

وایش تغییرات اقلیمی با تمرکز بر مخاطره خشکسالی با استفاده از فن آوری فضایی جهت مدیریت منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: حریم پوششی رودخانه کارون)

یوسف درویشی^۱، محمد فدائیان^۲، رضا سارلی^{۳*}

^۱استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور

^۲استادیار گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور

^۳دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، گرایش تغییر اقلیم، دانشگاه گلستان، گرگان.

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۲/۲۱

چکیده

با توجه به روند تغییرات اقلیم و کاهش بارندگی در دهه اخیر، خشکسالی به یک مشکل بزرگ در جهان و بالاخص در مناطق خشک و نیمه خشک از قبیل ایران تبدیل شده است. از این رو پایش خشکسالی نقش مهمی در طراحی و مدیریت منابع طبیعی، سیستم‌های منابع آب، تعیین نیاز آبی گیاه ایفا می‌نماید. در مقابل روش های سنتی که مبتنی بر مشاهدات ایستگاه های هواشناسی هستند و بیشتر به بررسی خشکسالی هواشناسی می پردازند، استفاده از تکنیک سنجش از دور و تصاویر ماهواره ای به عنوان یک ابزار مفید جهت پایش مکانی و زمانی خشکسالی مورد توجه محققین واقع شده است. اما استفاده از این تکنیک و نتایج حاصل از آن همچنان نیاز به ارزیابی و واسنجی برای مناطق مختلف دارد. هدف این پژوهش ارزیابی پوشش گیاهی و دمای سطح زمین جهت تحلیل دوره خشکسالی و ترسالی در حریم پوششی رودخانه کارون استان خوزستان با استفاده از تصاویر ماهواره مادیس سنجنده ترآ، داده های بارش ایستگاه های سینوپتیک واقع در منطقه، شاخص های سنجش از دوری همچون TCI, VCI, VHI به منظور آشکارسازی تغییرات رخ داده در بازه زمانی ۱۷ ساله (مادیس) و ۲۸ ساله (بارش، جهت صحت سنجی) می باشد. بدین منظور ابتدا با بررسی داده های باران سنجی و سینوپتیک ایستگاه های موجود و با استفاده از مدل شاخص بارش استاندارد شده (SPI) سه ماه MAY, JUN, APR به عنوان نمونه انتخاب شد. در این مطالعه از تارنمای Search Earth Data تصاویر ماهواره ای با کد (MOD11A2, MOD13A3) از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ دریافت شده و روی آن ها پیش پردازش و پردازش های لازم همانند تصحیح هندسی و رادیومتریکی انجام گرفته شده است، و سپس شاخص SPI با شاخص های شرایط دمایی، شاخص وضعیت پوشش گیاهی و شاخص سلامت پوشش گیاهی به صورت تلفیقی به کمک تصاویر ماهواره MODIS سنجنده TERRA مورد مقایسه قرار گرفت. بدین ترتیب در مرحله بعد نتایج این مطالعه نشان داد تصاویر MODIS و شاخص های ساخته شده دارای قابلیت لازم برای پایش خشکسالی می باشد. همچنین جهت پردازش اطلاعات گرانشی تغییرات سطح آب های زیرزمینی از داده های سنجنده GRACE MONTHLY MASS GRIDS_LAND بهره گرفته شد. نتایج این تحقیق می تواند گزینه مناسبی برای تصمیم گیران به منظور بررسی نظارت، بررسی و حل و فصل شرایط خشکسالی مؤثر باشد و ضرورت تعریف نمایه ای را دوچندان کند.

واژه های کلیدی: خشکسالی هواشناسی، MODIS، SPI، TCI، VCI، VHI، GRACE.

مقدمه و بیان مسئله

خشک‌سالی‌ها از جمله مهم‌ترین بلایای طبیعی هستند که علی‌رغم تلفات انسانی کم، از خسارت‌های اقتصادی و تبعات اجتماعی فراوانی برخوردار هستند. خشک‌سالی‌ها به سه شکل اقلیمی، هیدرولوژی و کشاورزی دیده می‌شوند؛ که نوع اول آن در وقوع و خاتمه انواع دیگر از تقدم و اولویت برخوردار است. (جعفرپور و همکاران، ۱۳۹۶: ۸۹). پیش‌بینی خشک‌سالی نقش مهمی در طراحی و مدیریت منابع طبیعی، سیستم‌های منابع آب، تعیین نیاز آبی گیاه ایفا می‌نماید. خشک‌سالی فاجعه‌ای زیست‌محیطی شناخته شده است (میشرا و سینگ^۱، ۲۰۱۰: ۲۱۰) و به یک دوره زمانی تسلط آب‌وهوای خشک غیرعادی گفته می‌شود که باعث عدم تعادل بین عرضه و تقاضای آب شده است و تأثیرات اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی را به دنبال دارد (زانگ^۲، ۲۰۱۲: ۴۸۲). کمبود بارش در یک منطقه برای دوره‌های زمانی طولانی مدت به عنوان خشک‌سالی شناخته می‌شود. این کمبود آب در چرخه هیدرولوژیکی منتشر می‌شود و انواع مختلف خشک‌سالی را ایجاد می‌کند (فیوریلو و همکاران^۳، ۲۰۱۰: ۱۸۶۸). عوامل متعددی در پیدایش خشک‌سالی موثرند، که تغییر و دخالت در آنها به منظور جلوگیری از بروز و وقوع آنها، از توان بشر خارج و غیرممکن است. روی همین اصل، امکان دارد که این شرایط در هر منطقه از سطح کره زمین در کشور های غنی و فقیر، مرطوب و خشک، پیشرفته و در حال توسعه و غیره اتفاق افتد (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۰۵). تغییرپذیری منابع آب زیرزمینی از تغییرات اقلیمی ناشی از فرایندهای هیدرولوژیکی مانند بارش، تبخیر و تعرق و تعامل با آب سطحی انجام می‌گیرد (چن^۴، ۲۰۰۴: ۴۵). خشک‌سالی عمده‌ترین مشکل مناطق خشک و نیمه خشک است و تنوع بسیار زیاد در زمان و مکان وقوع خشک‌سالی، کار تشخیص دقیق وقوع آن را بر اساس مشاهدات مکانی سخت و پیچیده می‌کند

(لین و همکاران^۵، ۲۰۱۱). خشک‌سالی حادثه‌ای طبیعی است که بر اقتصاد، کشاورزی و جنبه‌های اجتماعی جامعه اثر می‌گذارد. این پدیده تدریجی است، به گونه‌ای که آغاز و پایان آن معلوم نیست. تداوم آن ممکن است از چندین ماه تا چندین سال طول بکشد و مساحت تحت پوشش آن در طول زمان تغییر کند، به همین دلیل نیاز به پایش آن بیشتر احساس می‌شود (بھویان^۶، ۲۰۰۴). منظور از پایش خشک‌سالی ارائه اطلاعات بهنگام از دوام، شدت و توسعه جغرافیایی خشک‌سالی در یک ناحیه به منظور اتخاذ اقدامات مناسب برای مقابله با آثار زیانبار خشک‌سالی است. در دهه‌های گذشته معمولاً تحلیل خشک‌سالی به صورت توصیفی انجام می‌گرفت و کمتر به تحلیل کمی پرداخته می‌شد (کارل و همکاران^۷، ۱۹۸۹). اصولاً برای تحلیل کمی خشک‌سالی، وجود یک شاخص مشخص برای تعیین دقیق دوره‌های مرطوب و خشک بسیار ضروری است. شروع استفاده از شاخص‌های جامع را می‌توان با شاخص‌هایی که پالمر در سال ۱۹۶۵ معرفی کرد، دانست. شاخص‌های هواشناسی با در نظر گرفتن پارامترهای هواشناسی مانند میزان بارش، رطوبت و دما، خشک‌سالی تعریف می‌کنند (سیلوا^۸، ۲۰۰۸). نظر به اینکه شاخص‌های خشک‌سالی تنها برای یک محل معتبر هستند و قدرت تفکیک مکانی لازم را برای ارزیابی خشک‌سالی ندارند، همچنین این شاخص‌ها به اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی وابسته‌اند و ایستگاه‌ها اغلب با فاصله مکانی زیادی از هم توزیع شده‌اند، این مسئله بر قابلیت اعتماد این شاخص‌ها تأثیر منفی خواهد داشت. از این رو، شاخص‌های ماهواره‌ای نظر به دارا بودن قدرت مکانی و زمانی بالا و امکان بررسی شرایط مختلف استفاده شده‌اند.

پایش و ارزیابی خشک‌سالی به کمک روش‌های سنتی امری مشکل و هزینه‌بر است. سنجش از دور روشی کاربردی برای پایش خشکی در مقیاس وسیع

5. Lin et al
6. Bhuiyan
7. Karel et al
8. Silva

1. Mishra & Singh
2. Zhang
3. Fiorillo et al
4. Chen

است (تفتی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱). خشکسالی آب‌های زیرزمینی زمانی اتفاق می‌افتد که آبخوان‌ها به عنوان یک منبع مهم تامین آب، تحت تاثیر خشکسالی طولانی مدت قرار می‌گیرند (عظیمی و همکاران، ۱۳۹۶: ۷۳). شروع استفاده از فن آوری سنجش از دور برای پایش خشکسالی به کاربرد آن در استخراج اطلاعات از پوشش گیاهی زمین بازمی‌گردد. یک مرتبه کالیبره کردن اطلاعات ماهواره‌ای با واقعیت زمینی، امکان استفاده از داده‌ای ماهواره‌ای برای پایش شروع خشکسالی، واکنش پوشش گیاهی به خشکسالی و بهبود پس از استرس را فراهم می‌کند. در دهه‌های اخیر مدل‌های زیادی در رابطه با پایش خشکسالی ارائه شده است که عموماً بر پایه شاخص‌های گیاهی، دمای سطح زمین، محتوای آب گیاه و وضعیت گیاه است. برخی از مدل‌ها عبارت‌اند از: شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI)، شاخص VCI و NDVI، شاخص نسبت LST (بایار و همکاران^۱، ۲۰۰۶)، شاخص NDVI، NDWI، NDVI/LST و VTCI. (جیو^۲ و همکاران، ۲۰۰۸) از آنجایی که امروزه سنجنده‌های متعددی در مطالعات پایش خشکسالی به کار می‌روند، در مطالعه حاضر از اطلاعات سنجنده مودیس استفاده شد، زیرا در مقایسه با سنجنده‌های دیگر، سنجنده مودیس با داشتن باندهای مختلف و طیف الکترومغناطیسی بالقوه برای نظارت بر خشکسالی مناسب‌تر است (ساتو و همکاران^۳، ۲۰۰۱). از این‌رو، از سال ۲۰۰۰ پس از کسب اولین داده‌های ماهواره‌ای از این سنجنده، استفاده از اطلاعات آن به منظور ارزیابی و پایش خشکسالی مدنظر قرار گرفت. دامنه وسیعی از شاخص‌های مبتنی بر داده‌های مودیس برای نظارت بر خشکسالی در مناطق کشاورزی و نیمه خشک تاکنون ارائه شده است (کاسامو و همکاران^۴، ۲۰۱۱). در جهان دانشمندی مثل: پارک^۵ و همکاران (۲۰۰۸)، رحیم زاده و همکاران

(۲۰۰۹)، مورا^۶ و همکاران (۲۰۱۱)، آلزبای^۷ و همکاران (۲۰۱۲) و در ایران یگانه و خواجه‌الدین (۱۳۹۰) و همگی با استفاده از شاخص‌های متعدد محاسبه شده حاصل از تصاویر سنجنده مودیس اقدام به ارزیابی و پایش خشکسالی کردند و نتایج پژوهش‌های آن‌ها نشان داده است که اطلاعات این سنجنده برای تعیین خشکسالی مناسب است. خشکسالی از قدیمی‌ترین بلایای طبیعی و موضوع مطالعه و پژوهش از گذشته‌های دور تاکنون بوده است. اگرچه تاریخ دقیق زمان توجه پژوهشگران به این پدیده مشخص نیست، مطالعات علمی درباره آن با توجه به نظریه‌های مرتبط به قرن بیستم مربوط می‌شود. برخی پژوهش‌های خارجی و داخلی درباره موضوع پژوهش حاضر به شرح زیر هستند: هوویت^۸ و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی به تجزیه و تحلیل اقتصادی آثار خشکسالی بر کشاورزی کالیفرنیا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که آثار بیشتری در مناطق دارای محدودیت آب‌های زیرزمینی نمایان هستند به گونه‌ای که بر قیمت محصولات کشاورزی نیز مؤثر هستند. فائو^۹ (۲۰۱۳) در پژوهشی، خشکسالی در جهان را بررسی و آثار مختلف این پدیده از جمله مرگ، بیماری، سوء تغذیه، قحطی و حتی جابه‌جایی‌های مکانی جمعیت در ۳۰ تا ۵۰ سال آینده جهان را تحلیل کرد.

ادوسا^{۱۰} (۲۰۰۹) خشکسالی در حوضه رودخانه اواش در اتیوپی را با شاخص خشکسالی SPI بررسی کرد؛ تجزیه و تحلیل و ارتباط بین شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژی در حوضه یادشده نشان داد که وقوع پدیده خشکسالی هیدرولوژیک در ایستگاه اندازه‌گیری شده با میانگین تأخیری هفت‌ماهه از رویداد خشکسالی هواشناسی در اواش روی می‌دهد و تنوع ۳ تا ۱۳ ماهه دارد. شaban^{۱۱} (۲۰۰۸) خشکسالی هیدرولوژیکی را در لبنان مطالعه کرد و نتایج پژوهش

6. Murad et al

7. Alwesabi

8. Howitt

9. FAO

10. Edossa

11. Shaban

1. Bayarjargal et al

2. Gu et al

3. Ceccato et al

4. Caccamo et al

5. Park et al

او نشان دادند که منابعی مانند رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی که متأثر از فعالیت‌های انسان هستند، حدود ۲۳ تا ۲۹ درصد کاهش داشته‌اند و منابعی که کمتر از فعالیت‌های انسان تأثیر می‌گیرند (پوشش برف و بارش باران و برف)، حدود ۱۲ تا ۱۶ درصد کاهش داشته‌اند. دینار^۱ (۲۰۰۰) آثار خشکسالی در جوامع روستایی کشورهای جنوب آفریقا را بر هفت بخش محصولات زراعی، دام، آب، اشتغال، قیمت مواد غذایی، چراگاه و سوخت طبقه‌بندی و مطالعه کردند.

در بخش مطالعات داخلی نیز پژوهش‌های انجام پذیرفته است که در ذیل به آن‌ها پرداخته می‌شود: سلطانی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی با عنوان (پایش خشکسالی منطقه‌ای با استفاده از تصاویر لندست منطقه مورد مطالعه: شهرستان کرمانشاه) به پایش خشکسالی و سلامت پوشش گیاهی در منطقه کرمانشاه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست پرداخته‌اند. نتایج پژوهش نشان‌دهنده این موضوع است که تصاویر لندست و شاخص‌های ساخته‌شده دارای قابلیت لازم و کافی برای پایش خشکسالی می‌باشد. حمزه و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی با عنوان (پایش زمانی و مکانی خشکسالی کشاورزی با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور مورد مطالعه: استان مرکزی ایران)، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سنجنده مادیس به بررسی الگوهای خشکسالی پرداخته است. نتایج حاصل از شاخص گیاهی VCI در مقیاس فصلی با شرایط اقلیمی محدوده تطابق بیشتری دارد. به‌گونه‌ای که این شاخص بهترین شاخص جهت پایش خشکسالی انتخاب گردید. عظیمی و همکاران (۱۳۹۶) ارزیابی پراکنش مکانی و ارتباط وقوع خشکسالی با کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی برپایه شاخص‌های GRI در محیط GIS (مطالعه موردی: ۶۰۹ دشت ایران) را مورد بررسی قرار دادند، نتایج نشان داد که وقوع تنها ۳/۳٪ خشکسالی نزدیک به نرمال در ده سال اول، در ده سال دوم به رقم ۷۰/۸٪ افزایش داشته است و به شکلی مشابه رقم کلاس ترسالی نزدیک به نرمال از

۸۷/۱٪ به ۲۷/۷٪ کاسته شده است. این تغییرات از منظر نوع در کلاس‌های ترسالی ملایم، ترسالی شدید، و ترسالی بسیار شدید هم دیده شد. یافته‌ها نشان داد که مناطق مرکزی و بخش‌هایی از استان خراسان‌های رضوی و شمالی و همچنین محدوده وسیعی از استان فارس و عموماً نواحی جنوب ایران، کلاس خشکسالی‌های شدید را تجربه کرده‌اند. طبق بررسی نقشه‌های خشکسالی و نمودار افزایش حجم برداشت از منابع بهره برداری آب‌های زیرزمینی از سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۴ مشخص می‌شود که عامل اصلی تغییرات برداشت بی رویه از چاه‌های بهره برداری با کاربری کشاورزی است و این موضوع حساسیت آبخوان‌های ایران را به مقدار تغییرات سطح آب در سطح وسیعی نمایش می‌دهد.

ترابی پوده و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی با عنوان تخمین خشکسالی در استان لرستان با استفاده از شبکه‌های هوشمند چنین عنوان می‌دارند معیارهای ضریب همبستگی، ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین قدر مطلق خطا برای ارزیابی و عملکرد مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد هر دو مدل قابلیت خوبی در تخمین شاخص بارش استاندارد دارند، لیکن از لحاظ دقت، مدل شبکه عصبی موجک در ایستگاه دورود ضریب همبستگی ۰/۸۱۱ و کمترین ریشه میانگین مربعات خطا ۰/۰۶۸ میلی متر و کمترین میانگین قدر مطلق خطا ۰/۰۵۱ میلی متر، در ایستگاه بروجرد ضریب همبستگی ۰/۸۸۵ و کمترین ریشه میانگین مربعات خطا ۰/۰۵۶ میلی متر و کمترین میانگین قدر مطلق خطا ۰/۰۴۸ میلی متر، ایستگاه الشتر ضریب همبستگی ۰/۸۲۷ و کمترین ریشه میانگین مربعات خطا ۰/۰۴۵ میلی متر و کمترین میانگین قدر مطلق خطا ۰/۰۳۹ میلی متر و در نهایت در ایستگاه نورآباد با ضریب همبستگی ۰/۸۴۹ و کمترین ریشه میانگین مربعات خطا ۰/۰۵۰ میلی متر و کمترین میانگین قدر مطلق خطا ۰/۰۴۶ میلی متر در مرحله صحت سنجی نسبت به سایر ساختارها جهت مدل‌سازی شاخص بارش استاندارد درمقیاس زمانی ماهانه عملکرد بهتری نسبت به شبکه

عصبی مصنوعی از خود نشان داده است. در مجموع نتایج نشان داد استفاده از مدل شبکه عصبی موجک می‌تواند در زمینه تخمین خشکسالی موثر باشد که در نوبه خود برای تسهیل توسعه و پیاده سازی استراتژی های مدیریتی جهت جلوگیری از ایجاد خشکسالی مفید است. خشکسالی اعم از هواشناسی و هیدرولوژیکی، مؤثرترین نقش را در میان بلایای طبیعی دارد و دو گروه پیامد مستقیم و غیرمستقیم از خود برجای می‌گذارد. اساسی ترین پیامدهای مستقیم عبارتند از: کاهش اراضی کشاورزی، کاهش تعداد دام‌ها، کاهش تولید محصولات کشاورزی، افزایش هزینه‌های تولید، کاهش منابع آب، کاهش وسعت مراتع و جنگل‌ها، افزایش آتش‌سوزی‌ها و ... و مهم‌ترین آثار غیرمستقیم نیز شامل کاهش درآمد در بخش کشاورزی و دامداری، کاهش قیمت اراضی زراعی، افزایش مهاجرت‌های روستایی، تخلیه تدریجی آبادی‌ها، گسترش ابعاد فقر، قحطی، بیکاری، تغییر ساختار لایه‌های زمین و نهایتاً نشست زمین و ... هستند. مطالعه خشکسالی با توجه به انواع مختلف و بروز آن در ابعاد مختلف محیط طبیعی، کشاورزی، اقتصاد و شرایط اجتماعی و شهر و روستا، زمینه‌های مختلفی را در برمی‌گیرد؛ اما بی‌تردید تحلیل و ارزیابی اقلیمی و هیدرولوژیکی خشکسالی، زمینه‌های اصلی و کلیدی مطالعه خشکسالی هستند. در منابع مختلف (لین^۱، ۲۰۰۳؛ حجازی‌زاده و جوی‌زاده، ۱۳۸۹؛ امیدوار، ۱۳۹۲) به مجموعه متنوعی از روش‌ها برای تحلیل خشکسالی اشاره می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: روش‌های مطالعه بیلان آبی مناطق، روش‌های تحلیل جریان، روش‌های تحلیل داده‌های بارندگی، روش‌های تحلیل همدیدی (سینوپتیک)، روش‌های استفاده از اطلاعات ژئومورفولوژیک، روش‌های سنجش‌ازدور، روش‌های تعیین شاخص‌های خشکسالی و ...؛ روش اخیر که بیشتر بر روش‌ها و الگوهای ریاضی و تحلیل داده‌های کمی اقلیمی مبتنی است، کاربرد فراوانی برای تحلیل خشکسالی دارد (نوری و نوروزی، ۱۳۹۵: ۲۲۳).

شاخص SPI: شاخص استاندارد بارش یکی از شاخص‌های اساسی در مطالعه خشکسالی به‌شمار می‌آید که محاسبه آن نیازمند داشتن میانگین و انحراف معیار درازمدت مقادیر بارندگی برای دوره‌های مورد مطالعه است (بوناکورسو^۲، ۲۰۰۳). این شاخص اساساً برای تعریف و پایش خشکسالی و ترسالی ارائه شده است (تساکیس و همکاران^۳، ۲۰۰۴) و به تحلیل‌گر امکان می‌دهد تا تعداد وقایع خشکسالی و ترسالی اتفاق افتاده را برای هر گام زمانی دلخواه تعریف و شناسایی کند. از آنجاکه این شاخص بی‌بعد است، می‌توان به کمک آن اطلاعات مناطق مختلف را باهم مقایسه و نقشه‌های گستره خشکسالی را با دقت بیشتری تولید کرد (اگنیو^۴، ۲۰۰۰). مکی و همکاران (۱۹۹۳) برای ارزیابی خشکسالی، شاخص SPI را ارائه دادند. این شاخص به علت سادگی، استفاده از داده‌های قابل‌دسترس و قابلیت محاسبه برای مقیاس زمانی دلخواه، مناسب‌ترین نمایه برای تحلیل خشکسالی و تحلیل مکانی آن است. و امکان مطالعه وضعیت منابع آب در دوره‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت را که در کشاورزی، مطالعات جریان‌های سطحی و آبخوان‌های زیرزمینی دارای اهمیت است، فراهم می‌کند (ویو و همکاران^۵، ۲۰۰۱). هدف کلیدی این پژوهش ارزیابی پوشش گیاهی و دمای سطح زمین جهت تحلیل دوره خشکسالی و ترسالی در استان خوزستان (حریم پوششی رودخانه کارون) با استفاده از تصاویر ماهواره مادیس سنجنده ترا، داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در منطقه، شاخص‌های سنجش‌ازدوری همچون TCI, VCI, VHI, SPI به منظور آشکارسازی تغییرات رخ داده در بازه زمانی ۱۷ ساله (مادیس) و ۲۸ ساله (بارش، جهت صحت سنجی) می‌باشد. در نهایت با توجه به پژوهش‌های اشاره شده در این بخش که در زمینه تحقیق حاضر انجام گرفته می‌توان این‌گونه بیان نمود که تفاوت پژوهش حاضر در این مقوله می‌باشد که این پژوهش

2. Bonaccorso
3. Tsakiris et al
4. Agnew
5. Wu et al

1. Lein

علاوه بر بررسی معیارهای موردسنجش قرار گرفته شده در پژوهش‌های پیشین، جهت پردازش از داده‌های مادیس MOD11A2, MOD13A3 بهره گرفته شد. که یکی از پرکاربردترین پروداکت‌هایی که در ارتباط با مادیس طراحی شده، پروداکت پوشش گیاهی و دمای سطح زمین آن می‌باشد که به صورت ماهانه مورد استفاده قرار می‌گیرد، در حالی که در پژوهش‌های پیشین بیشتر تأکید بر سنجنده‌های لندست و قابلیت‌های آن بوده است، همچنین در این پژوهش برای بررسی تغییرات از روشهای پایش سنجش از دوری همچون TCI, VCI, VHI که با توجه به استانداردهایی که توسط ناسا ارائه شده بهره گرفته شد، در این پژوهش جهت مقایسه و اعتبار سنجی روش‌های مذکور از شاخص SPI و ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید. همچنین جهت پردازش اطلاعات گرانشی تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی از داده‌های سنجنده GRACE MONTHLY MASS GRIDS_LAND بهره گرفته شد. که به خوبی می‌تواند برای کاربردهای مختلف سطح زمین، مورد استفاده قرار گیرد، در این پژوهش برای داده‌های مادیس و دیتاهای

آن اهمیت قابل توجه‌ای اختصاص یافت. در ادامه پژوهش‌های پیشین به ما در راستای رسیدن به اهداف پژوهش این یاری را رساندند که بتوانیم به خوبی مسائل مرتبط با خشکسالی را شناسایی و در نهایت تمامی عوامل مرتبط مورد بررسی قرار دهیم. شاخص SPI: محاسبه SPI برای هر مکان، بر اساس ثبت بارش‌های طولانی مدت در دوره زمانی موردنظر پایه گذاری شده است. این شاخص از طریق معادله زیر قابل محاسبه می‌باشد

$$\text{SPI} = (\text{Pi} - \text{P}) / \text{S} \quad \text{(رابطه ۱):}$$

که در آن Pi: مقدار بارش در دوره موردنظر. P: میانگین درازمدت بارش برای دوره موردنظر و S: انحراف معیار مقدار بارش می‌باشد. برای محاسبه این نمایه، از توزیع گاما برای برازش داده‌های بارش استفاده می‌شود که پس از انجام محاسبه‌های لازم و تعیین پارامترهای مربوط به نمایه SPI انجام می‌گیرد. پس از محاسبه مقدار SPI در هر بازه زمانی، وضعیت رطوبتی به کلاس‌های مختلف که در جدول ذیل ارائه شده‌اند، تقسیم می‌شود:

جدول ۱: طبقه بندی دوره خشکسالی بر اساس شاخص SPI

SPI	شدت خشکسالی
$SPI \leq -2$	خشکسالی حاد
$-2 \leq SPI \leq -1/5$	خشکسالی شدید
$-1/5 \leq SPI \leq -1$	خشکسالی متوسط
$-1 \leq SPI \leq 1$	نرمال
$1 \leq SPI \leq 1/5$	ترسالی متوسط
$1/5 \leq SPI \leq 2$	ترسالی شدید
$SPI \geq 2$	ترسالی حاد

شاخص سلامت پوشش گیاهی^۱ (VHI): براساس ترکیب حاصل از شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده NDVI و درجه حرارت سطح زمین LTS استخراج می‌شود. فرمول شاخص مذکور در ذیل آورده شده است.

$$\text{BANDMATH: } (0.5 * \text{VCI}) + (0.5 * \text{TCI}) \quad \text{(رابطه ۲)}$$

مقدار SPI مثبت بیانگر بارش بیشتر از میانگین و مقدار SPI منفی بیانگر بارش کمتر از مقدار میانگین است. دوره خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کمتر برسد. ویژگی دیگر SPI این است که می‌توان به کمک آن خشکسالی را برای هر دوره زمانی تعیین کرد.

بهبود می‌یابد. مقادیر کم VCI برای فواصل زمانی پی در پی، اشاره به ازدیاد خشکسالی دارد که طبق رابطه ذیل تعریف می‌شود (کوگان^۳، ۲۰۰۰).

(رابطه ۴)

$$\text{BANDMATH: } 100 * ((\text{NDVI} - \text{IN}) / (\text{MAX} - \text{MIN}))$$

جدول ۲: طبقه بندی دوره خشکسالی بر اساس شاخص

VCI&TCI&VHI

شدت خشکسالی	VCI&TCI&VHI
خشکسالی حاد	<۱۰
خشکسالی شدید	۱۰-۱۹/۵
خشکسالی متوسط	۲۰-۲۹/۵
نرمال	۳۰-۳۹/۹
ترسالی متوسط	۴۰-۴۹/۵
ترسالی شدید	۵۰-۵۹/۵
ترسالی حاد	>۶۰

شاخص NDVI: شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI) کاربرد گسترده ای جهت تشخیص مناطق دارای پوشش گیاهی سالم از ناسالم و مناطق عاری از پوشش دارد. این شاخص وضعیت پوشش گیاهی را بر روی سطح زمین در مناطق وسیع نشان می دهد.

ارزش عددی شاخص NDVI بین

۱- تا ۱ متغیر می باشد. ارزش های عددی مثبت مربوط به پوشش گیاهی متراکم و ارزش عددی صفر و مقادیر نزدیک به آن مربوط به مناطق بدون پوشش گیاهی است و مکان های خیس و آب، ارقام نزدیک به ۱- را دارا هستند (روس و همکاران^۴، ۱۹۷۳). این شاخص از انعکاس باندهای قرمز و مادون قرمز محاسبه می شود. چون در این پژوهش از داده های (MOD13A3v006) سنجده ترأ استفاده شده است لذا این شاخص به صورت آماده در اختیار کاربران قرار داده شده است، تنها باید شاخص NDVI را در مقیاس عددی آن ضرب نمود تا مقادیر NDVI بین منفی ۱ و مثبت ۱ نمایان گردد. مشخصات محصول پوشش گیاهی و دمای سطوح زمین در جدول شماره ۳: قرار داده شده است.

شاخص وضعیت درجه حرارت^۱ (TCI): شاخص وضعیت درجه حرارت بر اساس باند حرارتی تبدیل شده به دمای درخشندگی ارائه شده است. این شاخص برای تعیین دمای مرتبط با تنش پوشش گیاهی و همچنین تنش ناشی از رطوبت بیش از حد استفاده می شود. الگوریتم TCI مشابه به الگوریتم VCI است و بر اساس فرمول ذیل بدست می آید.

(رابطه ۳)

$$\text{BANDMATH: } 100 * ((\text{BTMAX} - \text{LST}_i) / (\text{BTMAX} - \text{BTMIN}))$$

در این رابطه، مقادیر (LST) دمای درخشایی (باند ۳۱) و نشان دهنده ی سال جاری است. مقادیر بیشینه و کمینه ای BT از داده های ثبت شده ی درازمدت برای هر سال به دست می آید. هنگامی که مقدار TCI به ۱۰۰ درصد می رسد BT برای این ماه برابر کمترین مقدار BT دراز مدت برای پیکسل است. مقادیر کم TCI نزدیک به صفر درصد نشان دهنده ی هوای بسیار گرم در سال مورد نظر است. هنگامی که TCI به صفر درصد می رسد، BT آن سال برابر بیشترین مقدار BT دراز مدت برای پیکسل است. در مجموع برای مشاهدات آب و هواشناسی، ارتباط بین حرارت سطحی و رطوبت روی زمین، تأثیرات ناحیه ای خشکسالی را قبل از دست دادن توده های گیاهی کشف می کنند. از این رو، TCI می تواند نقش مهمی در پایش خشکسالی ایفا کند. از باند ۳۱ سنجنده MODIS که حرارتی بوده، برای محاسبه ی این شاخص استفاده شد. بنابراین در BANDMATH نرم افزار ENVI 5.5 مدل این شاخص برنامه نویسی و نتایج برای هر سال به دست آمد. **شاخص وضعیت پوشش گیاهی^۲ (VCI):** شاخص VCI بوسیله دامنه ای از مقادیر NDVI طولانی مدت محاسبه شده و نرمال می شود. به نحوی که دامنه مقادیر VCI از ۰ تا ۱۰۰ است، که در آن مقادیر کم شرایط تنش گیاهی را نشان می دهد، زمانی که مقدار VCI به صفر درصد نزدیک می شود، نشانگر یک ماه بسیار خشک است و وقتی که مقدار NDVI به بیشترین مقدار نزدیک می شود، وضعیت خشکسالی

3. KOGAN

4. Rouse et all

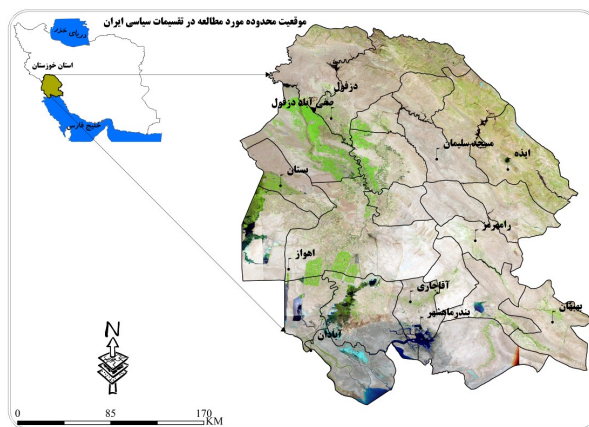
1. Thermal Condition Index

2. Vegetation Condition Index

محدوده مورد مطالعه

استان خوزستان با مساحتی حدود ۶۴۰۵۷ کیلومترمربع، بین ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی از خط استوا، در جنوب غربی ایران واقع شده

است. این استان از شمال غربی با استان ایلام، از شمال با استان لرستان، از شمال شرقی و شرق با استان‌های چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد، از جنوب با خلیج فارس و از غرب با کشور عراق هم مرز است (اداره کل هواشناسی استان خوزستان، ۱۳۹۵).



شکل ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه

نام شاخص	دوره زمانی	واحد، شاخص	فرمت داده	ارزش	نو دیتاها	دامنه تاثیر	مقیاس عددی
1 km monthly NDVI	1 km monthly NDVI	NDVI	16-bit signed integer	-3000	N/A	-2000 to 10000	0.0001
LST_Day_1km	Daytime Land Surface Temperature	Kelvin	16-bit unsigned integer	0	N/A	7500 to 65535	0.02

روش پژوهش

تحقیق حاضر، با توجه به ماهیت مسئله و موضوع مورد بررسی، از نوع توصیفی - تحلیلی است و از نوع مطالعات کاربردی با تاکید بر روش‌های کمی است در این مطالعه از تصاویر ماهواره مودیس سنجنده ترآ مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷ به دلیل اطمینان از وجود پدیده ترسالی و خشکسالی استفاده شد. در مرحله بعد با بررسی داده‌های باران‌سنجی و سینوپتیک ایستگاه‌های موجود و با استفاده از مدل شاخص بارش استاندارد شده سه ماه (می، ژوئن، آوریل) به عنوان نمونه انتخاب شد. در مرحله بعد به مقایسه شاخص‌های وضعیت درجه حرارت (TCI) و سلامت پوشش گیاهی (VHI) در این سه ماه پرداخته شد تا تفاوت‌های این شاخص‌ها در طی سه ماه مشخص شود. برای این

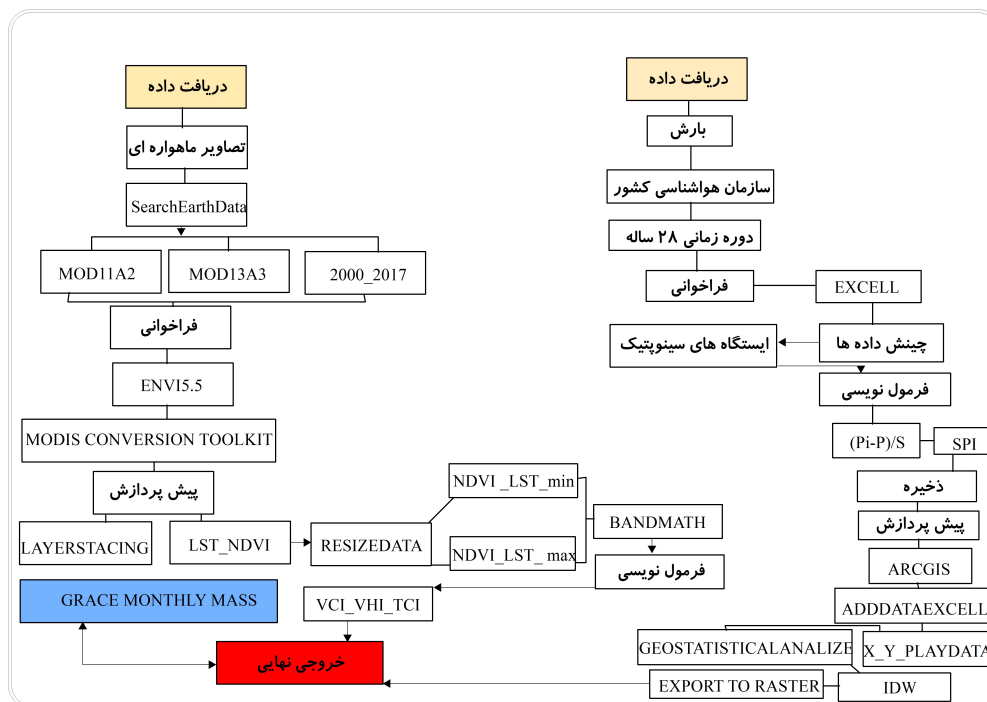
منظور هر یک از شاخص‌های مذکور با استفاده از تصاویر ماهواره مودیس سنجنده ترآ ساخته شدند که در قسمت بالا مراحل تهیه این شاخص‌ها ارائه شده است. شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) وضعیت درجه حرارت (TCI) و سلامت پوشش گیاهی (VHI) با استفاده از روابط (۲) تا (۴) توسعه داده شد. برای اطلاع از وضعیت پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه از ماهواره مودیس سنجنده ترآ استفاده شد. با استفاده از شرطی که برای لایه NDVI گذاشته شد. مناطق عاری از پوشش گیاهی از مناطق دارای پوشش گیاهی جدا شد. برای تعیین حد آستانه مقدار این شاخص برای تشخیص پوشش گیاهی از روش تجربی استفاده شد. برای این منظور حد آستانه‌های مختلفی مورد آزمایش قرار گرفت که در نهایت میزان بهینه

تمامی تصاویر از تارنمای SearchEarthData دریافت شده و روی آنها اصلاحات لازم انجام گرفته شده است. مجموع بارندگی ماه‌های ژوئن، آوریل و می برای ۱۱ ایستگاه از استان خوزستان با طول دوره آماری ۲۸ ساله به کمک سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید، جهت پردازش داده‌های اکسلی از نرم افزار ARC GIS و روش‌های زمین آماری بهره گرفته شد. همچنین به منظور برآورد همبستگی بین داده‌ها از ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید.

انتخاب شده ۱ مثبت بود. NDVI کمتر از ۱ مثبت عاری از پوشش گیاهی و بیشتر از مناطقی با پوشش گیاهی هستند. تصاویر طیفی سنجنده‌ی MODIS برای متغیر دمای سطوح زمین، با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر، شامل باندهای ۳۱ (پهنای باند ۱۱/۲۸۰-۱۰/۷۸۰ طول موج مرکزی باندهای ۱۱/۰۱۷ قدرت تفکیک فضایی ۱۰۰۰ متر) و ۳۲ (پهنای باند ۱۱/۲۷۰-۱۱/۷۷۰ طول موج مرکزی باند ۱۲/۰۳۲ قدرت تفکیک فضایی ۱۰۰۰ متر) برای ماه‌هایی که تقریباً آسمان خالی از ابر بوده انتخاب شده است.

جدول ۴: موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی

طول جغرافیایی (UTM)	عرض جغرافیایی (UTM)	نام ایستگاه‌ها
۴۸.۲۵	۳۰.۳۷	آبادان
۴۸.۰۷	۳۱.۰۳	اهواز
۴۸.۳۸	۳۲.۴۰	دزفول
۴۹.۰۷	۳۰.۷۷	آقاجاری
۴۹.۲۸	۳۱.۹۳	مسجد سلیمان
۴۸.۰۰	۳۱.۷۲	بستان
۴۸.۴۲	۳۲.۲۷	صفی آباد دزفول
۴۹.۶۰	۳۱.۲۷	رامهرمز
۴۹.۱۵	۳۰.۵۵	بندرماهشهر
۵۰.۲۳	۳۰.۶۰	بهبهان
۴۹.۸۷	۳۱.۸۵	ایذه



شکل ۲: فلوچارت مراحل ارزیابی خشکسالی

یافته‌ها

مطالعه پوشش گیاهی و دمای سطوح زمین اعم از جنگل‌ها، مراتع، مزارع و باغات به‌طور مستقیم در مطالعه خشک‌سالی‌های هواشناسی قرار می‌گیرد، با توجه به ارتباط متقابل میزان رشد پوشش‌های گیاهی با عناصر آب و هوایی، مطالعه آن‌ها می‌تواند از طرفی در تبیین شرایط آب و هوایی مفید باشد و از طرف دیگر تشریح نقش عناصر آب و هوایی دررویش آن‌ها بیان گردد. در کل کیفیت پوشش گیاهی پاسخی به تغییرات آب‌وهوا مانند افزایش یا کاهش بارش، دما و مقدار تابش آفتاب است. گیاهان پاسخ سریعی به تغییرات آب‌وهوا دارند، همچنین تغییرات در فنولوژی و تولید گیاه، شواهدی هستند که نشان‌دهنده میزان سبزی‌نگی پوشش‌های گیاهی‌اند. همچنین آب‌وهوا تغییراتی در تراکم و رشد پوشش گیاهی ایجاد می‌کند که ممکن است بعد از ده‌ها سال نمایان شود. تحلیل پوشش گیاهی و تشخیص تغییرات الگوهای پوشش گیاهی کلید ارزیابی و نظارت بر مناطق خشک است. بنابراین تشخیص و ارزیابی کمی پوشش گیاهی سبز یکی از کاربردهای اصلی سنجش‌ازدور برای مدیریت

منابع طبیعی و تصمیم‌گیری است. علم سنجش‌ازدور و داده‌های ماهواره‌ای یکی از روش‌های جدید و مؤثر در زمینه تحقیقات بر روی رخدادهای خشک‌سالی است. سنجنده‌های موجود روی ماهواره‌های مختلف طیف‌های بازتابی پوشش گیاهان را ثبت می‌کنند. از این داده‌ها می‌توان برای شناسایی نوع گیاه، وضع سلامت گیاهان و برآورد عملکرد آن‌ها استفاده کرد. یکی دیگر از پدیده‌های مخربی که هم‌اکنون در بسیاری از کشورهای خشک و نیمه‌خشک دنیا قابل‌مشاهده است، خشک‌سالی است. پایش این پدیده که خود ناشی از روش‌های مخرب بشری و همچنین ناهنجاری‌های اقلیمی است یاری‌رسان خوبی برای ارزیابی آثار تغییرات اقلیمی بر روی سطح زمین است. شناسایی این پدیده و همچنین تعیین شدت و ضعف آن در مناطق مختلف ازجمله اقداماتی است که به جرأت می‌توان گفت تنها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های مختلف سنجش‌ازدور میسر می‌شود. با توجه به مباحث ذکر شده در ادامه نتایج حاصل از شاخص‌های SPI, TCI, VCI, VHI در قالب نقشه‌ها و جداول نمایان می‌گردد.

جدول ۵: مقادیر شاخص‌های SPI, TCI, VCI, VHI در ایستگاه‌های استان خوزستان

ایستگاه سینوپتیک	APR				MAY				JUN			
	SPI	TCI	VCI	VHI	SPI	TCI	VCI	VHI	SPI	TCI	VHI	VCI
آبادان	-۰/۷۹	۳۳	۲۸	۳۱/۸	-۰/۷۹	۶۴	۲۶	۵۴/۸	-۰/۷۹	۳۲	۳۱/۵	۲۹
اهواز	-۱/۲۱	۲۱	۲۴	۲۴	-۱/۲۱	۵۱	۲۶	۳۶/۸	-۱/۲۱	۱۹/۵	۲۳/۵	۲۴
دزفول	-۱/۰۳	۳۳	۳۵	۳۱/۸	-۱/۰۳	۵۶	۴۰	۴۵/۷	-۱/۰۳	۳۲	۳۱/۵	۳۵
آقاجاری	-۱/۲۲	۲۶	۲۸	۲۷/۱	-۱/۲۲	۵۳	۳۲	۴۱/۵	-۱/۲۲	۲۴	۲۴/۵	۲۹
مسجد سلیمان	-۱/۰۷	۲۱	۲۵	۲۴	-۱/۰۷	۵۱	۲۶	۳۶/۸	-۱/۰۷	۱۹/۵	۲۳/۵	۲۶
بستان	-۱/۰۳	۳۳/۹	۳۵	۳۱/۸	-۱/۰۳	۵۶	۴۰	۴۵/۷	-۱/۰۳	۳۲	۳۱/۵	۳۵
صفی آباد دزفول	-۱/۱۸	۴۷	۴۷	۴۲	-۱/۱۸	۶۴	۵۴	۵۴/۸	-۱/۱۸	۳۲	۴۲	۴۸
رامهرمز	-۱/۲۶	۳۳/۹	۲۸	۳۱/۸	-۱/۲۶	۶۴/۳	۳۲	۴۵/۷	-۱/۲۶	۳۲	۳۱/۵	۲۹
بندرامهر	-۰/۵۳	۳۳	۲۴	۲۷/۱	-۰/۵۳	۵۶	۲۳	۴۱/۵	-۰/۵۳	۳۲	۲۶/۷	۲۴
بهبهان	-۱/۱۰	۳۳/۹	۲۵	۲۷/۱	-۱/۱۰	۵۶	۲۶	۴۵/۷	-۱/۱۰	۳۲	۲۶/۷	۲۹
ایذه	-۱/۱۵	۳۳	۳۵	۴۲	-۱/۱۵	۸۰	۵۴	۵۴/۸	-۱/۱۵	۳۲	۴۲	۳۵
ضریب همبستگی پیرسون		۰/۰۸	۰/۷۶	۰/۸۵		-۰/۰۹	۰/۶۶	۰/۶۵		۰/۳۱	۰/۶۴	۰/۸۳

با توجه به مقادیر جدول (۵) ضریب همبستگی در ماه APR بین شاخص SPI, VCI برابر با ۰/۷۶ که دارای همبستگی مثبت معنادار زیاد، بین شاخص SPI, TCI برابر با ۰/۰۸ که دارای همبستگی مثبت معنادار

خیلی کم، بین شاخص VHI, SPI برابر با ۰/۸۵ که دارای همبستگی مثبت معنادار زیاد، بنابراین شاخص VHI و VCI همبستگی بیشتری را با بارش سه ماهه

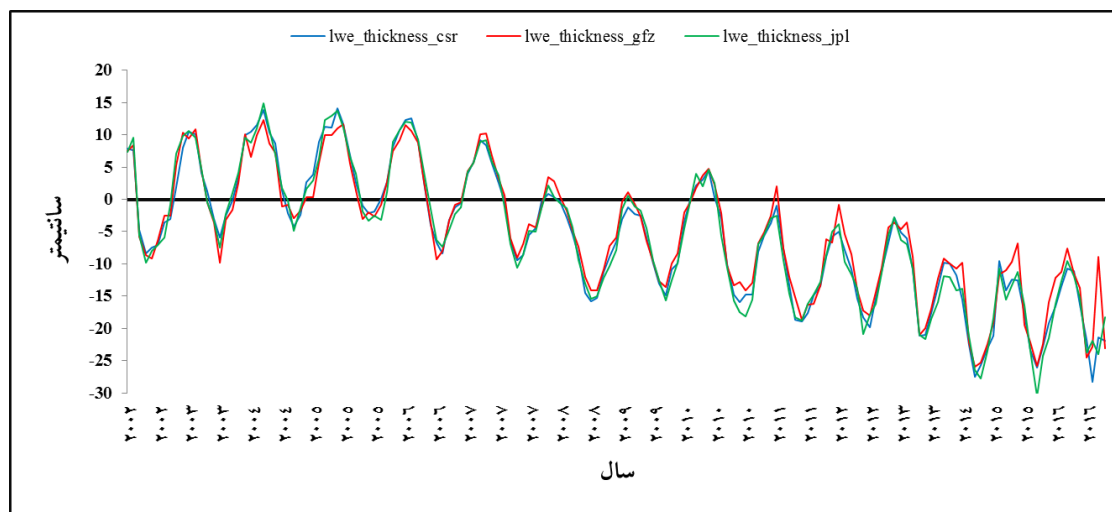
چنین استنباط کرد که مناطقی که دارای توان مثبتی هستند دارای منشا بارندگی کوهستانی هستند. در حقیقت بارندگی کوهستانی جزئی از مجموع بارندگی است که در نتیجه اثر کوهستانی در مکانیسم سیکلونی و عروجی حاصل می‌گردد این امر تا حدود بسیار زیادی وابسته به سیستم چین خوردگی، پوشش‌های گیاهی، جهت و موقعیت آن و جهت برخورد آن با جریان‌های هواست، البته باید توجه داشت که تنها اثرات ارتفاعات بر میزان بارندگی به تنهایی براساس ارتفاع قابل قضاوت نیست، بلکه دما و پوشش گیاهی و رطوبت هوای در حالت صعود و همچنین سرعت و جهت باد در این امر نقش بسزایی دارند. در ادامه می‌توان چنین عنوان نمود که رژیم بارندگی مناطق از نوع رژیم حاره‌ای بوده است که با حداکثر بارندگی در تابستان و زمستان خشک مشخص می‌باشد. در تابستان‌ها خط همگرایی میان حاره‌ای به علت افزایش گرمای زیاد خشکی‌ها بر روی این منطقه کشیده می‌شود. و در نتیجه بارندگی جبهه‌ای از طریق بارندگی کوهستانی و عروجی نیز تقویت می‌شوند به وقوع می‌پیوندند.

داشته و نتایج قابل قبولی نسبت به شاخص TCI داشته است.

ضریب همبستگی در ماه JUN بین شاخص SPI, VHI برابر با ۰/۶۴ که دارای همبستگی مثبت معنادار زیاد، SPI, VCI برابر با ۰/۸۳ که دارای همبستگی مثبت معنادار خیلی زیاد بوده است. TCI, SPI برابر با ۰/۳۱ که نشان‌دهنده همبستگی مثبت معنادار کم می‌باشد. بنابراین شاخص VHI و VCI همبستگی بیشتری را با بارش سه ماهه داشته و نتایج قابل قبولی نسبت به شاخص TCI داشته است.

ضریب همبستگی در ماه MAY بین شاخص SPI, VCI برابر با ۰/۶۶ که دارای همبستگی مثبت معنادار زیاد، SPI, VHI برابر با ۰/۶۵ که دارای همبستگی مثبت معنادار زیاد بوده است. TCI, SPI برابر با ۰/۰۹- که نشان‌دهنده همبستگی مثبت معنادار خیلی کم یا عدم معناداری می‌باشد. بنابراین شاخص TCI همبستگی خیلی کمی را با بارش سه ماهه داشته و نتایج قابل قبولی نسبت به شاخص VHI, VCI نداشته است.

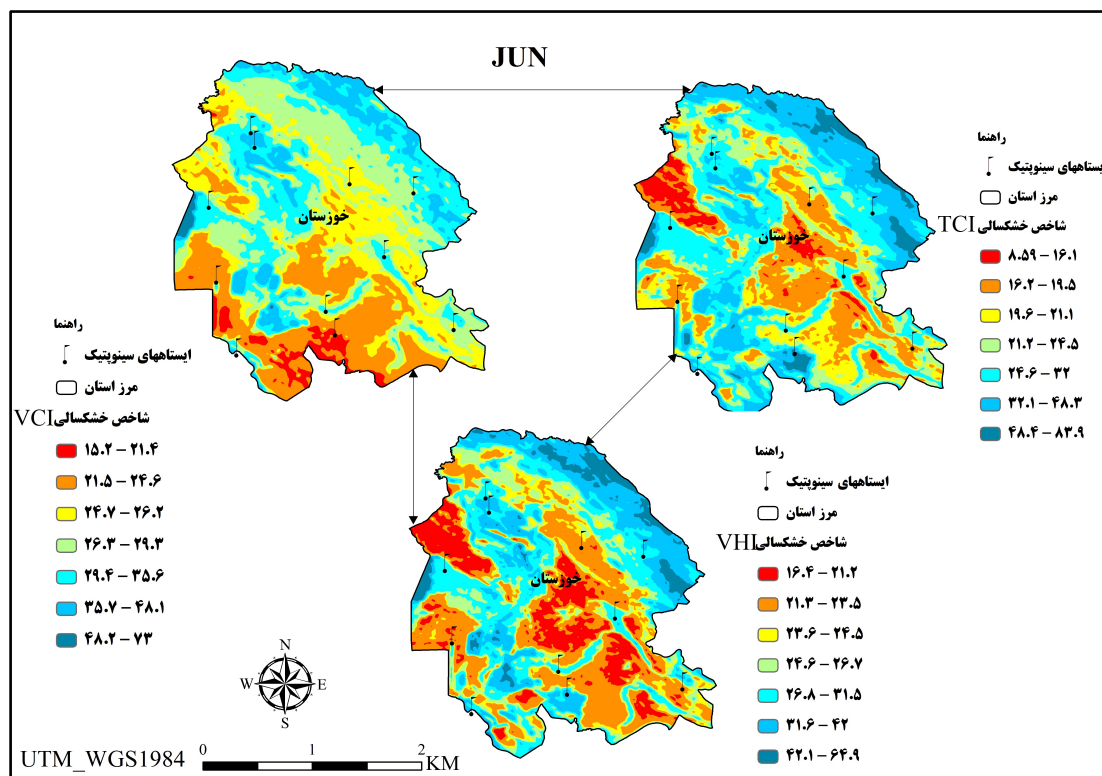
در واقع با توجه به مقادیر جدول (۴) می‌توان



شکل ۳: نمودار تغییرات سطح سفره‌های آب های زیرزمینی در استان خوزستان

جدول ۶: مشخصات الگوریتم‌های ارزیابی شده GRACE Tellus

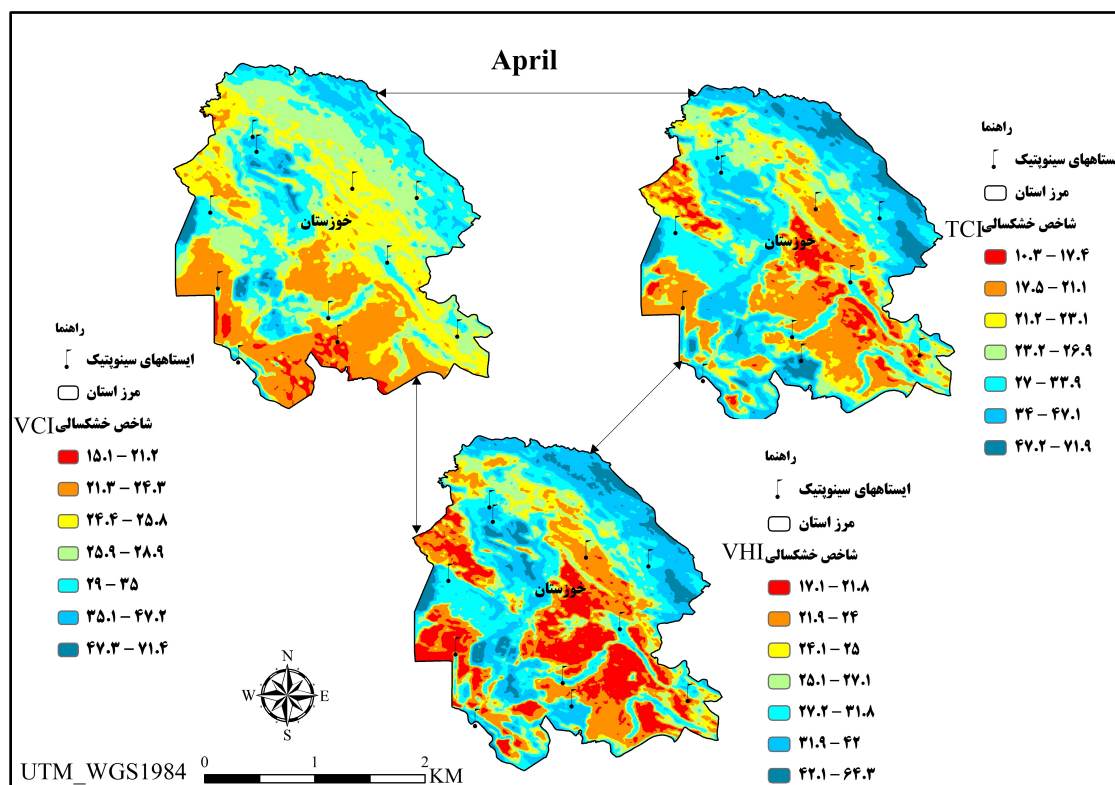
مشخصات	واحد	Min	Max	شرح
lwe_thickness_csr	Cm	-۱۳۹/۲	۷۴/۸۸	ضخامت آب مایع معادل در سانتی متر محاسبه شده توسط CSR.
lwe_thickness_gf		-۱۴۵/۴۵	۷۰/۱۹	ضخامت آب مایع معادل در سانتی متر توسط GFZ
lwe_thickness_jpl		-۱۳۷/۹۴	۷۱/۸۶	ضخامت آب مایع معادل در سانتی متر توسط Jpl



شکل ۴: نقشه خشکسالی حاصل از شاخص‌های سنجش‌ازدوری برای ماه ژوئن

کم‌مصرف برای محاسبه آن‌ها است. از آنجاکه هر مرکز به‌طور مستقل ضرایب را تولید می‌کند، نتایج ممکن است کمی متفاوت باشد. لذا برای اکثر کاربران توصیه می‌شود از میانگین هر سه مجموعه داده استفاده کنند. با توجه به خروجی اطلاعات به‌دست‌آمده از این مجموعه داده می‌توان چنین نتیجه گرفت که بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ تراز سطح آب‌های زیرزمینی روند نرمالی را داشته‌اند و تغییرات چشمگیری در این بازه زمانی رخ نداده است ولی در بین بازه زمانی بین سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ روند سطح آب‌های زیرزمینی کاهشی بوده است که نشان‌دهنده دو رویکرد ۱- برداشت‌های بی‌رویه بیش‌ازحد سفرهای آب به دلیل فعالیت‌های کشاورزی ۲- دگرگونی‌های اقلیمی است. منابع آب‌های زیرزمینی بلافاصله تحت تأثیر تغییرات

شبکه‌های جمعی ماهانه GRACE تلوس ناهنجاری‌های گرانشی ماهانه را نسبت به یک میانگین زمان شروع ۲۰۰۰-۲۰۱۷ فراهم می‌کند. داده‌های موجود در این مجموعه داده واحدهای "ضخامت برابر آب" است که نشان‌دهنده انحراف جرم از نظر میزان عمودی آب در سانتی‌متر است. مجموعه داده‌های ماهانه (GRACE Tellus) توسط سه مرکز تهیه می‌شود: (Center for Space Research) CSR، (GeoForschungsZentrum Potsdam) GFZ و (Jet Propulsion Laboratory) JPL. هر مرکز بخشی از سیستم Ground Ground است و داده‌های Level-2 (زمینه‌های هارمونی کروی) مورد استفاده در این مجموعه داده را تولید می‌کند. خروجی شامل ضرایب هارمونیکی کروی از میدان گرانش و زمینه‌های



شکل ۶: نقشه خشکسالی حاصل از شاخص‌های سنجش از دوری برای ماه آوریل

۲۵/۴۵ درصد در رده خشکسالی شدید، ۵۰/۰۱ درصد در رده خشکسالی متوسط، ۱۹/۶۰ درصد در رده ترسالی متوسط، ۴/۹۱ درصد در رده ترسالی قرار گرفته‌اند. در ماه JUN نشان داد ۲۲/۷۰ درصد در رده خشکسالی شدید، ۵۴/۴۰ درصد در رده خشکسالی متوسط، ۱۹/۱۷ درصد در رده ترسالی متوسط، ۳/۷۲ درصد در رده ترسالی حاد قرار گرفته‌اند.

نتایج مربوط شاخص VHI به ترتیب در ماه MAY نشان داد ۳۹/۵۶ درصد در رده نرمال، ۳۳/۴۳ درصد در رده ترسالی متوسط و ۲۶/۹۹ درصد در رده ترسالی قرار گرفته‌اند. در ماه APR نشان داد ۱۵/۰۱ درصد در رده خشکسالی شدید، ۶۱/۱۲ درصد در رده خشکسالی متوسط، ۱۸/۷۴ درصد در رده نرمال، ۵/۱۱ درصد در رده ترسالی شدید قرار گرفته‌اند. در ماه JUN نشان داد ۱۱/۲۸ درصد در رده خشکسالی شدید، ۵۸/۶۷ درصد در رده خشکسالی متوسط، ۱۶/۵۲ درصد در رده نرمال، ۴/۶۰ درصد در رده ترسالی شدید قرار گرفته‌اند.

در جدول (۷) درصد هر یک از سطوح خشکسالی با استفاده از شاخص‌های TCI, VCI, VHI برای دوره زمانی ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷ آورده شده است. نتایج مربوط شاخص VCI به ترتیب در ماه MAY نشان داد ۰/۸۳ درصد در رده خشکسالی شدید، ۷۳/۰۴ درصد در رده خشکسالی متوسط، ۱۹/۰۳ درصد در رده نرمال، ۷/۰۸ درصد در رده ترسالی شدید قرار گرفته‌اند. در ماه APR نشان داد ۲/۰۱ درصد در رده خشکسالی شدید، ۶۹/۷۱ درصد در رده خشکسالی متوسط، ۲۷/۰۴ درصد در رده نرمال، ۱/۰۲ درصد در رده ترسالی متوسط قرار گرفته‌اند. در ماه JUN نشان داد ۳/۰۵ درصد در رده خشکسالی شدید، ۶۷/۱۸ درصد در رده خشکسالی متوسط، ۲۹/۲۳ درصد در رده نرمال، ۲/۹۹ درصد در رده ترسالی متوسط و ۰/۵۲ درصد در رده ترسالی شدید قرار گرفته‌اند.

نتایج مربوط شاخص TCI به ترتیب در ماه MAY نشان داد ۸/۷۵ درصد در رده ترسالی متوسط، ۵۰/۹۳ درصد در رده ترسالی شدید و ۴۰/۳۱ درصد در رده ترسالی حاد قرار گرفته‌اند. در ماه APR نشان داد

بحث

با توجه به اینکه شاخص بارش استاندارد شده ابزاری قوی در آنالیز داده‌های بارندگی است. و از آنجاکه که هدف از این مطالعه مقایسه رابطه بین شاخص‌های ماهواره‌ای و شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین کارایی شاخص‌های ماهواره‌ای در پایش خشکسالی است. همبستگی بین متغیرها با شاخص SPI بررسی و محاسبه گردید. همانگونه که دیده مشاهده می‌شود، نتایج شاخص‌ها متفاوت است، بنابراین باید از یک معیار برای ارزیابی کارایی این شاخص‌ها استفاده می‌شد. شاخص SPI در مقیاس زمانی سه ماهه (ارتباط داشتن با پوشش گیاهی) به عنوان معیار برگزیده شد. با توجه به نتایج همبستگی‌ها شاخص VHI و VCI با شاخص SPI از همبستگی قوی نسبت به شاخص TCI برخوردار بوده است. این شاخص در بازه کوتاه مدت با شاخص‌های حرارتی در سطح ۱ درصد بیشترین همبستگی را نشان می‌دهد. با افزایش بازه زمانی همبستگی بین شاخص خشکسالی هواشناسی با شاخص‌های محتوای آب گیاه و شاخص‌های حرارتی بیشتر می‌شود. همبستگی مثبت بین شاخص‌های پوشش گیاهی و محتوای آب گیاه با شاخص‌های خشکسالی هواشناسی بیانگر همسو بودن روند تغییرات است. بنابراین شاخص VHI و VCI خشکسالی را دقیق تر نشان داده و روش مناسب‌تری برای برآورد خشکسالی می‌باشد. این پژوهش نسبت به پژوهش‌های پیشین که از سنجنده AVHRR که دارای ۴ باند است. از سنجنده MODIS بهره گرفت. این سنجنده دارای ۳۶ باند بوده و تصاویر با قدرت تفکیک زمانی و رادیومتریکی بهتری نسبت به AVHRR ارائه می‌دهد که می‌توان بهتر به تجزیه و تحلیل خشکسالی با دقت بالا پرداخت.

نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه تعیین رطوبت، گرما و سلامت پوشش‌های گیاهی در ارتباط با میزان خشکسالی با استفاده از تصاویر ماهواره مودیس سنجنده ترآ می

باشد. خشکسالی عمده‌ترین مشکل مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و تنوع بسیار زیاد در زمان و مکان وقوع خشکسالی، کار تشخیص دقیق وقوع آن را بر اساس مشاهدات مکانی سخت و پیچیده کرده است. اصولاً برای تحلیل کمی خشکسالی وجود یک شاخص مشخص برای تعیین دقیق دوره‌های مرطوب و خشک بسیار ضروری است (لین و همکاران، ۲۰۱۱). با توجه به اینکه شاخص‌های خشکسالی هواشناسی تنها برای یک محل معتبرند و قدرت تفکیک مکانی لازم را ندارند و همچنین به اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی وابسته بوده و این ایستگاه‌ها اغلب بافاصله زیادی از هم توزیع شده‌اند، قابل اعتماد بودن این شاخص‌ها زیر سؤال رفته است. خصوصیات داده‌های ماهواره‌ای مانند قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا، پوشش وسیع مناطق مورد مطالعه و بررسی مستقیم وضعیت پوشش گیاهی به وسیله شاخص‌های ماهواره‌ای باعث شده، مطالعات زیادی برای مدل‌سازی خشکسالی با استفاده از این تکنولوژی صورت گیرد و استفاده از این شاخص‌ها مورد تأیید قرار گیرد. روس و همکاران (۱۹۷۳). شاخص NDVI را عمومی‌ترین شاخص در ارزیابی پوشش گیاهی دانستند و محققان زیادی در مطالعات خود از این شاخص استفاده کرده‌اند ولی توجه به این امر ضروری است که شاخص NDVI به تنهایی قابلیت تعیین خشکسالی را ندارد. چراکه NDVI اصولاً اثر سبزیگی گیاهی را نشان داده و اطلاعاتی از میزان آب در خاک را نمایش نمی‌دهد. این امر می‌تواند سبب اشتباه در شروع خشکسالی گردد. چراکه در زمان شروع خشکسالی گیاه هنوز سبز است درحالی‌که آب موجود در گیاه تخلیه شده است. در عوض درجه حرارت سطحی LST یک مکمل خوب در ارزیابی خشکسالی است، زیرا اثر تنش آب را در تاج پوشش گیاهان نشان می‌دهد. با توجه به دلایل ذکر شده تحقیق حاضر تغییرات مکانی پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین ناشی از خشکسالی را در قالب شاخص‌های ترکیبی مبتنی بر شاخص‌های SPI, VCI, TCI, VHI در استان خوزستان نشان می‌دهد این شاخص‌ها مبتنی بر شاخص NDVI هستند که مشکلات این شاخص در

پایش خشکسالی را شامل نمی‌شوند. نتایج این تحقیق نشان داد اثرات خشکسالی بر پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین متفاوت بوده و تابع عوامل مختلفی مانند ماه، نوع و خصوصیت پوشش گیاهی و شرایط دمایی آن‌ها است شاخص VHI یکی از شاخص‌های خشکسالی است که به صورت وسیعی در پایش و ارزیابی خشکسالی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص توانایی نمایش اثرات خشکسالی هم بر پوشش گیاهی و هم بر درجه حرارت سطح زمین را دارد است. نتایج این مطالعه تأییدکننده وجود خشکسالی و ترسالی به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷ می‌باشد. این نتایج با توجه به شاخص SPI منطقه مورد مطالعه که نشان‌دهنده خشکسالی و ترسالی در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷ می‌باشد تأیید شده است. با توجه به وجود همبستگی بالا بین شاخص SPI و داده‌های ماهواره‌ای، می‌توان نتیجه گرفت که تصاویر ماهواره‌ای از قدرت بالایی برای پایش و مدیریت خشکسالی برخوردار می‌باشند. نتایج این تحقیق مشابه با نتایج سلطانی و همکاران (۱۳۹۸)، حمزه و همکاران (۱۳۹۶)، پوده (۱۳۹۷) بود که نشان دادند شاخص‌های سنجش از دوری دارای دقت مناسبی در پایش خشکسالی می‌باشد. شاخص‌های گیاهی قابل استخراج از تصاویر ماهواره‌ای برای ارزیابی وضعیت خشکسالی با استفاده از داده‌های سنجش از دوری توسعه پیدا کرده‌اند. اساس اغلب این شاخص‌ها اندازه‌گیری بازتابندگی طیفی در باندهای مختلف بوده و امکان محاسبه در هر پیکسل را دارا هستند. این شاخص‌ها در مقابل سایر شاخص‌های اقلیمی دارای چند مزیت بودند که پوشش دادن سطح وسیعی از زمین از آن جمله بشمار می‌آید. از طرف دیگر این شاخص‌ها در مناطق دارای کمبود آمار اقلیمی بسیار بارز می‌باشند. با

استفاده از شاخص وضعیت سامت پوشش گیاهی مشخص شد که وضعیت پوشش گیاهی در زمان خشکسالی نسبت به زمان ترسالی تغییرات زیادی داشته است که خشکسالی هیدرولوژیکی سهم عمده‌ای در تخریب پوشش داشته است. خشک شدن دریاچه‌ها و به تبع آن رها شدن اراضی کشاورزی و عدم دسترسی به منابع آب جایگزین همچون نداشتن منابع آب زیرزمینی و یا عدم وجود منابع آب سطحی جایگزین روند تشدید به خود گرفته و به نظر می‌رسد در صورتی که خشکسالی در سال‌های آینده ادامه یابد و روش‌های مناسب برای مقابله با آن به کار گرفته نشود، این منطقه از ایران نیز با مشکلات عدیده‌تری روبرو خواهد شد. همچنین با توجه به اینکه منابع آب منطقه در دهه‌های آتی رو به کاهش خواهد نهاد، لزوم بهره‌گیری از روش‌های جامع مدیریت آب در تمام بخش‌ها اعم از ذخیره، انتقال و توزیع، بسیار ضروری و گریزناپذیر به نظر می‌رسد. در نهایت انتظار می‌رود که با اعمال روش‌های مدیریتی صحیح، توزیع پایدار آب، مذاکرات منطقه‌ای، کشاورزی اصولی و همچنین ایجاد شرایط بهینه هیدرولوژیکی، روند تخریب پوشش گیاهی در آینده رو به کاهش گذارد. مطالعات تکمیلی برای پایش مکانی خشکسالی به وسیله تصاویر ماهواره‌ای از طریق اندازه‌گیری‌های زمینی تغییرات کمی پوشش و درجه حرارت سطح زمین پیشنهاد می‌گردد. محدودیت‌هایی در استفاده از NDVI و باندهای حرارتی ماهواره‌ای وجود دارد. از جمله این موارد می‌توان به شرایط جوی و ابری اشاره کرد که باید مدنظر قرار گیرد. استفاده از نقشه‌های حاصل از شاخص‌های پایش و ارزیابی خشکسالی می‌تواند به بهبود برنامه‌های مدیریت خشکسالی کمک نموده و نقش بسزایی را در کاهش اثرات خشکسالی ایفا کند.

منابع

۱. امیدوار، کمال ۱۳۹۲. مخاطرات طبیعی، انتشارات دانشگاه یزد، یزد.
۲. ترابی پوده، حسن. دهقانی، رضا. رستمی، سعید. ۱۳۹۷. تخمین خشکسالی در استان لرستان با استفاده از

- شبکه‌های هوشمند، پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۱۳۹۷ (۳۵)، ۴۱-۵۲.
۳. حجازی‌زاده، زهرا. جوی‌زاده، سعید. ۱۳۸۹. مقدمه‌ای بر خشکسالی و شاخص‌های آن، سمت، تهران.

۴. عظیمی، سعید. اژدری مقدم، مهدی. هاشمی منفرد، سید آرمان. ۱۳۹۶. ارزیابی پراکنش مکانی و ارتباط وقوع خشکسالی با کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی برپایه شاخص‌های GRI در محیط GIS (مطالعه موردی: ۶۰۹ دشت ایران)، پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۱۳۹۶ (۲۹)، ۷۳-۸۹.
۵. علیزاده، شهرام. محمدی، حسین. کردوانی، پرویز. ۱۳۹۵. بررسی تاثیر تغییرات اقلیمی بر الگوی توزیع زمانی و مکانی خشکسالی در ایران با استفاده از شاخص تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_o)، جغرافیای طبیعی، ۱۳۹۵ (۳۲)، ۱۰۵-۱۲۲.
۶. خواجه الدین، سیدجمال الدین. کاظمی، روح اله. یگانه حسن. ۱۳۹۰. آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی در طول فصل چرا با استفاده از داده‌های چندزمانه سنجنده IRS-WiFS در منطقه سمیرم.
۷. دهقانی تفتی، احمد علی. زارع، محمد. حسینی، سید زین العابدین. عربی علی آباد، فهیمه. ۱۳۹۸. تعیین ارتباط روند تغییرات خشکسالی با عناصر اقلیمی در دشت یزد-اردکان، مدیریت بیابان، ۷ (۱۳)، ۱-۱۴.
۸. نوری، هدایت‌الله. نوروزی، اصغر. ۱۳۹۵. مبنای برنامه‌ریزی محیطی برای توسعه پایدار روستایی، دانشگاه اصفهان.
۹. سلطانی، میلاد. سلطانی، عادل. کله‌هوئی، مهین. سلیمان، کریم. ۱۳۹۸. پایش خشکسالی منطقه‌ای با استفاده از تصاویر لندست منطقه مورد مطالعه: شهرستان کرمانشاه، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر) وره ۲۸، شماره ۱۰۹، ص ۱۳۸-۱۴۶.
۱۰. حمزه، سعید. فراهانی، زهرا. مهدوی، شهریار. چترآبگون، امید. غلام‌نیا، مهدی. ۱۳۹۶. پایش زمانی و مکانی خشکسالی کشاورزی با استفاده از داده‌های سنجنده‌ها: مطالعه: استان مرکزی ایران، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال چهارم، شماره ۳، ص ۷۰-۵۳.
۱۱. وخشوری، علی. جعفرپور، زین العابدین. کردوانی، پرویز. ۱۳۹۶. مقایسه شاخص‌های خشکسالی اقلیمی در ایستگاه‌های بارشی ایران. جغرافیای طبیعی، ۱۳۹۶ (۳۶)، ۸۹-۱۰۸.
12. Agnew, C.T. 2000. Using the SPI to Identify Drought, Drought Network News, Vol. 12, No. 1, winter 1999-Spring 2000.
13. Alwesabi, M. 2012. MODIS NDVI satellite data for assessing drought in Somalia during the period 2000-2011. Student thesis series INES.
14. 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.
15. Bhuiyan, C. 2004. various droughts for monitoring drought condition in Aravalli terrain of India. In Proceedings of the XXth ISPRS Conference. Int. Soc. Photogramm. Remote Sensing, Istanbul.
16. Bonaccorso, B., Bordi, I., Cancelliere, A., Rossi, G., & Sutera, A. 2003. Spatial variability of drought: an analysis of the SPI in Sicily. Water resources management, 17(4), 273-296.
17. Ceccato, P., Flasse, S., Tarantola, S., Jacquemoud, S., and Gregoire, J.M. 2001. Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. Remote Sensing of Environment, 77, Pp. 22-33.
18. Chen, Z., Grasby, S.E., and Osadetz, K.G. 2004. Relation between climate variability and groundwater levels in the upper carbonate aquifer, southern Manitoba, Canada, Journal of Hydrology, 290, 43-62.
19. Edossa D. C., Babel. M.S., and Gupta, A.D. 2009. Drought Analysis in the Awash River Basin, Ethiopia, Springer science + Business Media B. V, Water Resour Manage, 1441-1460.
20. FAO 2013. Drought Facts-Food and Agriculture, www.fao.org.
21. Fiorillo, F., Guadagno, F. M., 2010. Karst spring discharges analysis in relation to drought periods, using the SPI, Water Resources Management, 24(9), 1867-1884.
22. Gu, L., Hanson, P.J., Post, W.M., Kaiser, D.P., Yang, B., Nemani, R., and Meyers, T. 2008. The 2007 eastern US spring freeze: increased cold damage in a warming world? BioScience, 58(3), 253-262.
23. Howitt, R., MacEwan, D., Medellín-Azuara, J., Lund, J., and Sumner, D.

2015. Economic Analysis of the 2015 Drought for California Agriculture, University of California Davis, P. 31
24. Karel, A.K. 1989. Response of *Ootheca bennigseni* (Coleoptera: Chrysomelidae) to extracts from neem. *Journal of economic entomology*, 82(6), 1799-1803.
25. Keck, A., and Dinar, A. 2000. Water supply variability and drought impact and mitigation in subsahara Africa, *Drought a Global Assessment*, London.
26. Lin, W.C., and Yang, S.C. 2011. Exploring students' perceptions of integrating Wiki technology and peer feedback into English writing courses. *English Teaching: Practice and Critique*, 10(2), 88-103.
27. Mishra, A.K., and Singh, V.P. 2010. A review of drought concepts, *Journal of Hydrology*, 391(1) 202-216.
28. Murad, M.H., Elamin, K.B., Abu Elnour, N.O., Elamin, M.B., Alkatib, A. A., Fatourechi, M.M., and Erwin, P.J. 2011. The effect of vitamin D on falls: a systematic review and meta-analysis. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 96(10), 2997-3006.
29. Park, E. J., Yi, J., Chung, K. H., Ryu, D. Y., Choi, J., and Park, K. 2008. Oxidative stress and apoptosis induced by titanium dioxide nanoparticles in cultured BEAS-2B cells. *Toxicology letters*, 180(3), 222-229.
30. Rahimzadeh, F., Asgari, A., and Fattahi, E. 2009. Variability of extreme temperature and precipitation in Iran during recent decades. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(3), 329-343.
31. Shaban, A. 2008. Indicator and Aspects of Hydrological Drought in Lebanon. *Springer science + Business Media B. V. Water Resour Manage*, 1875-1891.
32. Silva-Valio, A. 2008. Estimating stellar rotation from starspot detection during planetary transits. *The Astrophysical Journal Letters*, 683(2), L179.
33. Tsakiris, G., and Vangelis, H. 2004. Towards a drought watch system based on spatial SPI. *Water resources management*, 18(1), 1-12.
34. Zhang, Q., Li, J., Singh, V. P., and Bai, Y. 2012. SPI-based evaluation of drought events in Xinjiang, China, *Natural hazards*, Vol. 64, No. 1, pp. 481-492.