

ارزیابی شاخص خشکی گیاه مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای در استان سیستان و بلوچستان

کمال امیدوار*

استاد گروه جغرافیا، پردیس علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، ایران

معصومه نبوی زاده

دانشجوی دکتری گروه جغرافیا، پردیس علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، ایران

حمیدرضا غفاریان مالگیری

استادیار گروه جغرافیا، پردیس علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، ایران

احمد مزیدی

دانشیار گروه جغرافیا، پردیس علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰

چکیده

کاهش بارندگی و افزایش دما باعث وقایع آب‌وهوایی شدید مثل خشک‌سالی شده است که به شدت در زمینه کشاورزی تأثیرگذار است. اطلاعات درباره زمان، شدت و وسعت خشک‌سالی می‌تواند به برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری کمک کند. شاخص‌های خشک‌سالی حاصل از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالایی دارند، بنابراین تعیین شرایط خشک‌سالی در زمان واقعی جهت استفاده از آن‌ها، برای مناطق وسیع بسیار دشوار است. به همین دلیل، امروزه شاخص‌های خشک‌سالی سنجش از دوری به‌طور گسترده جهت پایش خشک‌سالی استفاده می‌شود. در این پژوهش به ارزیابی کارایی شاخص خشکی گیاه (VDI) در محدوده استان سیستان و بلوچستان پرداخته شد. برای انجام پژوهش از تصاویر طیف‌سنجی مادیس با وضوح متوسط (MOD11A1 و MOD02HKM)، شاخص بارش استاندارد (SPI) و داده‌های بارش ماهانه GLDAS در یک دوره زمانی از ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ استفاده شده است. جهت ارزیابی دقت نقشه‌های توزیع مکانی شاخص VDI در برآورد خشک‌سالی از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. نتایج معیار ارزیابی، نشان‌دهنده میزان همبستگی بالا در منطقه مورد مطالعه بود. از این‌رو شاخص خشک‌سالی VDI مبتنی بر داده‌های سنجش از دوری به‌خوبی می‌تواند در سیستم‌های هشدار سریع خشک‌سالی استفاده شود.

واژگان کلیدی: خشک‌سالی، شاخص VDI، داده‌های بارش مدل جهانی GLDAS، محصولات طیف‌سنجی، شاخص بارش استاندارد (SPI).

مقدمه

خشک‌سالی یکی از مخاطرات مهم و پرتکرار است که با استفاده از پارامترهای ثبت شده بر روی زمین مثل شاخص بارش استاندارد و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور قابل‌شناسایی و تخمین است (اتکینگ و کاستوس^۱).

۲۰۱۳، ۴۷) و (گیلیان و گلنز، ۲۰۱۱، ۷۷۱). چندین شاخص خشک‌سالی آب و هوایی و هیدرولوژیکی در پایش خشک‌سالی کشاورزی از جمله شاخص شدت خشک‌سالی، شاخص رطوبت محصول و شاخص بارش استاندارد وجود دارد که عمدتاً مبتنی بر متغیرهای آب‌وهوا شناسی می‌باشند (زرگر و همکاران، ۲۰۱۱، ۳۳۵). با این حال، این شاخص‌ها با سه مسئله روبرو هستند: الف) این شاخص‌ها متکی بر متغیرهای هیدرو اقلیم اندازه‌گیری شده در یک مقیاس نقطه‌ای هستند، بنابراین شاید نتوانند با دقت مناسبی جزئیات فضایی خشک‌سالی را نشان دهند (کانلو و همکاران، ۲۰۰۸، ۱۱۴). ب) این شاخص‌ها از طریق تکنیک‌های مختلف زمین آمار به صورت فضایی می‌توانند درون‌یابی شوند، اما نقشه‌های خروجی حاصل از روش‌های درون‌یابی مختلف با استفاده از متغیرهای ورودی یکسان می‌توانند بسیار متفاوت باشند (لی و هیپ، ۲۰۱۳، ۱۷۶). ج) این شاخص‌ها بیشتر به گپ‌ها و ناپیوستگی داده‌ها می‌پردازند. در پرداختن به این عدم قطعیت‌ها، روش‌های مبتنی بر سنجش از دور مورد استفاده قرار گرفتند چرا که سنجش از دور، منبع داده‌های مربوط به مسائل توزیع فضایی و زمانی می‌باشند. اکثر این روش‌ها بر اساس شاخص‌های طیفی توسعه داده شدند (زرگر و همکاران، ۲۰۱۱، ۳۳۵). NDVI به عنوان یکی از اولین شاخص‌های رایج برای پایش وضعیت پوشش گیاهی و تشخیص خشک‌سالی در مقیاس منطقه‌ای است که مطالعات زیادی در مورد آن انجام شده است: (آنیامبا و تاکر، ۲۰۰۵؛ کوگان، ۱۹۹۰؛ لی و همکاران، ۲۰۱۵؛ تاکر و همکاران، ۱۹۸۱؛ وینستنت سرانو و همکاران، ۲۰۰۴؛ صفری شاد و همکاران، ۱۳۹۵؛ یزدان پناه و همکاران، ۱۳۹۳؛ فاضل دهکردی و همکاران، ۱۳۹۵؛ فرخ زاده و همکاران، ۱۳۹۶؛ نبی زاده بلخکانلو و همکاران، ۱۳۹۶). سیر مطالعات بعدی نشان داد شاخص NDVI دارای دو محدودیت اصلی می‌باشد، اول میزان تأخیر زمانی میان بارندگی و واکنش NDVI و دوم، تأثیر تأخیری بارش در دوره شکل‌گیری بذر گیاه در فصل رشد، (رحیم زاده باجگیران و دیگران، ۲۰۰۸؛ رحیم زاده باجگیران و دیگران، ۲۰۰۹ و وانگ، ۲۰۰۱)، علاوه بر آن NDVI به میزان آب منطقه واکنش مناسبی نشان نمی‌داد. بدین جهت در پژوهش‌های بعدی لزوم توجه به یک شاخص حساس‌تر به میزان تنش آب در گیاهان، مورد توجه قرار گرفت و برای غلبه بر آن، رویکردهای ترکیب شاخص NDVI و LST برای تعیین محتوای رطوبت پوشش گیاهی گسترش پیدا کرد و از LST، برای تخمین آب خاک و گیاه استفاده شد. کاربرد LST در تشخیص تنش آبی تاج پوشش گیاهی و میزان تبخیر و تعرق محصولات به دهه‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰ بر می‌گردد و با پیشرفت سنجش از دور حرارتی، شاخص‌هایی که تنش آب در محصولات را برآورد می‌کردند، از دقت بالاتری برخوردار شدند (جکسون، ۱۹۸۱؛ ادسو^۵ و همکاران، ۱۹۸۱؛ سندهولت^۶ و همکاران، ۲۰۰۲؛ نیازی و همکاران، ۱۳۹۶؛ حمزه و همکاران، ۱۳۹۶؛ نیک‌پی و مؤمنی، ۱۳۹۸). طبق مطالعات صورت گرفته از بین شاخص‌های پایش تنش آبی، می‌توان گفت شاخص VDI از امتیاز ویژه‌ای برخوردار است. این شاخص کمبود میزان آب پوشش گیاهی را با استفاده از باندهای مادون قرمز در سطح تاج پوشش گیاهی تخمین می‌زند و در مناطقی با

2 - Ghilian & Gellens

3 Anyamba & Tucker

4 Vincente-Serrano et al, 2006

5 Idso

6 Sandholt

پوشش گیاهی فقیر با تغییرات دمایی زیاد، جهت ارزیابی خشک‌سالی مناسب می‌باشد (لینشنگ^۷، ۲۰۱۲). در بسیاری از مطالعات دیگر نیز به این امر اذعان شده است که در ادامه بیان می‌شود، (چانگ و همکاران، ۲۰۲۱ در آسیای مرکزی؛ چن و همکاران، ۲۰۱۹ در کاستاریکا؛ الباکری و همکاران، ۲۰۱۹ در جردن ایالت مونتانا؛ آمریکا؛ امیری و همکاران، ۲۰۲۰ در ایران؛ آکینیمی و گومو^۸، ۲۰۱۹ در شرق بوتسوانا جنوب آفریقای مرکزی، دوز سنتس و همکاران^۹، ۲۰۲۱، در برزیل) همه محققان فوق در مقاله خود به ارزیابی شاخص خشکی پوشش گیاهی VDI پرداخته و بیان داشتند که شاخص موردنظر توانایی بالایی جهت پیش‌کشک‌سالی دارد و شاخص VDI می‌تواند نقش مهمی در پیش‌کشک‌سالی آینده پوشش گیاهی داشته باشد.

استان سیستان و بلوچستان به‌عنوان پهناورترین استان خشک کشور دارای پوشش گیاهی فقیر و تغییرات دمایی زیادی است و به علت آسیب‌پذیری و حساسیت مناطق خشک، پیش‌کشک‌سالی در این مناطق بسیار ضروری است و از طرفی به علت وسعت منطقه، با مشکل گپ و ناپیوستگی داده‌ها و فقدان داده‌های زمین مرجع ایستگاهی روبروست. بنابراین در این منطقه، پیش‌کشک‌سالی به‌وسیله شاخص‌های سنجش از دوری می‌تواند مفید واقع شود. در این مطالعه جهت پیش‌کشکی گیاه، از شاخص خشکی گیاه VDI استفاده شد. در ابتدای امر برای اطمینان به نتایج نقشه‌های خروجی نیاز به تأیید فرضیه‌ای مبنی بر وجود رابطه منفی بین مؤلفه‌های شاخص VDI است که در صورت تأیید رابطه میزان قطعیت در نتایج خشک‌سالی افزایش پیدا خواهد کرد (سان و همکاران، ۲۰۱۳). پس از تأیید فرضیه فوق، از شاخص VDI جهت پیش‌کشکی در منطقه استفاده می‌شود. شایان ذکر است که به دلیل وسعت زیاد بیابان‌ها در این استان و وضعیت خشکی شدید دائمی بیابان‌ها، مناطق دارای پوشش گیاهی از مناطق بیابانی جدا شد و پیش‌کشک‌سالی فقط در مناطق دارای پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفت. لذا در ادامه بعد از معرفی منطقه مورد مطالعه، روش کار به‌طور کامل ارائه و در نهایت نتایج در قالب دو بخش بحث و نتیجه‌گیری ارائه خواهد شد.

منطقه مورد مطالعه

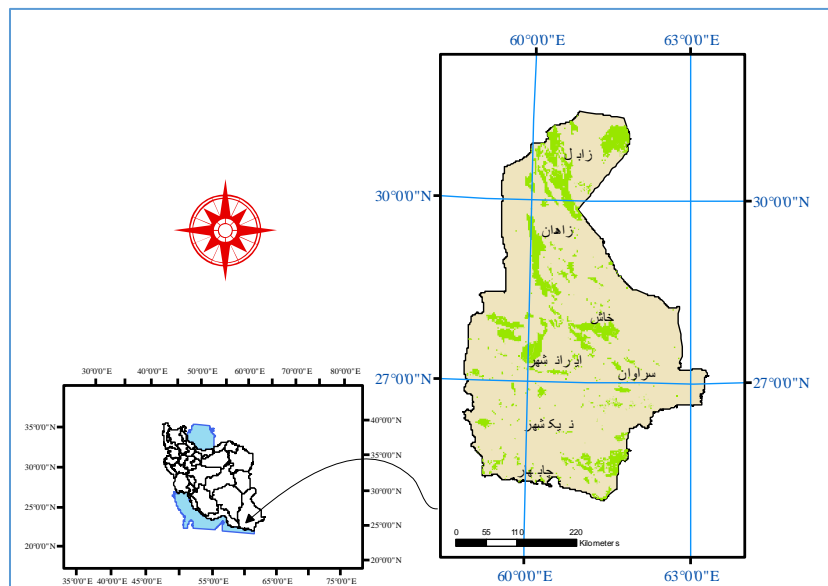
استان سیستان و بلوچستان، با وسعتی حدود ۱۸۱۷۸۵ کیلومتر مربع پهناورترین استان کشور در جنوب شرقی کشور می‌باشد و ۵ درجه عرض جغرافیایی گسترش دارد. این استان به دلیل قرار گرفتن در عرض‌های جغرافیایی پایین، از آب و هوایی گرم و خشک برخوردار است و بیش از نیمی از سال تحت تسلط سامانه پرفشار جنب‌حاره‌ای قرار دارد، همین عامل باعث گرم و خشک شدن هوا می‌شود. منشأ اصلی بارندگی‌های جنوب شرق ایران عمدتاً سامانه‌های مدیترانه‌ای هستند که در فصول سرد سال در بستر بادهای غربی به این منطقه وارد می‌شوند. ترکیب سامانه‌های مختلف در فصول سرد سال باعث می‌شود که بارندگی‌های این منطقه از سالی به سال دیگر متفاوت باشد و از ضریب تغییرات بالایی برخوردار گردد (رضیئی

7 Linsheng

8 -Akinyemi & Kgommo

9 -dos Santos

و همکاران، ۱۳۸۶). بالا بودن میانگین دما و پایین بودن نوسانات آن از مشخصه‌های اساسی اقلیم منطقه است (پیری و همکاران، ۱۳۹۲). موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه و محدوده پوشش گیاهی در استان

داده‌ها و روش‌ها

شاخص VDI

شاخص خشکی گیاه VDI، کمبود آب پوشش گیاهی را در سطح تاج پوشش گیاهی تخمین می‌زند و برای برآورد خشک‌سالی، نیاز به برآورد شاخص وضعیت آب (WCI) و شاخص دمایی (TCI) دارد. شاخص WCI، می‌تواند حداکثر و حداقل میزان آب را ارزیابی کند و تنش آب مورد نیاز گیاهان را مورد بررسی قرار دهد (سینگ^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۰، ۴۴۸). از آنجا که هدف پایش خشک‌سالی در مناطق دارای پوشش گیاهی است و مساحت زیادی از استان دارای شرایط بیابانی می‌باشد. به همین دلیل مناطق دارای پوشش گیاهی از مناطق بدون پوشش گیاهی و بایر توسط لایه کاربری ارضی جدا شدند.

TCI و WCI هر دو همبستگی مثبتی با خشک‌سالی دارند که در آن مقادیر بالاتر منعکس کننده شرایط خوب و ارزش‌های پایین‌تر نشان‌دهنده شرایط بد است به‌طور کلی، WCI نشان‌دهنده کمبود آب در گیاهان است و TCI نشان‌دهنده کمبود آب در خاک است (سان^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۳، ۸۹۸۶).

شاخص وضعیت آب (WCI)

- برای محاسبه شاخص WCI، در مرحله اول شاخص آب تفاضلی نرمال شده (NDWI) محاسبه می‌شود، این شاخص، نخستین بار در سال ۱۹۹۶ توسط مک فیترز به منظور جداسازی عوارض آب‌های آزاد و برجسته‌سازی آن‌ها در تصاویر رقومی سنجش از دوری ارائه شده است. در محاسبه VDI، از اختلاف بین دمای روز و شب استفاده می‌شود زیرا اختلاف دما با رطوبت خاک ارتباط زیادی دارد (سان و همکاران، ۲۰۱۳، ۸۹۹۰).

$$NDWI = \frac{NIR + SWIR}{NIR - SWIR} \quad (1)$$

$$WCI_i = \frac{NDWI_i - NDWI_{min}}{NDWI_{max} - NDWI_{min}} \quad (2)$$

$$\Delta LST = LST_{Day} - LST_{Night} \quad (3)$$

$$\Delta TCI = \frac{\Delta LST_{max} - \Delta LST_i}{\Delta LST_{max} - \Delta LST_{min}} \quad (4)$$

$$VDI = \alpha_1 \times WCI_i + \alpha_2 \times \Delta TCI_i \quad (5)$$

- $NDWI_{max}$ ، $NDWI_{min}$ ، حداکثر و حداقل NDWI برای یک پیکسل در تمام ماه‌ها هستند (فرمول ۱ و ۲)؛
 - LST_{max} و LST_{min} حداقل و حداکثر دمای سطح زمین در دوره زمانی مشخص است و هرچه مقدار TCI پایین‌تر باشد نشان‌دهنده آب و هوای گرم‌تر می‌باشد و بالعکس (فرمول ۳ و ۴)؛
 - بعد از محاسبه شاخص VDI خشک‌سالی‌ها از نظر شدت در پنج کلاس نمایش داده می‌شوند (جدول ۱، فرمول ۵).

جدول ۱: میزان و کلاس‌های خشک‌سالی در شاخص VDI (سان و همکاران، ۲۰۱۳)

کلاس	بسیار شدید	شدید	متوسط	ملایم	عدم خشک‌سالی
میزان	≤ ۱۳	≤ ۲۲	≤ ۳۲	≤ ۴۱	> ۴۱

ضریب همبستگی پیرسون

در این مقاله، برای ارزیابی شاخص VDI از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. ضریب همبستگی پیرسون، یکی از رایج‌ترین و مفیدترین روش‌های آماری است که درجه همبستگی بین دو متغیر را نشان می‌دهد. مقدار این ضریب بین -۱ و +۱ است و از طریق رابطه ۶ محاسبه می‌شود (ویل‌هایت، ۲۰۱۲).

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \quad (6)$$

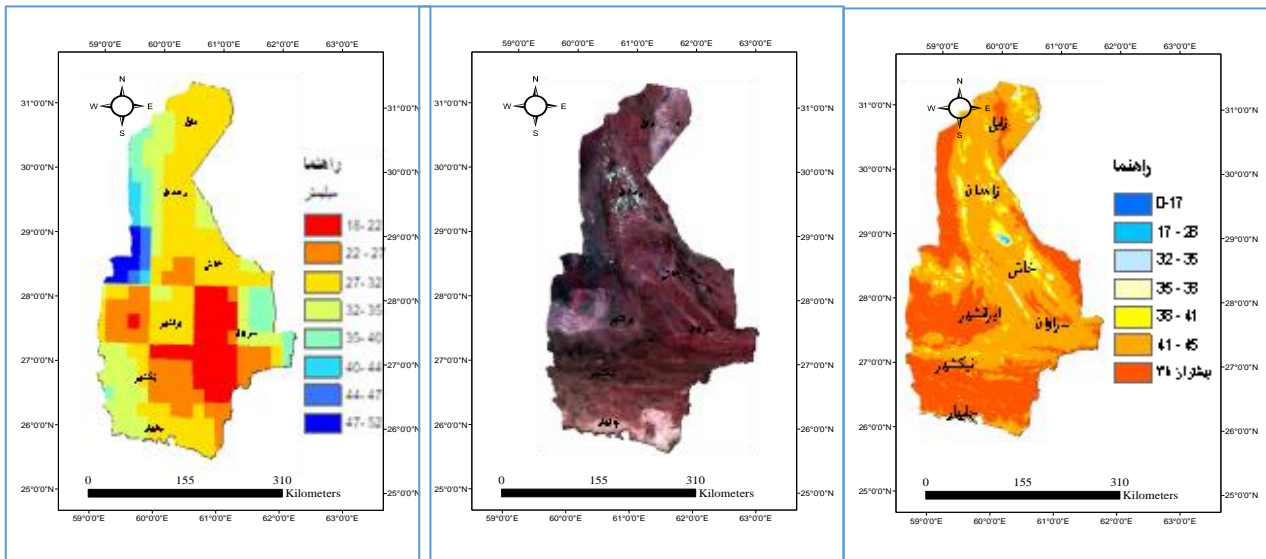
که در آن، O_i مقدار شاخص خشک‌سالی مبتنی بر داده‌های بارش، P_i مقدار خشک‌سالی مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای، به ترتیب متوسط مقدار شاخص \bar{O} و \bar{P} به ترتیب متوسط مقدار شاخص خشک‌سالی حاصل از داده‌های بارش و داده‌های ماهواره‌ای و n تعداد کل داده‌ها هستند. هرچه مقدار همبستگی به ۱ و -۱ یا قدر مطلق آن به یک نزدیک‌تر باشد در این صورت قوت رابطه بیشتر خواهد بود و هر چه مقدار آن به صفر نزدیک شود در این صورت شدت رابطه کمتر خواهد بود بنابراین بر اساس قدر مطلق آن می‌توان رابطه را مشخص کرد (کوهن، ۱۹۸۸) در پژوهش خود، نقاط ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵ را معرفی می‌کند که مقادیر مطلق همبستگی کمتر از ۰/۱ همبستگی ناچیز، بین ۰/۳ و ۰/۵ متوسط و بزرگ‌تر از ۰/۵ همبستگی قوی را نشان می‌دهد.

مدل جهانی سطح زمین

سیستم تحلیل و شبیه‌سازی زمین در پوشش جهانی یا همان GLDAS، به‌طور مشترک توسط دانشمندان سازمان ملی هوانوردی و فضا (NASA)، مرکز پرواز فضایی گودارد (GSFC)، سازمان ملی اقیانوسی و جوی (NOAA) و مراکز ملی پیش‌بینی محیط‌زیست (NCEP) در برخی زمینه‌ها توسعه داده شده است. GLDAS سیستم مدل‌سازی جهانی سطح آب زمین است که از داده‌های مشاهده‌ای ماهواره‌ای و همچنین پژوهش‌های هیدرولوژیکی برای شبیه‌سازی آب و هوا استفاده می‌کند. این سیستم مجموعه‌ای از محصولات را تولید می‌کند که توسط چهار مدل سطح زمین (CLM, Mosaic, Noah)، VIC شبیه‌سازی شده‌اند. در پژوهش حاضر از داده‌های ماهانه بارش ماه آوریل، مدل Noah با تفکیک مکانی $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ درجه برای سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۱۸ استفاده شد که از تارنمای Giovanni اخذ شدند.

تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

جهت برآورد WCI، از تصاویر سطح یک مادیس (MOD02HKM) با تفکیک مکانی ۵۰۰ متر در طول موج‌های (۸۷۶ - ۸۴۱) و (۲۰۱۵ - ۲۱۵۵) نانومتر و جهت محاسبه TCI، محصول ۸ روزه LST با تفکیک مکانی یک کیلومتر، به تعداد ۱۴۲ تصویر در ماه آوریل (ماه رویشی در اکثر نقاط استان)، از درگاه داده‌ای سیستم دیده‌بانی جهانی (EOS) دانلود شد. به علت تفکیک مکانی مختلف، پس از نمونه‌گیری مجدد^{۲۲}، تصاویر میانگین ماهانه، از تصاویر ۸ روزه در یک دوره زمانی از ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ استخراج شد. شکل ۲ میزان میانگین بلندمدت ماه آوریل دو عامل دما و بارش منطقه را نشان می‌دهد (الف و ج). تصویر (ب) نیز تصویر بازتابی MOD02HKM در ۷ باند طیفی است.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: از سمت راست: الف) تصویر میانگین بلندمدت ماه آوریل (۱۹ سال) دمای سطح زمین (MOD11A1)، ب) تصویر ماهواره‌ای ۷ بانده (MOD02HKM؛ ج) میزان بارش GLDAS میانگین بلندمدت آوریل (۱۹ سال)

محاسبه شاخص خشک‌سالی بارش استاندارد شده SPI

شاخص SPI نمایه‌ای است که بستگی به احتمال بارش برای هر مقیاس زمان دارد و برای مقیاس‌های زمانی مختلف قابل محاسبه است. این روش به وسیله (مک کی و همکاران، ۱۹۹۳)، با توجه به بررسی تأثیرات متفاوت کمبود بارش بر روی آب‌های زیرزمینی، منابع آب سطحی، رطوبت خاک و جریان آبراهه ارائه شده است. شاخص SPI از رابطه ۷ به دست می‌آید که در آن مقدار بارش در دوره مورد نظر P_i ، میانگین درازمدت بارش برای دوره مورد نظر \bar{P} و S انحراف معیار مقدار بارش است. برای محاسبه این نمایه، از توزیع گاما برای برآزش داده‌های بارش استفاده می‌شود. سپس محاسبه‌های لازم و تعیین متغیرهای مربوط به نمایه SPI انجام می‌گیرد که در اینجا از SPI یک‌ماهه استفاده شده است.

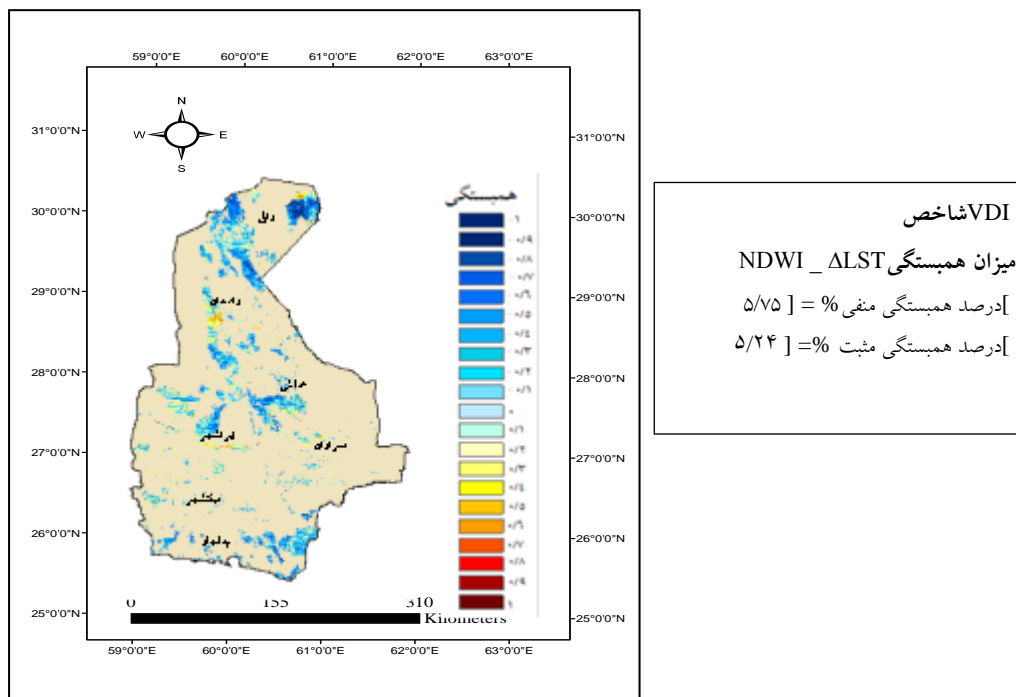
$$SPI = \frac{(P_i - \bar{P})}{S} \quad (7)$$

بحث و یافته‌ها

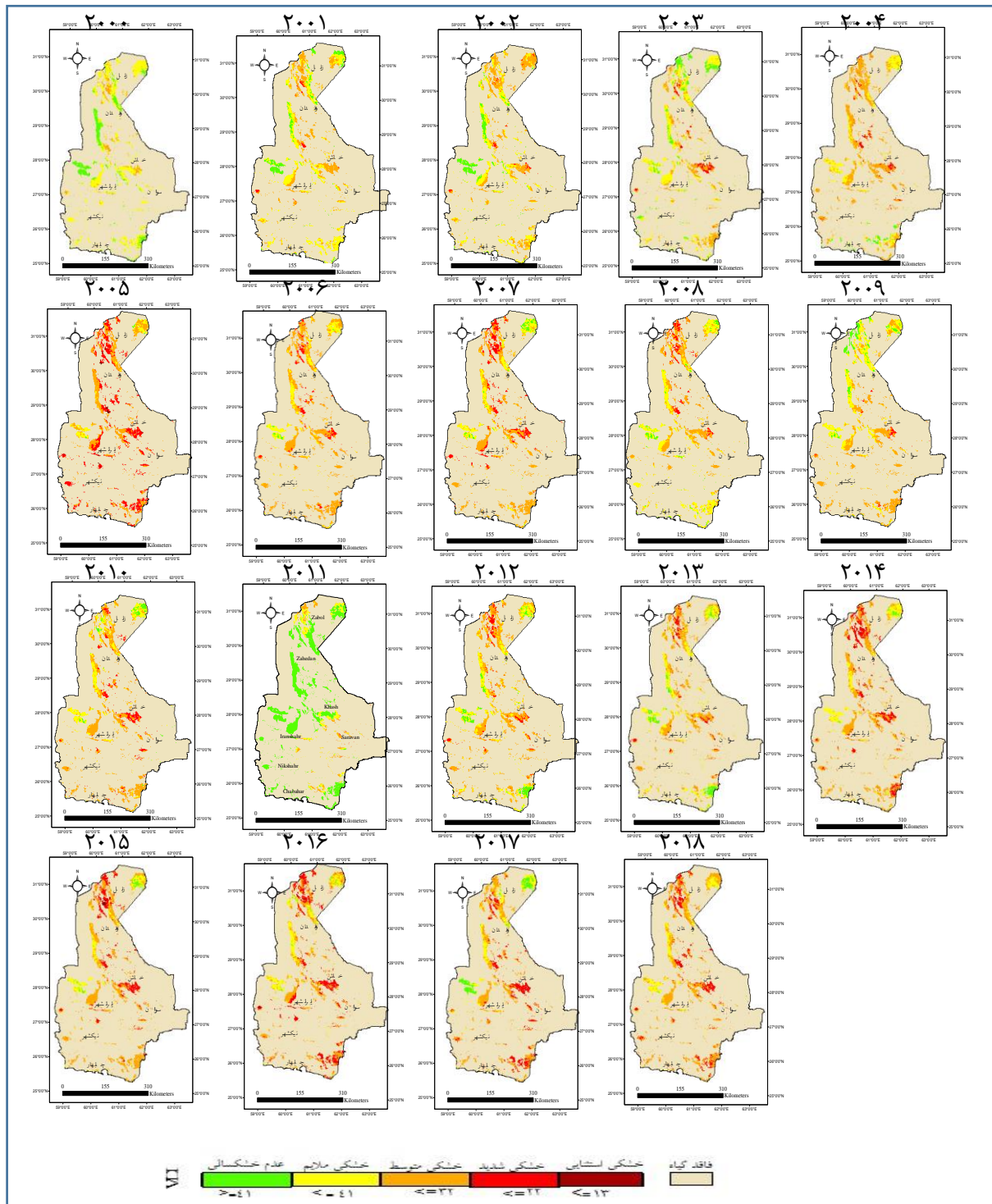
نقشه‌های توزیع مکانی شدت خشک‌سالی بر اساس شاخص VDI از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸، برای استان سیستان و بلوچستان در کلاس‌های پنج‌گانه ترسیم شد (جدول ۱). در این پژوهش ماه آوریل به عنوان ماه مورد مطالعه (ماه حداکثر رویش در استان)، جهت پایش خشکی گیاه انتخاب گردید و از طرفی چون مناطق بیابانی اغلب شرایط خشک‌سالی را نشان می‌دهد، از پایش حذف شده و فقط مناطق دارای پوشش گیاهی، از نقشه کاربری اراضی استخراج گردید (شکل ۱) و در راهنمای نقشه‌ها به عنوان مناطق فاقد پوشش گیاهی تعریف شد.

بررسی میزان عدم قطعیت

شاخص VDI رابطه منفی بین NDWI و LST را فرض می‌کند. اگر رابطه مثبت در منطقه مورد مطالعه یافت شود، ما باید انتظار عدم قطعیت را در نتیجه خشک‌سالی داشته باشیم (سان و همکاران، ۲۰۱۳). برای بررسی میزان قطعیت در منطقه مورد مطالعه و تأیید آن از میزان همبستگی بین NDWI محاسبه شده با میزان اختلاف دمای شب - روز ΔLST استفاده شد در شکل ۳ به‌طور واضح نشان داده شد که NDWI محاسبه شده، میزان همبستگی منفی بسیار بالایی کسب نموده است (۷۵/۵ درصد همبستگی منفی).



شکل ۳: میزان و درصد همبستگی مثبت و منفی میان NDWI و ΔLST



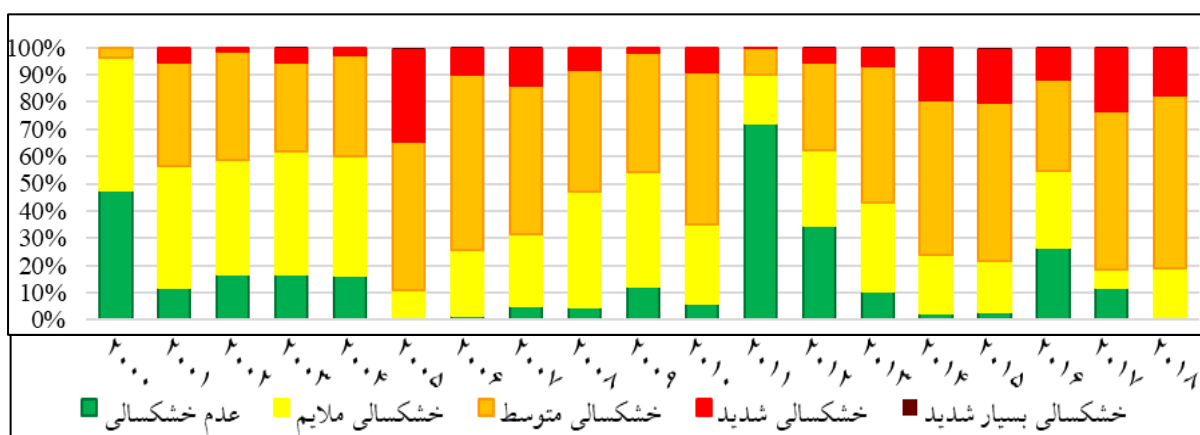
شکل ۴: شاخص VDI به ترتیب از چپ به راست از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ در ماه آوریل

- بیشترین حساسیت به خشکی پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۵، به صورت طبقات مختلف خشکسالی به صورت تفکیک شده، نشان داده شده است (۸/۷ درصد در محدوده خشکسالی ملایم، ۴۸/۷ درصد در محدوده خشکسالی متوسط، ۴۰/۹ درصد در کلاس خشکسالی شدید و ۱/۲۶ درصد در خشکسالی بسیار شدید و استثنائی و تنها ۰/۵ درصد در محدوده

عدم خشک‌سالی واقع شده است) در این سال تسلط خشکی با کلاس‌های متوسط و شدید بوده است. شرایط خشکی در زمین‌های اطراف دریاچه هامون و نیمه غربی استان نه‌تنها در سال ۲۰۰۵ بلکه در اکثر سال‌ها، از نوع خفیف تا متوسط و عدم خشک‌سالی بوده که علت این امر می‌تواند مربوط به ورودی آب از کشور افغانستان در دریاچه هامون و استفاده از آب‌های زیرزمینی باشد.

در شکل ۵ نشان داده شد ماه آوریل سال ۲۰۱۱ در نقشه‌های خروجی VDI به‌عنوان مرطوب‌ترین ماه در طول دوره مورد مطالعه است در این سال اکثر مناطق دارای پوشش گیاهی در کلاس عدم خشک‌سالی قرار گرفته و بقیه مناطق در کلاس خشک‌سالی ملایم تا متوسط واقع شدند.

در سال‌های مورد مطالعه دیگر بیشتر چهار کلاس از متوسط تا عدم خشک‌سالی در استان مشاهده شده است خشک‌سالی‌های استثنایی و بسیار شدید کمتر از ۱/۵ درصد مشاهده شده است (شکل ۵).

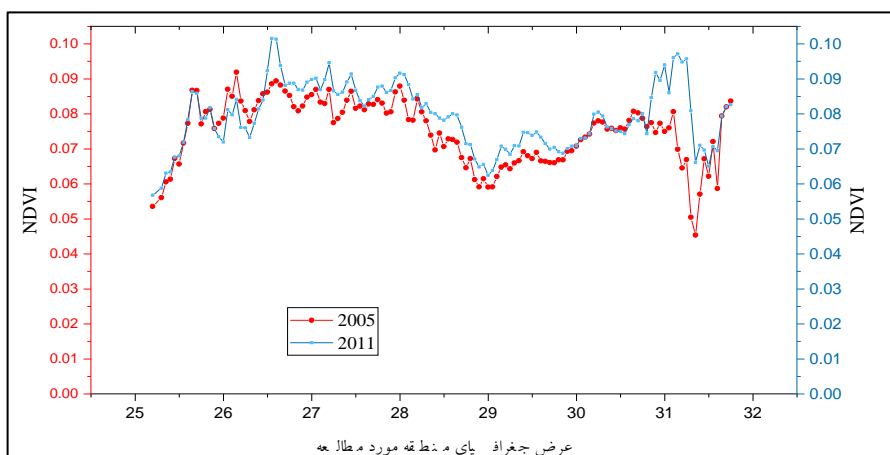


شکل ۵: نمودار وسعت پنج کلاس شدت خشک‌سالی در کل استان به درصد

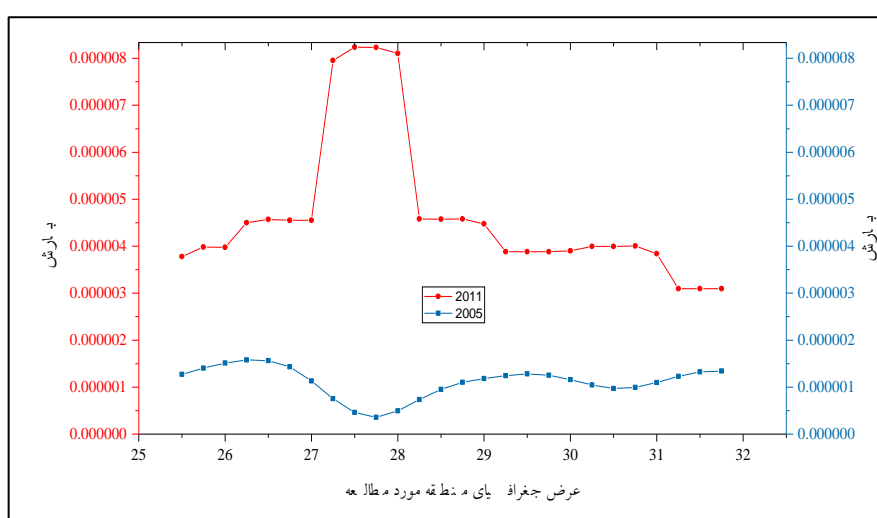
آنچه که روشن است افزایش خشکی گیاه با کاهش میزان بارندگی و NDVI رابطه مستقیمی دارد در اینجا برای بررسی این رابطه، دو سالی که در نقشه‌های خروجی VDI به‌عنوان ترسالی و خشک‌سالی (به ترتیب یعنی سال ۲۰۱۱ و ۲۰۰۵)، مشخص شده از نظر میزان بارندگی و پوشش گیاهی NDVI نیز مورد بررسی قرار گرفتند بدین منظور از نمودارهای مقایسه‌ای که میانگین ماهانه بارش جهانی و NDVI را در عرض‌های مختلف جغرافیایی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد، استفاده شد این نمودارها از سایت Giovanni ناسا^{۱۳} اخذ شدند.

در شکل ۶ و ۷، مشخص شده است که رفتار NDVI و بارش ماهانه در سال ۲۰۱۱ و ۲۰۰۵ نمایانگر ترسالی و خشکی در منطقه مورد مطالعه است.

13 - https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=ZnMn&starttime=2011-04-01T00:00:00Z&endtime=2011-04-30T23:59:59Z&bbox=59.2383,25.1807,63.1934,31.7285&data=GLDAS_NOAH025_M_2_1_Rainf_f_tavg



شکل ۶: نمودار مقایسه‌ای میزان NDVI در سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۰۵



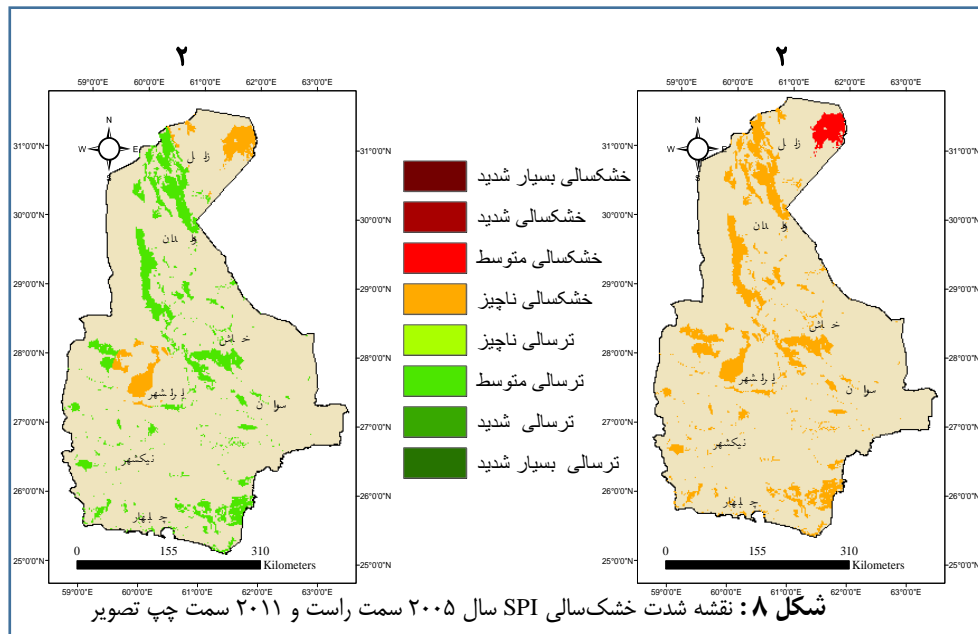
شکل ۷: نمودار مقایسه‌ای میزان بارش در سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۰۵

نقشه‌های شدت خشک‌سالی ۲۰۱۱ و ۲۰۰۵ بر اساس شاخص SPI

همان‌طور که قبلاً بیان شد، مقایسه میزان NDVI و رفتار بارش ماهانه در سال ۲۰۱۱ و ۲۰۰۵ به‌خوبی نمایانگر ترسالی و خشکی در منطقه مورد مطالعه است. در اینجا علاوه بر آن، از میزان شدت خشک‌سالی SPI جهت مقایسه خروجی شاخص VDI استفاده شد. جهت تولید نقشه شدت خشک‌سالی شاخص SPI، داده‌های بلندمدت زمینی ۷ ایستگاه سینوپتیک با استفاده از روش درون‌یابی IDW، مورد استفاده قرار گرفت.

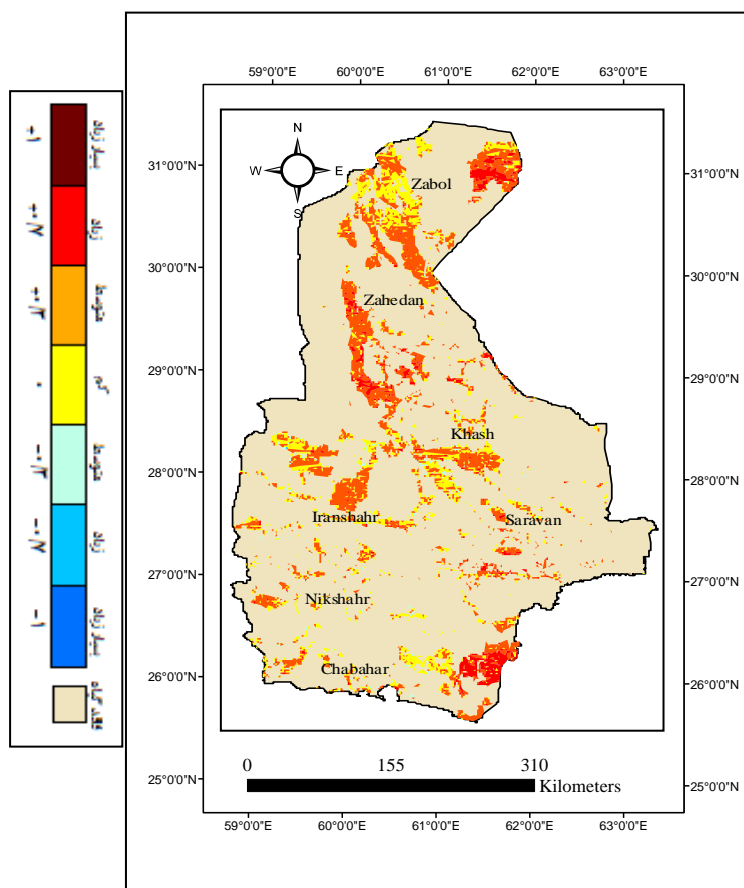
همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده شد رفتار خشک‌سالی در سال ۲۰۱۱ و ۲۰۰۵ با دو نقشه متناظر در شاخص VDI

در شکل ۴، تقریباً یکسان است.



ارزیابی نقشه‌های شدت خشک‌سالی بر اساس شاخص VDI

جهت بررسی عدم قطعیت‌ها در نقشه‌های خروجی شاخص، از میزان همبستگی با داده‌های بارش جهانی GLDAS استفاده شد تا تطابق خروجی‌ها با بارش مورد بررسی قرار گیرد. میزان توزیع همبستگی‌ها نشان داد که شاخص تطابق خوبی با بارش دارد (شکل ۹). آنچه مشخص هست، جاهایی از استان که کشت آبی دارند نسبت به کشت دیم همبستگی کمتری نشان داده است (المامالچی^{۱۴} و همکاران، ۲۰۲۰) و در مقابل قسمت‌های شمالی، شهرستان زاهدان، زابل، نیمه جنوب شرقی، مرکزی، همبستگی بالایی با بارش کسب کرده است.



شکل ۹: نقشه همبستگی VDI محاسبه شده با بارش در ماه آوریل

نتیجه گیری

با پیشرفت سنجش از دور حرارتی، شاخص‌هایی که تنش آب در محصولات را برآورد می‌کردند، از دقت بالاتری برخوردار شدند. طبق مطالعات صورت گرفته از بین شاخص‌های پایش تنش آبی، می‌توان گفت شاخص VDI از امتیاز ویژه‌ای برخوردار است برای پایش خشک‌سالی، از شاخص‌های مختلفی با منابع داده مختلفی استفاده می‌شود که این ممکن است نتایج متفاوتی را به همراه داشته باشد، در اینجا برای صحت سنجی کار آبی نتایج و نقشه‌های شاخص موردنظر از معیار بارش استفاده شد. فرایند انجام کار در این مطالعه نشان داد، میزان همبستگی میان شاخص موردنظر و بارش بالا می‌باشد، از دلایل دیگر که نشان‌دهنده کار آبی بالای این شاخص در منطقه است، میزان همبستگی منفی بالای کسب‌شده بین مؤلفه‌های NDWI و LST می‌باشد که باعث کاهش عدم قطعیت در نتایج شده است. علت استفاده از تصاویر سنجنده مادیس، باندهای طیفی باریک این سنجنده هستند که این ویژگی سبب جلوگیری از جذب طیفی بخار آب در باند مادون قرمز شده و در نتیجه خطایی که به واسطه جذب بخار آب ایجاد می‌شود، بسیار کوچک می‌شود. بنابراین دقت محاسباتی در تعیین شاخص‌های گیاهی و دمایی افزایش می‌یابد (نیازی و همکاران، ۱۳۹۶). در خاتمه می‌توان گفت شاخص VDI

حاصل از تصاویر ماهواره‌ای مودیس می‌تواند جایگزین مناسبی برای شاخص‌های هواشناسی برای برآورد خشک‌سالی باشند. البته در پایش خشک‌سالی باید از اطلاعات منابع مختلف استفاده کرد تا پایش جامع خشک‌سالی محقق شود.

منابع

۱. پیری، حمید، راهداری، وحید، ملکی، سعید (۱۳۹۲): بررسی و مقایسه کار آبی چهار نمایه خشک‌سالی هواشناسی در مدیریت خطر خشک‌سالی‌های استان سیستان و بلوچستان، فصل‌نامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال سوم، شماره یازدهم، صص ۹۶-۱۱۴.
۲. حمزه، سعید، فراهانی، زهرا، مهدوی، شهریار، چترآبگون، امید، عالم‌نیا، مهدی (۱۳۹۶): پایش زمانی و مکانی خشک‌سالی کشاورزی با استفاده از داده‌های سنجنش از دور مورد مطالعه، استان مرکزی ایران، نشریه تحلیلی فضایی مخاطرات محیطی، سال چهارم، شماره ۳، صص ۵۳-۷۰.
۳. رضیعی، طیبه، دانش کار آراسته، پیمان، ثقفیان، بهرام (۱۳۸۶): بررسی الگوی زمانی و مکانی خشک‌سالی‌های هواشناسی در استان سیستان و بلوچستان. مجله علمی کشاورزی، جلد ۳، شماره ۱، صص ۸۵-۹۹.
۴. صفری شاد، مهتاب، حبیب نژاد روشن، محمود، ایلدرمی، علیرضا (۱۳۹۵): ارزیابی شاخص NDSI در پایش خشک‌سالی به کمک تکنیک سنجنش از دور (مطالعه موردی، استان اصفهان)، نشریه اطلاعات جغرافیایی سپهر، دوره ۲۵، شماره ۱۰۰، صص ۳۵-۴۴.
۵. فاضل کردی، لیلا، طیبه السادات، سهرابی، محمدحسین، قنویزباف، رضا، قضاوی، (۱۳۹۵): پایش خشک‌سالی با استفاده از تصاویر سنجنیده MODIS در مناطق خشک مطالعه موردی مراتع استان اصفهان، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی سال ۲۷، پیاپی ۶۳، شماره ۳، صص ۱۹۰-۱۷۷.
۶. فرخ زاده، بهنوش، سپهری، عادل، منصوری، شهرزاد (۱۳۹۶): تعیین میزان همبستگی بین شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI و EVI با شاخص خشک‌سالی هواشناسی SPI (مطالعه موردی، مراتع دشتی استان گلستان)، نشریه علمی - پژوهشی هواشناسی کشاورزی، مقاله ۷، دوره ۵، شماره ۲ - شماره پیاپی ۱۰، پاییز و زمستان ۱۳۹۶، صص ۵۶-۶۵.
۷. نبی زاده بلخکانلو، عادل، حجازی زاده، زهرا، ضیائیان فیروزآبادی، پرویز (۱۳۹۶): ارزیابی وضعیت دمایی پوشش گیاهی (VTCI) برای پایش خشک‌سالی در حوضه سیمینه‌رود دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره MODIS، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۸(۵۰)، صص ۱۳۹-۱۲۹.
۸. نیازی، یعقوب، طالبی، علی، مختاری، محمدحسین، وظیفه دوست، مجید (۱۳۹۶): ارزیابی کار آبی شاخص‌های خشک‌سالی گیاهی (VDI) و دمایی (TDI) مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای در محدوده ایران مرکزی، دو فصل‌نامه علمی - پژوهشی خشک بوم، جلد ۷، شماره ۱، صص ۹۴-۷۹.
۹. نیک‌پی، حسین، مؤمنی، مهدی (۱۳۹۸): تأثیر پهنه‌بندی اقلیمی و ارتفاعی بر همبستگی شاخص‌های خشک‌سالی سنجنش از دور با داده‌های بارشی و معرفی شاخص‌های محلی، مجله سنجنش از دور و GIS ایران، شماره دوم، صص ۶۲-۴۷.
۱۰. یزدان پناه، حجت‌اله، مؤمنی، مهدی، حسینقلی نژاد، حجت، موحدی، سعید، سلیمانی تبار، مریم (۱۳۹۳): مقایسه شاخص‌های پوشش گیاهی سنجنش از دور در پایش خشک‌سالی (مطالعه موردی مراتع نیمه شمال استان خوزستان)، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۲، صص ۹۸-۸۵.

11 Akinyemi, F. O. & Kgomo, M. O. (2019): Vegetation Dynamics In African Drylands: An Assessment Based On The Vegetation Degradation Index In An Agro-Pastoral Region Of Botswana. *Regional Environmental Change*, 19(7), Pp. 2027-2039.

- 12 Al Bakri, J. & Rakonczai, J. (2019): Applicability Of A Combined Drought Index To Monitoring Drought In Jordan.
- 13 Almamalachy, Y. S. Al-Quraishi, A. M. F. & Moradkhani, H. (2020): Agricultural Drought Monitoring Over Iraq Utilizing MODIS Products. In *Environmental Remote Sensing And GIS In Iraq* (Pp. 253-278). Springer, Cham.
- 14 Amiri, M. Jafari, R. Tarkesh, M. & Modarres, R. (2020): Spatiotemporal Variability Of Soil Moisture In Arid Vegetation Communities Using MODIS Vegetation And Dryness Indices. *Arid Land Research And Management*, 34(1), Pp. 1-25.
- 15 Anyamba, A. Tucker, C.J. (2005): Analysis Of Sahelian Vegetation Dynamics Using NOAA-AVHRR NDVI Data From 1981–2003. *Journal Of Arid Environments* 63 (3) Pp. 596–614.
- 16 Chang, S. Chen, H. Wu, B. Nasanbat, E. Yan, N. & Davdai, B. (2021): A Practical Satellite-Derived Vegetation Drought Index For Arid And Semi-Arid Grassland Drought Monitoring. *Remote Sensing*, 13(3), Pp. 414.
- 17 Chen, X. Guo, Z. Chen, J. Yang, W. Yao, Y. Zhang, C. & Cao, X. (2019): Replacing The Red Band With The Red-SWIR Band (0.74 Pred+ 0.26 Pswir) Can Reduce The Sensitivity Of Vegetation Indices To Soil Background. *Remote Sensing*, 11(7), Pp. 851.
- 18 Cohen J. (1988): *Statistical Power Analysis For The Behavioral Sciences*. 2nd Ed. Hillsdale, NJ •Erlbaum
- 19 Dos Santos, G. L. Pereira, M. G. Delgado, R. C. Magistrali, I. C. Da Silva, C. G. De Oliveira, C. M. M. ... & Da Silva, T. P. (2021): Degradation Of The Brazilian Cerrado: Interactions With Human Disturbance And Environmental Variables. *Forest Ecology And Management*, 482, Pp. 118-875.
- 20 Ghilain, A. Gellens-Meulenberghs, F. (2011): Evapotranspiration Modeling At Large Scale Using Near-Real Time MSG SEVIRI Derived Data, *Journal Of Hydrology And Earth System Sciences*, 15, Pp. 771–786
- 21 Idso, S.B. Jackson, R.D. Pinter, P.J. Regina To, R.J. Hatfield, J.L. (1981): Normalizing The Stress-Degree-Day Parameter For Environmental Variability. *Agricultural Meteorology* 24 (1), Pp. 45–55.
- 22 Jackson, R.D. Idso, S.B. Regina To, R.J. Pinter, P.J. (1981): Canopy Temperature As A Crop Water-Stress Indicator. *Water Resources Research* 17 (4), Pp. 1133–1138.
- 23 Kanellou, E. Domenikiotis, C. Tsiros, E. & Dalezios, N. R. (2008): Satellite-Based Drought Estimation In Thessaly. *European Water*, 23(24), Pp. 111-122.
- 24 Kogan, F. N. (1990): Remote-Sensing Of Weather Impacts On Vegetation In Nonhomogeneous Areas. *International Journal Of Remote Sensing* 11 (8), Pp. 1405–1419.
- 25 Li, J. Heap, A. D. (2014): Spatial Interpolation Methods Applied In The Environmental Sciences: A Review. *Environmental Modelling & Software*, 53, Pp. 173–189.
- 26 Li, L. Vrieling, A. Skidmore, A. Wang, T. Muñoz, A. R. & Turak, E. (2015): Evaluation Of MODIS Spectral Indices For Monitoring Hydrological Dynamics Of A Small, Seasonally-Flooded Wetland In Southern Spain. *Wetlands*, 35(5), Pp. 851-864.
- 27 Linsheng, H. Yansheng, D. Dongyan, Z. Wenjiang, H. Dong, L. (2012): Using Temperature Vegetation Drought Index For Monitoring Drought Based On Remote Sensing Data, *Trans Tech Publications Switzerland*, 356, Pp. 2854-2859
- 28 Mcfeeters, S. K. (1996): The Use Of The Normalized Difference Water Index (NDWI) In The Delineation Of Open Water Features, *International Journal Of Remote Sensing*, 17(7), Pp. 1425-1432.
- 29 Mckee, T.B. Doesken, N.J. & Kleist, J. (1993): The Relationship Of Drought Frequency And Duration To Time Scales. In: *Proceedings Of The 8th Conference On Applied Climatology*, 17–22 January, Anaheim, CA, Am Meteor Soc, Boston, MA, Pp. 179–184.
- 30 Otkinc, Z. X. Kustas, W. (2013): Four Decades Of Progress In Monitoring And Modeling Of Processes In The Soil-Plant Atmosphere System• Applications And Challenges, *Journal Of Procedia Environmental Sciences*, Pp. 47 – 56.

- 31 Rahimzadeh-Bajgiran, P. Darvishsefat, A.A. Khalili, A. Makhdoum, M.F. (2008): Using AVHRR-Based Vegetation Indices For Drought Monitoring In The Northwest Of Iran. *Journal Of Arid Environments* 72 (6), Pp. 1086–1096.
- 32 Rahimzadeh-Bajgiran, P. Shimizu, Y. Hosoi, F. Omasa, K. (2009): MODIS Vegetation And Water Indices For Drought Assessment In Semi-Arid Ecosystems Of Iran. *Journal Of Agricultural Meteorology* 65 (4), Pp. 349–355
- 33 Sandholt, I. Rasmussen, K. & Andersen, J. (2002): A Simple Interpretation Of The Surface Temperature/Vegetation Index Space For Assessment Of Surface Moisture Status. *Remote Sensing Of Environment*, 79(2-3), Pp. 213-224.
- 34 Singh, V. K. Satpathy, R. Parveen, R. & Jeyaseelan, A. P. T. (2010): Spatial Variation Of Vegetation Moisture Mapping Using Advanced Space Borne Thermal Emission & Reflection Radiometer (ASTER) Data. *Journal Of Environmental Protection*, 1(4), Pp. 448.
- 35 Sun, H. Zhao, X. Chen, Y. Gong, A. & 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), Pp. 8986-9001
- 36 Tucker, C.J. Holben, B.N. Elgin, J.H. McMurtrey, J.E. (1981): Remote-Sensing Of Total Dry-Matter Accumulation In Winter-Wheat. *Remote Sensing Of Environment* 11 (3), Pp. 171–189
- 37 Vincente-Serrano, S.M. Pons-Fernandez, X. Quadrat-Prats, J.M. (2004): Mapping Soil Moisture In The Central Ebro River Valley With Landsat And NOAA Satellite Imagery: A Comparison With Meteorological Data. *International Journal Of Remote Sensing* 25 (20), Pp. 4325–4350.
- 38 Wang, J. Price, K.P. Rich, P.M. (2001): Spatial Patterns Of NDVI In Response To Precipitation And Temperature In The Central Great Plains. *International Journal Of Remote Sensing* 22 (18), Pp. 3827–3844.
- 39 Wilhite, D. A. (2000): Drought As A Natural Hazard, Concepts And Definitions. *A Global Assessment*, Vol. I, Edited By Donald A. Wichita, Chap. 1, Pp. 3–18.
- 40 Zargar, A. Sadiq, R. Naser, B. & Khan, F. I. (2011): A Review Of Drought Indices. *Environmental Reviews*, 19(NA), Pp. 333-349.