., Panov, N., and Goldberg, A., 2010. Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: Merits and limitations. Journal of Climate. 23(3), 618-633.
- Keyantash, J. and Dracup, J.A., 2002. The quantification of drought: an evaluation of drought indices. Bulletin of the American Meteorological Society. 83(8), 1167-1180.
- Kogan, F.N., 1995. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. Advances in Space Research. 15(11), 91-100.
- Kogan, F.N., 2000. Contribution of remote sensing to drought early warning. Early Warning Systems for Drought Preparedness and Drought Management. 75-87.
- 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, 17th-22th January, Anaheim, California, United States. pp. 179-183.
- McVicar, T. R. and Bierwirth, P. N., 2001. Rapidly assessing the 1997 drought in Papua New Guinea using composite AVHRR imagery. International Journal of Remote Sensing. 22(11), 2109-2128.
- McVicar, T.R. and Bierwirth, P.N., 2001. Rapidly assessing the 1997 drought in Papua New Guinea using composite AVHRR imagery. International Journal of Remote Sensing. 22(11), 2109-2128.
- Mottram, R., De Jager, J. M. and Duckworth, J. R., 1983. Evaluation of a water stress index for maize using an infra-red thermometer. Crop Production. 12, 26-28.
- Nejadrekabi, M., Eslamian, S. and Zareian, M. J., 2022. Spatial statistics techniques for SPEI and NDVI drought indices: A case study of Khuzestan Province. International Journal of Environmental

- Science and Technology. 19(7), 6573-6594.
- Nemani, R., Pierce, L., Running, S and Goward, S., 1993. Developing satellite-derived estimates of surface moisture status. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 32(3), 548-557.
- Rahimi, J., Ebrahimpour, M. and Khalili, A., 2013. Spatial changes of extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. *Theoretical and applied climatology*. 112, 409-418.
- Rezaeimoghadam, M., Valizadeh Kamran, K., Rostamzadeh, H. and Rezaee, A. 2013. Evaluating the adequacy of MODIS in the assessment of drought (Case study: Urmia Lake Basin). *Geography and Environmental Sustainability*. 2(4), 37-52.
- Son, N. T., Chen, C. F., Chen, C. R., Chang, L. Y. and Minh, V. Q., 2012. Monitoring agricultural drought in the Lower Mekong Basin using MODIS NDVI and land surface temperature data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 18, 417-427.
- Sruthi, S. and Aslam, M. M., 2015. Agricultural drought analysis using the NDVI and land surface temperature data; a case study of Raichur district. *Aquatic Procedia*. 4, 1258-1264.
- Sun, H., Zhao, X., Chen, Y., Gong, A. and Yang, J., 2013. A new agricultural drought monitoring index combining MODIS NDWI and day-night land surface temperatures: A case study in China. *International Journal of Remote Sensing*. 34(24), 8986-9001.
- Sun, W., Wang, P. X., Zhang, S. Y., Zhu, D. H., Liu, J. M., Chen, J. H. and Yang, H. S., 2008. Using the vegetation temperature condition index for time series drought occurrence monitoring in the Guanzhong Plain, PR China. *International Journal of Remote Sensing*. 29(17-18), 5133-5144.
- Thenkabail, P. S. and Gamage, M. S. D. N., 2004. The use of remote sensing data for drought assessment and monitoring in Southwest Asia. International; water management institute, Colombo, Sri Lanka.
- Vogt, J.V., Niemeier, S., Somma, F., Beaudin, I., Viau, A. A., 2000. Drought Monitoring from Space. In: Vogt, J.V., Somma, F. (eds) *Drought and Drought Mitigation in Europe*. *Advances in Natural and Technological Hazards Research*, vol 14. Springer, Dordrecht.
- Wilhite, D. A. and Glantz, M. H., 1985. Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water international*. 10(3), 111-120.
- Wilhite, D. A., Svoboda, M. D. and Hayes, M. J., 2007. Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness. *Water resources management*. 21, 763-774.
- Yun-Hao, C. H. E. N., Xiao-Bing, L. I., Pei-Jun, S. H. I., Wen, D. O. U., and Xia, L. I., 2003. Intra-annual vegetation change characteristics in the NDVI-Ts space: application to farming-pastoral zone in North China. *Journal of Integrative Plant Biology*. 45(10), 1139-1145.
- 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.





Environmental Sciences Vol.21 / No 3 / Autumn 2023

195-212

Original Article

Comparison of remotely sensing and meteorological data-derived drought indices in mid-western Iran

Hamid Nazaripour,^{1*} Hossein Jahantigh² and Mokhtar Jafari³

¹Department of Physical Geography, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

²Faculty of Natural Resources, Higher Education Complex of Saravan, Saravan, Iran

³Department of Geography and Geographical Information Systems, Faculty of Humanities and Social Sciences, Golestan University, Golestan, Iran

Received: 2023.02.15 Accepted: 2023.07.15

Nazaripour, H., Jahantigh, H. and Jafari, M., 2023. Comparison of remotely sensing and meteorological data-derived drought indices in mid-western Iran. *Environmental Sciences*. 21(3): 195-212.

Introduction: Drought, as one of the major natural hazards, affects the environment, society, agriculture and economy. Several indices have been developed for drought quantification based on ground data and remote sensing. Traditional drought quantification methods are based on meteorological data and conventional criteria and are usually not available in near real-time. On the other hand, data based on remote sensing are continuously available and can be used to detect several aspects and characteristics of drought. The purpose of this research is to investigate and compare different indices derived from remote sensing and meteorological data for local scale drought monitoring (eastern part of Kurdistan Province).

Material and methods: Seven drought indices were compared, including Vegetation Condition Index (VCI), Vegetation Drought Index (VDI), Vegetation Health Index (VHI), Vegetation Supply Water Index (VSWI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Temperature Condition Index (TCI) and Standardized Precipitation Index (SPI). Remote sensing indicators are derived from MODIS data. The meteorological index SPI is obtained by combining the data of rain gauge stations and gridded precipitation data. The digital maps of the seven drought indicators have been prepared for the period of 2002-2021 with the same time interval (16-days). To analyze the characteristics of each drought index, a comparative method including the selection

* Corresponding Author: *Email Address*. h.nazaripour@gep.usb.ac.ir

<http://dx.doi.org/10.48308/envs.2023.1280>

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1402.21.3.9.9>



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

of specific periods of drought and spatial drought identification characteristics has been used. The comparison of drought indicators was done May, which is the growing season. Finally, Pearson's correlation analysis was used to evaluate the behavioral similarity of the indicators.

Results and discussion: The spatial comparative analysis between the drought indicators showed that all the indicators had certain adaptations in the distribution of the regional scale of drought, especially those derived from similar data sets. Meanwhile, the difference in local scale distribution was found among different groups of indicators. The results showed that the general trend of the VSWI had a better compliance with the standardized precipitation index. Based on the correlation analysis, it was proved that the VSWI can be a better reflection of the amount of rainfall and the severity of drought due to the lack of rainfall. In addition, the land surface temperature (LST) contributes more to the VSWI results than the reflectance information. A two-period (32-day) delay of the indicators indicating the state of vegetation is a good indicator of the meteorological drought conditions in the study area. The absence and lack of rainfall in at least five periods (80 days) earlier can had a serious effect on the state of vegetation in the existing conditions. Plain and mountainside areas located in the central, eastern and south-eastern parts of the study area were more sensitive to drought conditions than other parts due to the dominance of grain farming, especially rainfed farming.

Conclusion: While remote sensing drought indicators have many advantages in the analysis of drought in real-time, meteorological drought indicators are still the priority for drought monitoring. This is due to the dependence of hydrological and agricultural systems on meteorological conditions. Mainly, these hydrological and agricultural systems in different regions respond to meteorological fluctuations with different time delays. Understanding these complex relationships between meteorological, hydrological and agricultural systems can be useful in early preparation programs against drought and its management.

Keywords: Drought analysis, Remote sensing, Vegetation Supply Water Index (VSWI), Standardised Precipitation Index (SPI), Vegetation Health Index (VHI).

