

## تحلیل تغییرات زمانی و مکانی سری زمانی خشکسالی‌ها مبتنی بر تصاویر ماهواره ترأ و شاخص (Spi) در دامنه زاگرس با تاکید بر عملکرد اقتصادی جوامع روستایی

زهرا عربی<sup>۱</sup>

رضوان قربانی سالخورد<sup>۲</sup>

یوسف درویشی<sup>۳</sup>

### چکیده

یکی از روش‌های مطالعه، پایش و پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از شاخص‌های هواشناسی و تکنیک‌های سنجش از راه دور می‌باشد در سال‌های اخیر بررسی اثر تغییر اقلیم و پیش‌بینی خشکسالی‌ها در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی و منابع طبیعی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. هدف این پژوهش ارزیابی شاخص‌های سنجش‌ازدوری همچون شاخص سلامت پوشش گیاهی، وضعیت پوشش گیاهی و شاخص وضعیت درجه حرارت به منظور آشکارسازی خشکسالی و همچنین در ابعاد دیگر به دنبال تعیین کارایی روش‌های سنجش از دور در نمایان سازی شرایط خشکسالی می‌باشد. بدین منظور ابتدا با بررسی داده‌های سینوپتیک ایستگاه‌های موجود و با استفاده از مدل شاخص بارش استاندارد شده سه ماه آوریل، می و ژوئن به عنوان نمونه انتخاب شد. برای نشان دادن معنی‌داری روند کاهشی یا افزایشی بارش از معیار p-value استفاده شد. مقادیر p-value برای سه ماه و کل سال در محیط نرم افزار اکسل برآورد گردید، مناطق مورد مطالعه به p-value کمتر از ۰/۰۵ یا بیشتر از ۰/۰۵ یا مناطق دارای روند مثبت و منفی تفکیک گردید بر این اساس تغییرات SPI و خشکسالی نشان‌دهنده یک روند مثبت بوده‌اند. در این مطالعه تصاویر ماهواره‌ای با کد (MOD11A2, MOD13A3) از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ با اندازه سلولی ۱ کیلومتر  $\times$  ۱ کیلومتر از سایت ناسا دریافت و روی آن‌ها پردازش‌های اولیه انجام گرفت، سپس شاخص بارش استاندارد شده با شاخص‌های شرایط دمایی، شاخص وضعیت پوشش گیاهی و شاخص سلامت پوشش گیاهی به صورت تلفیقی به کمک تصاویر ماهواره ترأ سنجنده مودیس مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد بین ماه‌های مورد سنجش واقع شده، بیشترین روند رو به خشکی در قسمت شرقی این استان‌ها نمایان بوده و بیش از ۵۰ درصد مساحت این استانها را شامل می‌شود. روند تغییرات شیب SPI و خشکسالی از لحاظ آماری معنی‌دار است. با توجه به نتایج همبستگی‌ها شاخص وضعیت درجه حرارت با شاخص بارش استاندارد شده از همبستگی قوی نسبت به سایر شاخص‌ها برخوردار بوده است. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که تصاویر ماهواره ترأ و شاخص‌های پردازش شده در کنار شاخص اقلیمی دارای قابلیت لازم برای پایش خشکسالی است. استفاده از نقشه‌های حاصل از شاخص‌های سنجش از دور می‌تواند به بهبود سیاست‌های مدیریت خشکسالی کمک نموده و نقش بسزایی را در کاهش اثرات خشکسالی ایفا کند. در نهایت با توجه به رویکرد پژوهش حاضر مدل مفهومی نهایی تاثیر خشکسالی بر تنش زایی گیاهان و کاهش عملکرد اقتصادی جوامع محلی روستایی ارائه گردید.

واژگان کلیدی: خشکسالی، سنجش از دور، اقتصاد کشاورزی، SPI، GIS.

<sup>۱</sup>. استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران.

<sup>۲</sup>. مربی عضو هیئت علمی، گروه معماری و شهرسازی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران.

<sup>۳</sup>. استادیار گروه جغرافیا دانشگاه پیام نور. (نویسنده مسئول)

## مقدمه

خشکسالی، پدیده‌ای پیچیده است که شدت آن به شرایط آب‌وهوایی منطقه و وضعیت تعادل آب و انرژی بستگی دارد. خشکسالی، معلول یک دوره شرایط آب‌وهوایی خشک و غیرعادی است که آثار آن بیشتر به تغییر پوشش گیاهی منجر می‌شود (Du, 2012). پیشرفت فناوری ماهواره‌ای در سال‌های گذشته این امکان را برای کارشناسان علوم زمین فراهم کرده است که سیاره زمین را با دقت بیشتر و به صورت همه‌جانبه مطالعه کنند؛ به طوری که این مطالعات با بهره‌گیری از روش‌های دورسنجی با پرداخت هزینه‌های مالی و اتلاف وقت کمتر صورت می‌گیرد و نتایج به دست آمده از این روش‌ها در بسیاری از مواقع امکان استناد دارند. از جمله مطالعات مهمی که با بهره‌گیری از روش دورسنجی انجام می‌شود، مطالعات پوشش گیاهی است که رشد، بیماری، رطوبت، خشکی و شادابی گیاه را نشان می‌دهد. علت این توانایی آن است که پوشش‌های مختلف، چه زنده و چه غیرزنده، در مقابل امواج الکترومغناطیس واکنش متفاوتی دارند که همین امر کمک می‌کند اختلاف پوشش‌های مختلف آشکار شود؛ بر همین اساس پژوهشگران زیادی به منظور بررسی پوشش گیاهی از داده‌های دورسنجی استفاده و این روش را مناسب این‌گونه مطالعات ارزیابی کرده‌اند (هیوتی، ۲۰۰۴). گیاهان پاسخ سریعی به تغییرات آب و هوا دارند همچنین تغییرات در فنولوژی و تولید گیاه شواهدی در سری زمانی هستند که سبزیگی را نشان می‌دهند. آب و هوا می‌تواند تغییراتی در تراکم و رشد پوشش گیاهی ایجاد کند که ممکن است بعد از دهها سال نمایان شود (استو و همکاران، ۲۰۰۴: ۲۸۲). پیش‌بینی می‌شود به دلیل تغییرات اقلیمی و خشکسالی، بهره‌وری بخش کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به میزان چشمگیری کاهش یابد و سطح زیست‌پذیری خانوارهای روستایی را با چالش اساسی مواجه کند (Zhang, 2017). از سوی دیگر آثار پدیده خشکسالی بر مناطق شهری و روستایی یکسان نیست و بررسی شیوه‌های مقابله و راهبردهای کشاورزان در طول این دوران برای جلوگیری از پیامدهای این بحران یا کاهش آثار آن حائز اهمیت است و یکی از چالش‌های عمده‌ی زمان حاضر به شمار می‌رود (دلفیان و همکاران، ۱۳۹۶). خشکسالی تأثیر قابل توجهی بر عملکرد محصول و در نتیجه، امنیت غذایی در متن تغییرات جهانی آب و هوا دارد. بنابراین، تلاش‌ها باید بر روی شناسایی و نظارت بر خشکسالی باشد (Zhao et al, 2017). فراوانی و شدت خشکسالی می‌تواند با گرم شدن کره زمین در حال افزایش باشد (Tian et al, 2018). 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 (Bhuiyan, 2004). عامل بارش به تنهایی در خشکسالی موثر نیست بلکه خشکسالی پدیده بسیار پیچیده‌ای است که عوامل مختلفی در ایجاد آن دخالت دارند از طرفی ایران بنابه موقعیت اقلیمی و جغرافیایی که دارد بارش به عنوان ورودی و تبخیر و تعرق به عنوان خروجی در نظر گرفته می‌شود از این رو عامل تبخیر و تعرق عامل مهمی در خشکسالی محسوب می‌گردد (خورانی و جمالی ۱۳۹۵). اگرچه میزان بارندگی شاخص اصلی در دسترس بودن آب است، اما دما نیز عامل مهمی است که می‌تواند بر میزان دسترسی به آب تأثیر بگذارد زیرا میزان تبخیر و تعرق را کنترل می‌کند. از پارامترهایی مانند میزان بارندگی و دما می‌توان به عنوان شاخص خشکسالی استفاده کرد. این شاخص‌ها به شاخص‌های خشکسالی تبدیل می‌شوند که ویژگی‌های مختلف خشکسالی را نشان می‌دهد (Tirivarombo et al, 2018). پوشش‌های گیاهی وابستگی زیادی به شرایط هواشناسی غالب دارد و به طور قابل توجهی با شاخص‌های هواشناسی مرتبط است. تنش در گیاهان زمانی اتفاق می‌افتد که منبع آب (بارندگی) نمی‌تواند نیاز آب محصول را برآورده کند و به عنوان کمبود رطوبت خاک منجر به آسیب‌رسانی گیاهان می‌شود (Sheffield et al., 2004; Wilhite, 2014). شروع استفاده از فن‌آوری سنجش‌ازدور 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 داده‌های 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 سلامت پوشش گیاهی، تفاضل نرمال شده، شاخص نسبت درجه حرارت (Bayarjargal et al, 2006). شاخص رطوبت خاک (Gu et al, 2008). 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 (Ceccato et al, 2001). در کشور ایران نیز خشکسالی پدیده جدید و ناشناخته‌ای نیست و موقعیت جغرافیایی و شرایط طبیعی کشور به شکلی است که شاهد خشکسالی‌هایی با شدت کم‌وزیاد بوده است. پذیرش این واقعیت که بخش وسیعی از سرزمین ایران در محدوده نوار بیابانی قرار دارد، حاد بودن پیامدهای خشکسالی را برای کشور مشخص می‌کند. خشکسالی یک خطر جدی با اثرات بسیار گسترده بر روی خاک، اقتصاد و تهدید معیشت و سلامت جوامع محلی می‌باشد. با توجه به اینکه در مناطق مورد مطالعه کمبود بارش نسبت به متوسط مورد انتظار طی این سال‌ها شکل گرفته است. با این وجود سنجش و تحلیل سری زمانی خشکسالی برای تجزیه و تحلیل‌های محیط جغرافیایی، برنامه‌ریزی و مدیریت امری ضروری بنظر است. همچنین پی بردن به این مسئله که آیا شاخص‌های سنجش از دوری قابلیت لازم را برای پایش و ارزیابی خشکسالی در کنار شاخص‌های اقلیمی را دارند می‌تواند امری مهم تلقی گردد. با توجه به مطالعه پیشینه پژوهش و تئوری نظری مطرح شده طی سالیان سال در خصوص موضوع مورد مطالعه می‌توان این‌گونه بیان نمود که پژوهش‌های مطالعه شده در این رابطه دارای شکاف علمی در خصوص سنجش و تحلیل همبستگی سری زمانی خشکسالی‌ها و همچنین تاثیر خشکسالی بر اقتصاد جوامع روستایی و شهری است. همچنین در پژوهش‌های پیشین به توسعه اقتصادی و توسعه فضایی پایدار در جوامع محلی کمتر توجه شده است. بر همین اساس با توجه به پیشینه پژوهش یک مدل مفهومی (شکل ۹) و چند متغیر اصلی استخراج شده است که ۱. شاخص VHI، ۲. شاخص TCI، ۳. شاخص VCI، ۴. شاخص SPI می‌باشد این شاخص‌ها از دیدگاه‌های علمی افراد صاحب نظر مطابق با منابع خارجی و داخلی بهره گرفته شده است.

در این راستا با توجه به اهمیت موضوع مورد مطالعه هدف کلی پژوهش حاضر سنجش و تحلیل همبستگی سری زمانی خشکسالی‌ها مبتنی بر تصاویر ماهواره ترآ و شاخص اقلیمی بارش استاندارد شده در دامنه شرقی زاگرس می‌باشد. در ابعاد دیگر شایان ذکر است که این پژوهش به دنبال تعیین کارایی روش‌های سنجش از دور در نمایان سازی شرایط خشکسالی است.

### پیشینه پژوهش

ژو و همکارانش (۲۰۱۹) تأثیر تغییرات اقلیمی و استفاده از زمین در گسترش از خشکسالی هواشناسی تا خشکسالی هیدرولوژیکی در کوه‌های قیلان شرقی به عنوان یکی از مخرب‌ترین و پرهزینه‌ترین بلایای طبیعی، خشکسالی تأثیرات منفی گسترده‌ای بر کشاورزی، منابع آب، محیط زیست و زندگی بشر مورد مطالعه قرار دادند. درک علمی تکثیر از خشکسالی هواشناسی به هیدرولوژیکی برای پیش بینی دقیق خشکسالی هیدرولوژیکی و پیشگیری و کاهش بلایای خشکسالی از اهمیت بسیاری برخوردار است. نتایج مطالعه آنها نشان داد که در ۵۶ سال گذشته رطوبت هواشناسی و خشک شدن هیدرولوژیکی در قسمت بالایی حوضه رودخانه شیانگ وجود داشته است. به ویژه در دهه ۲۰۰۰، شدت خشکسالی هیدرولوژیکی شدیدترین و شدت خشکسالی هواشناسی ضعیف‌ترین بود، که نشان دهنده شدت گسترش خشکسالی هواشناسی به خشکسالی هیدرولوژیکی در این دوره بسیار شدید بود. اما رابطه بین خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی نیز در فضا متفاوت است: خشک شدن هیدرولوژیکی در رودخانه هوانگ یانگ و رودخانه‌های شرق آن بیشتر از شاخه‌های فرعی غربی بوده است. تغییرات آب و هوا و کاربری زمین از عوامل اصلی تأثیرگذار در گسترش از خشکسالی هواشناسی به خشکسالی هیدرولوژیکی در این منطقه می‌باشد. براون و همکارانش (۲۰۱۱) تغییرات اقلیم، خطر خشکسالی و توانایی زمین برای کشاورزی را بعنوان پیامدهای استفاده از زمین در اسکاتلند مورد ارزیابی قرار دادند نتایج حاصله از این مطالعه موردی حاکی از آن است که احتمال خطر خشکسالی تأثیر بسزایی در استفاده از زمین در آینده خواهد داشت. این امر می‌تواند به طور بالقوه برای محدود کردن دام، محصولات کاشته شده و از این رو توانایی زمین را در برخی مناطق کاهش خواهد یافت، مگر اینکه اقدامات سازگاری در سطح استراتژیک ایجاد شود که همچنین سیستم‌های استفاده از زمین و منابع آب را با محیط وسیع‌تر ادغام کند. (Zhang, 2013) خشکسالی هواشناسی منطقه نیمه‌خشک شمال چین را با استفاده از داده‌های سنجش از دور چند سنسور میکروویو تجزیه و تحلیل کردند. نتایج آنها بیان‌کننده عملکرد بهتر شاخص‌های میکروویو ترکیبی در پایش خشکسالی بود. (FAO, 2013). در پژوهشی، خشکسالی در جهان را بررسی و آثار مختلف این پدیده از جمله مرگ، بیماری، سوءتغذیه، قحطی و حتی جابه‌جایی‌های مکانی جمعیت در ۳۰ تا ۵۰ سال آینده

جهان را تحلیل کرد (Liu, 2019). خشکسالی را با استفاده از دیتاهای کامپوزیت شده سنجنده مودیس در چین بررسی کرد و به این نتیجه رسیده است که خشکسالی یکی از مکررترین بلایایی است که در شمال چین رخ می‌دهد و تأثیر زیادی در کشاورزی، محیط زیست و اقتصاد دارد همچنین در این مطالعه تجزیه و تحلیل همبستگی پیرسون بین شاخص‌های خشکی سنجش از دور و شاخص بارش استاندارد (SPI)، در مقیاس‌های زمانی مختلف برای ارزیابی توانایی شاخص‌های منفرد در استان شاندونگ انجام شد (Orimoloye, 2021). با تأکید بر اکوسیستم و حفاظت از محیط زیست، خشکسالی را با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در آفریقای جنوبی مطالعه کردند و به این نتیجه رسیده‌اند که خشکسالی یکی از عوامل اصلی محدود کردن توسعه گیاهان در طیف گسترده‌ای از محیط‌ها است. همچنین این مطالعه نشان می‌دهد که پروداکت MOD13A3 ماهواره Terra به عوامل تنش‌زای مرتبط با خشکسالی حساس هستند. شاخص پایش وضعیت پوشش گیاهی (VCI) بر اساس MODIS برای نظارت بر خشکسالی مناسب است. تکنیک مورد استفاده در این مطالعه مناسب بودن داده‌های MODIS برای ارزیابی شرایط خشکسالی و اثرات بالقوه زیست محیطی آنها را نشان داد. خورمیزی و مالگیری (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای تحت عنوان پایش خشکسالی و تأثیر آن بر پوشش گیاهی با استفاده از فناوری‌های سنجش از دور بررسی موردی: استان یزد، سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۴ به این نتیجه رسیده‌اند که پایش و پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از شاخص‌های هواشناسی و تکنیک‌های سنجش از راه دور از روش‌های موثر جهت برآورد شدت خشکسالی می‌باشد. رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۴) کارایی شاخص وضعیت پوشش گیاهی VCI را در تحلیل خشکسالی کشاورزی استان آذربایجان شرقی ارزیابی کردند. برای محاسبه شاخص VCI از داده‌های ماهواره MODIS طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ (جز ۲۰۰۷) برای اول ماه ژوئن استفاده کردند. نتایج بیان‌کننده بیشترین خشکسالی به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۸ و ۲۰۰۰ و کمترین خشکسالی در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۰۳ بود. به‌منظور ارزیابی موفقیت، مقادیر VCI در ۹ ایستگاه سینوپتیک را استخراج و با مقادیر SPI سه‌ماهه در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۸، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۰۳ مقایسه کردند. نتایج SPI نیز نشان‌دهنده بیشترین خشکسالی در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۸ و ۲۰۰۰ و کمترین خشکسالی در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۰۳ بود.

(کاظم پور چورسی، ۱۳۹۸) طی سال ۲۰۰ تا ۲۰۱۴ داده‌های ماهواره‌های MODIS<sup>۱</sup> و TRMM<sup>۲</sup> در پایش خشکسالی حوضه آبریز دریاچه ارومیه را مورد بررسی قرار دادند، به‌طور میانگین نشان داد شاخص ماهواره‌ای مطلوب برای پایش خشکسالی کشاورزی حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی فصل رشد، VCI است. شاخص‌های SPI3، SPI6 و SPI9 بیشترین همبستگی را در ماه مارس به ترتیب با VCI و VHI، در ماه آوریل با PCI<sup>۳</sup> و CI<sup>۱</sup>، در ماه می با TCI<sup>۴</sup>، CI<sup>۳</sup> و CI<sup>۱</sup>، در ماه ژوئن و جولای با VCI و در ماه‌های آگوست و سپتامبر با TCI و VCI دارند. در ماه‌های می و آوریل شاخص‌های ترکیبی نتایج بهتری نسبت به شاخص‌های VCI و TCI ارائه کردند؛ در نتیجه شاخص‌های ترکیبی طی ماه‌های مرطوب (می و آوریل) نتایج بهتری را ارائه می‌کنند. فتح نیا و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی تحت عنوان پیش‌بینی احتمال تکرار دوره‌های خشکسالی و اثر آن بر پوشش گیاهی در استان گلستان به این نتیجه دست پیدا کرده‌اند که در میان سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۰۷ و ۱۹۹۴-۱۹۹۰ دوره ترسالی و سال‌های ۱۹۸۶-۱۹۸۲ و ۲۰۱۰-۲۰۰۵ دوره خشکسالی رخ داده است. تحلیل شاخص خشکسالی روند بارش در این زمان را تأیید کرده و نشان داد سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۰۵ شرایط مرطوب و از سال ۲۰۰۵ شرایط خشکی حاکم بوده است. موغلی (۱۳۹۹) در پژوهشی تحت عنوان پایش تغییرات پوشش گیاهی در اثر خشکسالی در حوضه آبریز درودزن با استفاده از تصاویر MODIS به این نتیجه دست یافته است که یکی از روش‌های مطالعه پایش و پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از شاخص‌های هواشناسی و تکنیک‌های سنجش از راه دور می‌باشد همچنین همبستگی بین شاخص‌های پوشش گیاهی و داده‌های

<sup>۱</sup> . Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer

<sup>۲</sup> . Tropical Precipitation Measuring Mission

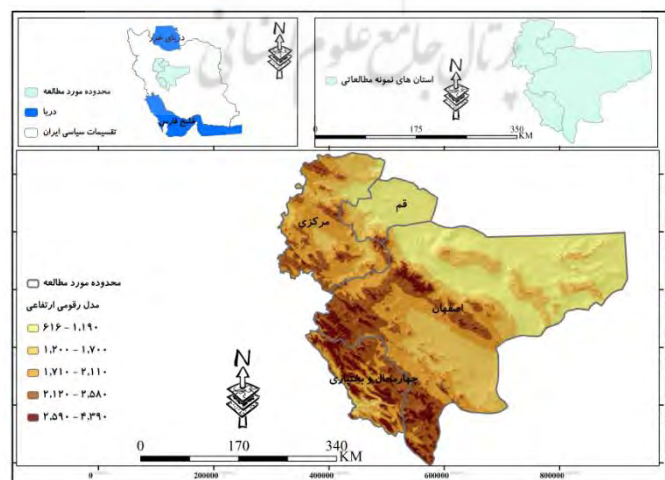
<sup>۳</sup> . Principal Component Analysis

<sup>۴</sup> . Composite Index

هواشناسی نشان از وجود ارتباط معنادار میان شاخص‌های خشکسالی سنجش از دور و هواشناسی است. در ادامه در تمامی ایستگاه‌های موجود در سالهای ۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۵، ۲۰۰۷ و ۲۰۱۳ خشک‌سالی از ضعیف تا شدید رخ داده است همچنین در سالهای ۲۰۰۹ و ۲۰۱۴ دوره ترسالی در منطقه اتفاق افتاده 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. اساسی‌ترین پیامدهای مستقیم عبارت‌اند 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 غیره 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 غیره هستند (حجازی‌زاده و جوی‌زاده، ۱۳۸۹؛ امیدوار، ۱۳۹۲). در منابع مختلف به مجموعه متنوعی از روش‌ها برای تحلیل خشکسالی اشاره می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: روش‌های تحلیل داده‌های بارندگی، روش‌های تحلیل همبستگی (سینوپتیک)، روش‌های سنجش‌از‌دور، روش‌های تعیین شاخص‌های خشکسالی و ...؛ روش سنجش از دوری که بیشتر بر روش‌ها و الگوهای ریاضی و تحلیل داده‌های کمی اقلیمی مبتنی است، کاربرد فراوانی برای تحلیل خشکسالی دارد (نوری و نوروزی، ۱۳۹۵).

## داده‌ها و روش کار

استان چهارمحال و بختیاری، این استان با ۱۶۵۳۳ کیلومتر مربع وسعت از جمله مناطق کوهستانی جنوب غربی ایران محسوب می‌شود. شکل طبیعی استان بر مبنای ارتفاعات میانی رشته کوه زاگرس استوار گشته است. این استان از شمال و مشرق به استان اصفهان، از مغرب به استان خوزستان، از جنوب به استان کهگیلویه و بویراحمد و از سوی شمال غربی به استان لرستان محدود می‌شود. استان قم، یکی از استان‌های ایران است که در جنوب استان تهران، شمال استان اصفهان، شرق استان مرکزی و غرب استان سمنان واقع شده است. مناطق جنوبی و غربی استان دارای آب و هوای کوهستانی و کوه‌های مرتفع است. مناطق شرقی، مرکزی و شمالی استان نیز دارای کویر و بیابان وسیع است. استان مرکزی، این استان از شمال به استان‌های البرز و قزوین، از غرب به استان همدان، از شمال شرقی به استان تهران از جنوب به استان‌های لرستان و اصفهان از شرق به استان‌های قم و اصفهان محدود است. این استان با مساحتی معادل ۲۹/۵۳۰ کیلومتر مربع حدود ۱/۸۲ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است. استان اصفهان، این استان از شرق به استان‌های یزد و خراسان جنوبی، از شمال به استان‌های سمنان و قم و مرکزی، از غرب به استان‌های لرستان و چهارمحال و بختیاری، از جنوب به استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و فارس محدود است. از نظر طبیعی نیز استان به دشت کویر در شرق و شمال رشته کوه‌های زاگرس محدود شده است



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه

تحقیق حاضر، با توجه به ماهیت مسئله و موضوع مورد بررسی، مطالعات مبتنی بر نرم افزار و داده‌های کمی است. در این مطالعه از تارنمای Search.Earthdata تصاویر ماهواره ترآ سنجنده مودیس مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ با اندازه سلولی ۱ کیلومتر  $\times$  ۱ کیلومتر به دلیل بررسی پدیده ترسالی و خشکسالی دریافت گردید. در مرحله بعد با بررسی داده‌های سینوپتیک ایستگاه‌های موجود و با استفاده از مدل شاخص بارش استاندارد شده سه ماه (آوریل، می و ژوئن) به‌عنوان نمونه انتخاب شد. مزیت استفاده از داده‌های ماه‌های (آوریل، می و ژوئن) در این است که معمولاً نسبت به ماه‌های فصل زمستان از ابرناکی کمتری برخوردار هستند که می‌توان با کمترین میزان اطلاعات از دست رفته در هر فریم شرایط بیوماس و سبزیگی گیاه را بدست آورد، با توجه به این فرض که پوشش سبز گیاهی منطقه متأثر از بارندگی سه ماه قبل خود خواهد بود و به دلیل مقارن بودن این سه ماه با افزایش خصوصیات انعکاسی طیفی پوشش گیاهی و با در نظر داشتن فصل رشد و سبزیگی برگ درختان و همچنین وجود پوشش گیاهی مرتعی در مراتع قشلاقی، شاخص‌های پوشش گیاهی مقادیر بیشتری را ثبت می‌کند. در همین ارتباط در ماه‌هایی که مجموع میزان بارندگی به نسبت بیشتر بوده همچون فصل زمستان و ذخیره آبی گیاه تا حدودی به حالت اشباع می‌رسد به خوبی نمی‌توان سطح پوشش گیاهی را بر اثر وضعیت‌های دمایی و حرارتی خود از همدیگر تفکیک نمود. در مرحله بعد به مقایسه شاخص‌های وضعیت درجه حرارت و سلامت پوشش گیاهی 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 ترآ سنجنده مودیس ساخته شدند شاخص وضعیت پوشش گیاهی، وضعیت درجه حرارت و سلامت پوشش گیاهی با استفاده از روابط (۳) تا (۵) توسعه داده شد. جهت استخراج شاخص‌های ماهواره‌ای برای هر یک از ایستگاه‌ها هواشناسی از ابزار Extract Values To Points در محیط نرم‌افزار جی آی اس بهره گرفته شد. تصاویر لازم (NDVI, LST) برای تعیین کارایی روش‌های سنجش از دور در نمایان سازی شرایط خشکسالی می‌باشد، که به طور منظم برای هر ۳ ماه در هر سال، ۶۰ تصویر برای مولفه NDVI و ۶۰ تصویر دمای سطح زمین (LST)، مجموعاً ۱۲۰ تصویر ماهواره ترآ سنجنده مودیس برای اطلاع از وضعیت پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه استفاده شد و خروجی نهایی حاصل از پردازش تصاویر که بر اساس روابط هر یک از آنها (رابطه ۴، ۳ و ۵) تعیین شده است در قالب اشکال و جداول (۳ تا ۷) نمایان گردید. به دلیل اینکه دامنه عددی تصویر اولیه شاخص NDVI بین منفی ۲۰۰۰ تا مثبت ۱۰۰۰۰ می‌باشد و یک تصویر نرمال نبوده میبایست جهت جداسازی مناطق عاری از پوشش گیاهی از مناطق دارای پوشش گیاهی مقدار ضریب  $0/0001$  برای هر یک از تصاویر اعمال شود تا مقادیر آن بین بازه منفی ۱ تا مثبت ۱ نرمال گردد. پوشش گیاهی متراکم به سمت  $+1$  میل می‌کند و برای پهنه آبی مقدار آن منفی است. جهت 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 و پس از ارزیابی شاخص پوشش گیاهی NDVI مقادیر خروجی به کمتر از صفر، بین صفر تا  $0/2$ ، بین  $0/2$  تا  $0/4$ ، بین  $0/4$  تا  $0/6$  و بیش از  $0/6$  طبقه بندی شدند که در نهایت میزان بهینه انتخاب شده ۱ مثبت بود. مجموع بارندگی ماه‌های آوریل، می و ژوئن برای ۲۳ ایستگاه استان اصفهان ۱۱ ایستگاه از استان مرکزی، ۵ ایستگاه از استان قم و ۷ ایستگاه از استان چهارمحال بختیاری برای دوره ۲۰ ساله از سایت سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید، جهت پردازش داده‌هایی که در محیط اکسل طبقه‌بندی شده بودند از نرم افزار جی آی اس و روش‌های زمین آماری بهره گرفته شد. همچنین به منظور توصیف همبستگی (معناداری) بین شاخص بارش استاندارد شده با شاخص‌های سنجش از دوری از ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید. اگر ضریب همبستگی دو پارامتر با یکدیگر مثبت باشد، به این معناست که در فضایی که مطالعه و بررسی انجام شده، افزایش یک پارامتر با افزایش پارامتر دیگر و نیز کاهش آن پارامتر با کاهش پارامتر دیگر همراه است. اگر ضریب همبستگی دو پارامتر با یکدیگر منفی باشد، به این معناست که در فضایی که مطالعه و بررسی انجام شده، افزایش یک پارامتر با کاهش پارامتر دیگر و کاهش آن پارامتر با افزایش پارامتر دیگر همراه است. نحوه محاسبه ضریب همبستگی بین دو متغیر و مطابق با رابطه ۱ است. معمولاً ضریب همبستگی را با علامت یا Corr نشان می‌دهند. در رابطه، منظور از  $\sigma(x)$ ، انحراف معیار (جذر واریانس) متغیر  $x$  است. همچنین  $\sigma(y)$  نیز

1. Land Surface Temperature

انحراف معیار متغیر  $\gamma$  را نشان می‌دهد. در صورت کسر نیز همان کوواریانس بین دو متغیر محاسبه شده است. از آنجایی که صورت (کوواریانس) و حاصل ضرب انحراف معیارها هم واحد هستند، نسبت‌شان بدون واحد خواهد بود.

$$P(x, Y) = \text{Corr}(x, y) = \frac{\text{Cov}(x, y)}{\sigma_x \sigma_y}$$

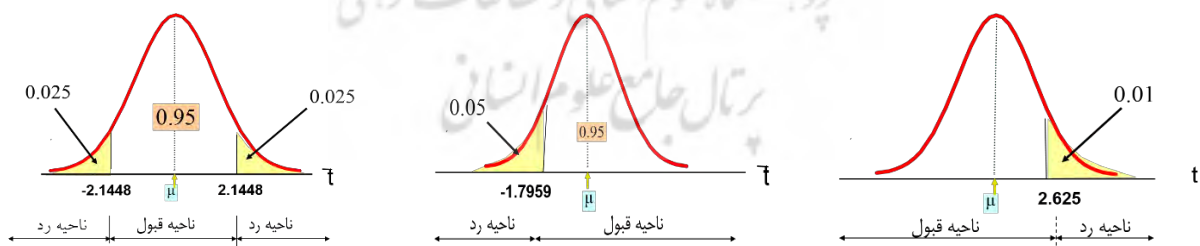
در این مطالعه به منظور پهنه‌بندی شاخص SPI روش‌های عکس مجذور فاصله، چندجمله‌ای، توابع شعاعی پایه‌ای و روش‌های کریجینگ مورد استفاده قرار گرفت. سپس در بین روش‌های مورد استفاده روشی که مقدار خطای درون‌یابی آن کمتر است به‌عنوان بهترین روش پهنه‌بندی انتخاب گردید و مطابق با آن داده‌ها پهنه‌بندی شدند. با بررسی نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی خطای درون‌یابی الگوریتم کریجینگ نسبت به سایر روش‌های درون‌یابی مقدار خطای کمتری را نشان داد. دلایل انتخاب این روش به‌عنوان روش مناسب ۲ مورد می‌باشد: ۱) مقدار خطای پایین نسبت به سایر روش‌ها (۲) عدم تغییر دامنه شاخص اقلیمی می‌باشد. برای نشان دادن معنی داری روند SPI از معیار p-value کمتر از ۰/۰۵ یا بیشتر از ۰/۰۵ یا مناطق دارای روند استفاده شد. پارامترهای اقلیمی در مقیاس زمان و مکان به دلایل زیادی تغییر می‌کنند که باید نحوه تغییرات آنها بر اساس مشاهدات و با بهره‌گیری از روش‌های آماری تعیین شود. تحلیل روند با استفاده از معیار p-value جمله مهم‌ترین روش‌های آماری است که به طور گسترده برای ارزیابی اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر روی سری-های زمانی مانند سری‌های مشاهداتی بارندگی در نقاط مختلف جهان استفاده شده است. مقادیر p-value متغیر (SPI) برای سه ماه و کل سال در محیط نرم افزار اکسل برآورد گردید. تابع Z.TEST در اکسل مقدار احتمال p-value مربوط به آزمون فرض مقایسه میانگین یک نمونه را با یک آرایه از اعداد محاسبه می‌کند و ورودی‌های این تابع به شرح زیر هستند:

( انحراف معیار ، میانگین نمونه، دامنه اعداد ) = Z.TEST

دامنه اعداد: مجموعه‌ای از اعداد یا سلول‌ها که می‌خواهیم میانگین نمونه را با آن مقایسه کنیم.

میانگین نمونه: مقدار میانگینی است که می‌خواهید آن را در فرض مورد آزمون قرار دهید.

انحراف معیار: یک ورودی اختیاری است که نشان دهنده انحراف معیار جامعه بوده و اگر معلوم نباشد، مقدار آن قرار داده می‌شود، اما اگر انحراف معیار معلوم نباشد، می‌توان آن را در نظر نگرفت و بر حسب این شرایط اکسل محاسبات را بر اساس انحراف استاندارد نمونه انجام خواهد داد. (فرزندی و همکاران، ۱۳۹۳، جوادی و همکاران، ۱۳۹۳).



شکل ۲. قاعده تصمیم‌گیری

شاخص استاندارد بارش (SPI) 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 (Bonaccorso, 2003). این شاخص اساساً برای تعریف و پایش خشکسالی و ترسالی ارائه شده است (Tsakiris et al, 2004). این شاخص از طریق معادله زیر قابل محاسبه می‌باشد. (رابطه ۲)

$$SPI = (P_i - P) / S$$

که در آن  $P_i$ : مقدار بارش در دوره مورد نظر.  $P$ : میانگین درازمدت بارش برای دوره مورد نظر 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 شاخص بارش استاندارد شده انجام می‌گیرد. پس از محاسبه مقدار شاخص بارش استاندارد شده 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 بارش استاندارد شده

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

منبع: رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۴) به نقل از Mckee et al, 1993

شاخص سلامت پوشش گیاهی<sup>۱</sup>: براساس ترکیب حاصل از شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده و درجه حرارت سطح زمین استخراج می‌شود. فرمول شاخص مذکور در ذیل آورده شده است. (رابطه ۳)

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

شاخص وضعیت درجه حرارت<sup>۲</sup>: شاخص وضعیت درجه حرارت بر اساس باند حرارتی تبدیل شده به دمای درخشندگی ارائه شده است.

$$\text{BANDMATH: } 100*((BTMAX-LST)/(BTMAX-BTMIN)) \quad (\text{رابطه ۴})$$

در این رابطه، LST تصویر اولیه بر حسب درجه سانتیگراد، BT دمای درخشندگی (باند ۳۱) و i نشان دهنده‌ی سال ارزیابی است. مقادیر BT بیشینه (MIN) و کمینه (MAX) از داده‌های ثبت شده‌ی درازمدت برای هر سال به دست می‌آید. هنگامی که مقدار شاخص وضعیت درجه حرارت به ۱۰۰ درصد می‌رسد BT برای این ماه برابر کمترین مقدار BT دراز مدت برای پیکسل است. مقادیر کم شاخص وضعیت درجه حرارت نزدیک به صفر درصد نشان دهنده‌ی هوای بسیار گرم در سال مورد نظر است. هنگامی که شاخص وضعیت درجه حرارت به صفر درصد می‌رسد، BT آن سال برابر بیشترین مقدار BT دراز مدت برای پیکسل است. شاخص وضعیت پوشش گیاهی<sup>۳</sup>: بوسیله دامنه‌ای از مقادیر پوشش گیاهی طولانی مدت محاسبه شده و نرمال می‌شود. به نحوی که دامنه مقادیر شاخص وضعیت پوشش گیاهی از ۰ تا ۱۰۰ است، که در آن مقادیر کم شرایط تنش گیاهی را نشان می‌دهد، زمانی که مقدار شاخص وضعیت پوشش گیاهی به صفر درصد نزدیک می‌شود، نشانگر یک ماه بسیار خشک است و وقتی که مقدار پوشش گیاهی به بیشترین مقدار نزدیک می‌شود، وضعیت خشکسالی بهبود می‌یابد. مقادیر کم شاخص وضعیت پوشش گیاهی برای فواصل زمانی پی درپی، اشاره به ازدیاد خشکسالی دارد که طبق رابطه ذیل تعریف می‌شود (Kogan, 2000).

$$\text{BANDMATH: } 100*((NDVI-MIN)/(MAX-MIN)) \quad (\text{رابطه ۵})$$

1. VEGETATION HEALTH INDEX

2. THERMAL CONDITION INDEX

3. VEGETATION CONDITION INDEX

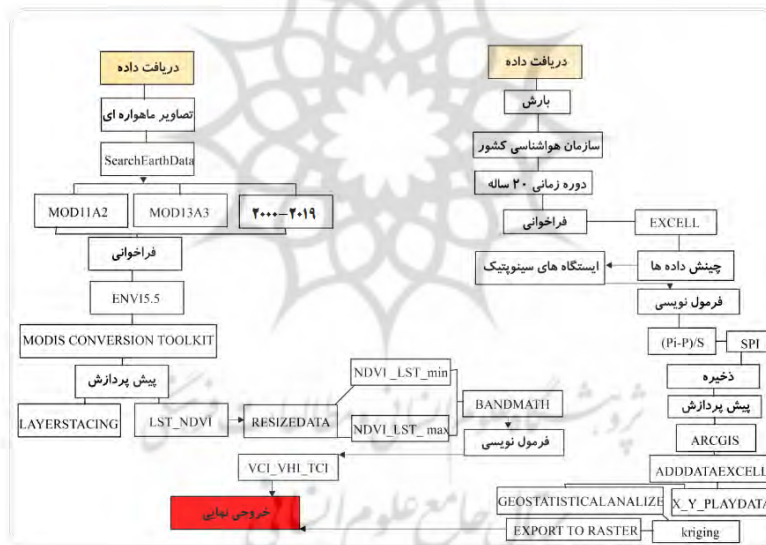


شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI): از این شاخص به جهت محاسبه شاخص وضعیت پوشش گیاهی استفاده شده است که کاربرد گسترده ای جهت تشخیص مناطق دارای پوشش گیاهی سالم از ناسالم و مناطق عاری از پوشش دارد. این شاخص وضعیت پوشش گیاهی را بر روی سطح زمین در مناطق وسیع نشان می دهد. ارزش عددی شاخص پوشش گیاهی بین -۱ تا 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 (Rouse et al, 1973). اگرچه شاخص NDVI به نوعی همچون شاخص های DVI, EVI و GI با بهبود سازی حساسیت در مناطق با بیموس بالا و بهبود پایش پوشش گیاهی از طریق ایجاد ارتباط بین سیگنال پس زمینه تاج و پوشش و کاهش اثرات اتمسفری عمل می کند و در تعیین تراکم و سبزیگی پوشش گیاهی نتایج خوبی ارائه می دهد.

جدول ۲. طبقه بندی دوره خشکسالی بر اساس شاخص سلامت پوشش گیاهی، وضعیت پوشش گیاهی و شاخص وضعیت درجه حرارت

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

منبع: رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۱ به نقل از Bhuiyan, 2008



شکل ۳. فلوجارت مفهومی مطالعه شاخص های خشکسالی

## شرح و تفسیر نتایج

بررسی انطباق مقادیر عددی شاخص های ماهواره ای با میانگین های شاخص SPI در هر ایستگاه نشان دهنده تشابه در گزارش رخدادهای خشکسالی و ترسالی بوده است. نتایج نشان داد با شروع فصل رویش پوشش گیاهی مراتع (آوریل، می)، میانگین مقادیر شاخص وضعیت سلامت پوشش گیاهی در نیمه غربی استان ها روند افزایشی را نشان می دهد، همزمان مقادیر شاخص SPI در این ۲ ماه با توجه به وجود بارندگی بهار روند مثبتی را در نیمه غربی استانها نمایان می کند. نتایج به دست آمده از شاخص وضعیت درجه حرارت مقادیر نسبتا بالای این شاخص در هر سه ماه را نشان می دهد. شرایط دمایی سطحی کم نوسان، ولی تفاوت های زیاد در میزان پوشش گیاهی در ماه های متمایز و زمین های با پوشش گیاهی متنوع در استانها را می توان دلیل این امر دانست. پوشش گیاهی، به عنوان پدیده ای تاثیرگذار بر خشکسالی، ارتباط مستقیم با بارندگی و ارتباط معکوس با دما دارد. به عبارت دیگر با افزایش دما و کاهش بارندگی،

باید انتظار شدیدتر شدن تاثیر خشکسالی بر پوشش گیاهی در پهنه مورد مطالعه را داشت. با بررسی میزان تراکم پوشش گیاهی و درصد شدت خشکسالی در شکل (۸) می‌توان پی برد در دوره‌ای به علت کمبود بارندگی، خشک‌سالی به نوعی افزایش پیدا کرده و در نتیجه آن بیوماس و سبزی‌نگی گیاه کاهش یافته است.

جدول ۳. ارزیابی پهنه بندی SPI مقدار خطای روش‌های درون یابی با استفاده از شاخص RMSE

ماه	روش‌های درون یابی		
	توابع شعاعی پایه‌ای	چند جمله‌ای	کریجینگ
آوریل	۳۰۵	۴۹۶	۲۵۵
مئی	۱۷۰	۳۲۰	۱۱۳
ژوئن	۱۹۰	۴۷۶	۱۷۰

با بررسی نتایج به دست آمده از ارزیابی خطای روش‌های درون یابی در Error! Reference source not found. ۳ می‌توان پی برد که روش‌های درون یابی RBF و کریجینگ نسبت به سایر روش‌های درون یابی مقدار خطای کمتری دارند.

جدول ۴. مقادیر شاخص‌های SPI, TCI, VCI, VHI در ایستگاه‌های استان اصفهان

ایستگاه سینوپتیک	APR				MAY				JUN			
	SPI	TCI	VCI	VHI	SPI	TCI	VCI	VHI	SPI	TCI	VHI	VCI
خور و بیابانک	-۱,۱۷	۲۹,۶۸	۲۴,۱۳	۲۶,۹۱	-۱,۳۵	۵۶,۲۵	۲۴,۰۹	۴۰,۱۷	-۰,۸۰	۲۸,۸۱	۲۶,۴۵	۲۴,۰۹
کیوتر آباد	-۱,۱۳	۴۲,۹۷	۳۹,۳۱	۴۱,۱۸	-۱,۳۳	۷۳,۹۹	۵۲,۲۴	۶۳,۱۲	-۰,۱۰	۳۳,۰۴	۴۵,۰۹	۴۷,۱۹
داران	-۱,۱۴	۵۱,۰۴	۵۱,۰۵	۵۱,۰۳	-۱,۲۷	۷۱,۵۲	۳۹,۷۹	۵۵,۶۶	۰,۵۳	۴۶,۳۰	۴۴,۱۲	۴۳,۴۳
اردستان	-۱,۱۶	۲۳,۲۵	۲۳,۷۶	۲۳,۴۹	-۱,۳۴	۵۲,۹۲	۲۴,۶۲	۳۸,۷۷	-۰,۵۵	۲۳,۴۵	۲۳,۷۳	۲۴,۰۴
گلپایگان	-۱,۱۳	۴۲,۲۱	۴۷,۴۱	۴۴,۹۲	-۱,۲۹	۷۲,۳۳	۵۶,۲۳	۶۴,۲۸	۰,۸۴	۴۱,۶۰	۴۶,۱۷	۵۰,۶۵
نائین	-۱,۱۶	۲۲,۴۰	۲۴,۳۵	۲۳,۸۳	-۱,۳۴	۵۳,۵۶	۲۴,۰۲	۳۸,۷۹	-۰,۴۸	۲۲,۹۸	۲۳,۵۶	۲۴,۲۲
نطنز	-۱,۱۶	۳۲,۶۵	۲۴,۴۸	۲۸,۵۵	-۱,۳۲	۶۲,۷۸	۲۶,۴۷	۴۴,۶۳	۰,۲۱	۳۲,۳۹	۲۸,۸۲	۲۵,۲۴
شهرضا	-۱,۱۶	۲۹,۸۱	۲۵,۹۵	۲۷,۹۲	-۱,۳۲	۶۰,۴۶	۲۶,۸۳	۴۳,۶۵	۰,۲۷	۲۹,۰۴	۲۷,۶۴	۲۶,۱۸
لردگان	-۱,۱۴	۳۶,۰۱	۳۱,۱۶	۳۳,۵۸	-۱,۲۴	۶۸,۱۷	۴۶,۴۲	۵۷,۳۰	-۰,۸۰	۳۵,۵۳	۳۴,۶۷	۳۳,۷۴
میمه	-۱,۱۲	۳۵,۴۴	۳۳,۱۷	۳۴,۴۰	-۱,۳۲	۶۸,۳۷	۴۲,۱۱	۵۵,۲۴	۱,۰۳	۳۵,۹۳	۳۸,۰۰	۴۱,۵۶
ورزنه	-۱,۱۵	۳۵,۳۸	۴۰,۶۲	۳۸,۱۲	-۱,۳۲	۶۷,۰۳	۵۱,۶۲	۵۹,۳۳	-۰,۴۸	۳۵,۸۸	۴۰,۸۸	۴۶,۱۴
سمیرم	-۱,۱۴	۳۸,۷۴	۳۰,۵۱	۳۴,۶۳	-۱,۱۹	۷۰,۵۹	۳۳,۶۸	۵۲,۱۳	-۰,۸۹	۳۹,۰۹	۳۵,۵۲	۳۱,۹۸
مورچه خورت	-۱,۱۱	۳۲,۹۷	۲۲,۷۰	۲۳,۳۵	-۱,۳۱	۵۴,۹۴	۳۳,۱۸	۳۹,۰۶	-۰,۳۱	۲۴,۰۰	۲۳,۳۰	۲۲,۶۱
اصفهان (ازن سنجی)	-۱,۱۳	۳۱,۹۲	۲۹,۸۰	۳۰,۸۶	-۱,۳۳	۶۲,۱۹	۳۲,۵۱	۴۷,۳۵	-۰,۳۶	۳۰,۹۲	۳۰,۳۶	۲۹,۷۸
فریدونشهر	-۱,۰۲	۴۴,۴۵	۴۳,۸۹	۴۳,۹۲	-۱,۰۰	۷۶,۱۶	۴۷,۶۸	۶۱,۹۲	۲,۵۹	۴۵,۹۱	۴۷,۶۲	۴۹,۶۹
نجف آباد	-۱,۱۶	۳۵,۲۹	۲۸,۶۰	۳۱,۹۷	-۱,۳۰	۶۳,۵۰	۲۹,۸۰	۴۶,۶۵	-۰,۶۲	۳۳,۷۱	۳۱,۲۹	۲۸,۸۷
خوانسار	-۱,۱۱	۴۸,۵۲	۵۶,۷۴	۵۲,۶۴	-۱,۲۴	۷۸,۷۶	۶۰,۲۱	۶۹,۴۸	۰,۲۱	۴۸,۰۸	۵۳,۶۸	۵۹,۴۱
زرین شهر	-۱,۱۶	۳۲,۲۶	۲۹,۱۱	۳۰,۷۶	-۱,۲۹	۶۱,۴۱	۲۹,۸۹	۴۵,۵۵	-۰,۶۴	۳۰,۱۸	۲۹,۵۶	۲۸,۹۵
چوپانان	-۱,۱۷	۱۸,۷۷	۲۵,۰۷	۲۱,۹۰	-۱,۳۴	۴۷,۷۵	۲۵,۷۷	۳۶,۷۶	-۰,۸۸	۱۸,۷۰	۲۲,۰۷	۲۵,۶۶
مبارکه	-۱,۱۴	۴۱,۹۰	۳۳,۴۸	۳۷,۹۱	-۱,۳۱	۶۵,۹۰	۳۴,۱۳	۵۰,۰۲	-۰,۸۷	۳۸,۲۴	۳۵,۳۸	۳۲,۵۹
آشتیان	-۱,۱۰	۴۱,۸۷	۳۰,۸۰	۳۶,۳۳	-۱,۲۷	۷۲,۰۱	۳۴,۵۹	۵۳,۳۰	۲,۷۱	۴۰,۲۹	۳۶,۳۸	۳۲,۴۱
دهق	-۱,۱۷	۲۹,۴۹	۲۴,۸۳	۲۷,۱۱	-۱,۳۴	۶۱,۲۷	۲۶,۲۸	۴۳,۷۸	-۰,۰۴	۲۹,۱۶	۲۷,۳۹	۲۵,۵۶
چادگان	-۱,۱۴	۳۶,۰۷	۲۸,۹۹	۳۲,۵۷	-۱,۳۱	۶۷,۲۶	۳۰,۳۹	۴۸,۸۳	-۰,۵۹	۳۵,۷۹	۳۳,۲۷	۳۰,۶۹
ضریب همبستگی پیرسون	۰,۴۹	۰,۴۶	۰,۴۹	۰,۴۹	۰,۵۸	۰,۴۱	۰,۵۰	۰,۵۰	۰,۵۰	۰,۴۸	۰,۴۳	۰,۴۳

جدول ۵. مقادیر شاخص های SPI, TCI, VCI, VHI در ایستگاه‌های استان مرکزی

ایستگاه سینوپتیک	APR				MAY				JUN			
	SPI	TCI	VCI	VHI	SPI	TCI	VCI	VHI	SPI	TCI	VHI	VCI
اراک	۰,۳۸	۳۵,۷۴	۲۹,۶۰	۳۲,۶۹	۰,۶۴	۶۸,۸۶	۳۶,۳۳	۵۲,۶۰	-۰,۲۸	۳۶,۷۸	۳۴,۱۱	۳۱,۲۶
کاشان	-۱,۴۰	۲۸,۶۳	۲۷,۶۵	۲۸,۰۴	-۱,۴۶	۵۷,۷۸	۲۸,۷۲	۴۳,۲۵	-۱,۰۱	۲۹,۲۱	۲۸,۷۶	۲۸,۳۴
ساوه	-۰,۸۸	۲۹,۰۶	۲۵,۱۷	۲۷,۱۱	-۱,۲۹	۵۸,۱۷	۲۶,۰۶	۴۲,۱۱	-۰,۹۶	۲۸,۶۴	۲۶,۹۳	۲۵,۲۸
تفرش	-۰,۱۰	۴۳,۴۷	۳۵,۶۳	۳۹,۴۷	۱,۰۰	۷۵,۵۰	۴۵,۰۷	۶۰,۲۹	-۱,۱۵	۴۳,۷۶	۴۱,۹۱	۴۰,۳۹
خمین	۱,۶۲	۳۶,۷۹	۲۹,۷۵	۳۳,۱۸	۰,۰۴	۶۹,۵۷	۳۹,۵۷	۵۴,۵۷	۱,۱۱	۳۶,۳۲	۳۵,۰۷	۳۳,۷۸
دلیجان	-۰,۶۷	۳۲,۳۷	۲۵,۰۰	۲۸,۷۲	-۰,۸۳	۶۱,۰۵	۲۶,۵۸	۴۳,۸۱	-۰,۴۳	۳۰,۴۵	۲۷,۹۲	۲۵,۳۰
کمیجان	۰,۲۱	۳۳,۵۷	۳۳,۳۰	۳۳,۴۷	۰,۳۹	۶۷,۹۰	۴۰,۵۵	۵۴,۲۳	-۰,۲۹	۳۴,۶۸	۳۵,۳۴	۳۶,۰۴
خنداب	۰,۸۹	۳۵,۴۷	۲۹,۸۹	۳۲,۶۶	۰,۶۶	۶۹,۳۴	۳۴,۱۷	۵۱,۷۶	-۰,۰۲	۳۶,۸۷	۳۴,۱۷	۳۱,۴۱
غرق آباد	-۰,۳۴	۳۹,۵۵	۳۰,۵۷	۳۵,۱۵	-۰,۱۴	۶۹,۰۶	۴۰,۲۳	۵۴,۶۵	۰,۰۹	۳۸,۲۴	۳۵,۴۹	۳۲,۸۴
محلات	-۱,۰۸	۳۳,۴۷	۲۵,۱۲	۲۹,۲۸	-۰,۷۴	۶۴,۶۹	۲۶,۱۶	۴۵,۴۲	۲,۲۶	۳۳,۳۵	۲۹,۳۷	۲۵,۴۱
شازند	۱,۳۸	۳۹,۶۲	۳۹,۰۴	۳۹,۴۲	۱,۷۲	۷۶,۳۰	۵۳,۴۰	۶۴,۸۵	-۰,۱۸	۴۱,۷۵	۴۴,۵۳	۳۷,۳۸
ضریب همبستگی پیرسون		۰,۳۴	۰,۳۳	۰,۳۷		۰,۹۴	۰,۸۷	۰,۹۲		-۰,۰۸	-۰,۲۰	-۰,۲۸

جدول ۶. مقادیر شاخص های SPI, TCI, VCI, VHI در ایستگاه‌های استان قم

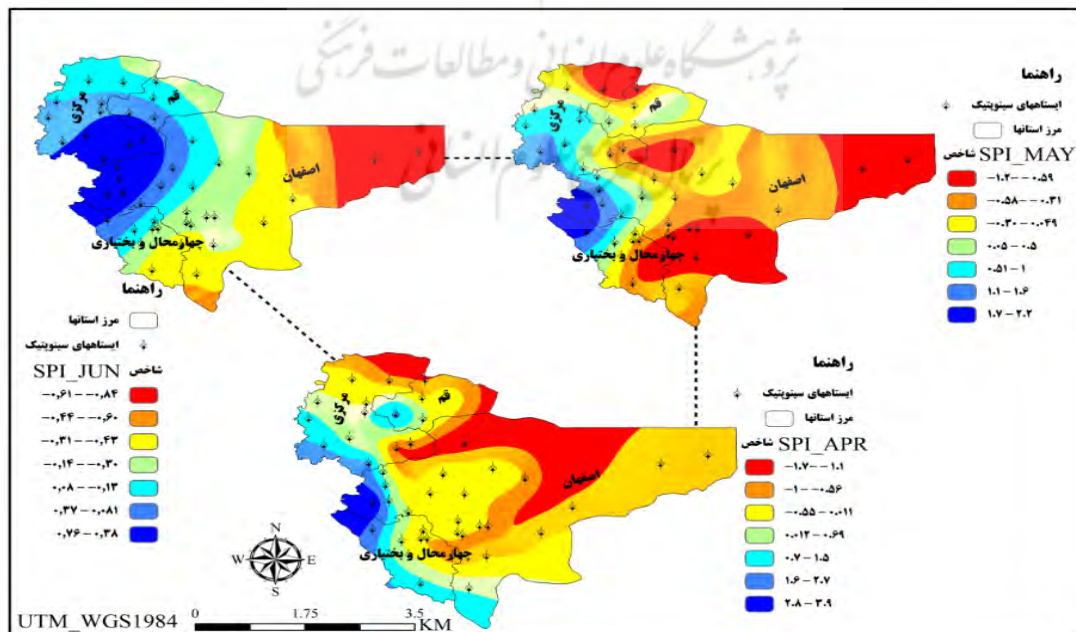
ایستگاه سینوپتیک	APR				MAY				JUN			
	SPI	TCI	VCI	VHI	SPI	TCI	VCI	VHI	SPI	TCI	VHI	VCI
قم	-۰,۴۹	۲۷,۴۲	۲۵,۰۸	۲۶,۱۳	-۰,۵۷	۵۳,۱۷	۲۵,۴۶	۳۹,۳۱	۰,۶۷	۲۵,۴۴	۲۵,۲۵	۲۵,۰۳
سلفچگان	۱,۶۱	۳۱,۲۸	۲۳,۸۴	۲۷,۵۰	۰,۴۴	۶۱,۱۷	۲۶,۲۵	۴۳,۷۱	-۰,۱۹	۲۹,۹۸	۲۷,۲۷	۲۴,۶۱
کهنک	۰,۱۲	۳۵,۲۴	۳۴,۱۷	۲۹,۶۶	۰,۴۰	۶۱,۶۶	۲۵,۹۱	۴۳,۷۹	۱,۲۷	۳۳,۲۶	۲۸,۹۴	۲۴,۶۳
کوشک نصرت	-۱,۰۷	۲۰,۸۶	۲۱,۸۰	۲۱,۳۳	-۱,۴۲	۵۲,۲۴	۲۲,۱۰	۳۷,۴۲	-۰,۴۴	۲۱,۹۳	۲۱,۸۵	۲۱,۸۳
کوه سفید	-۰,۱۸	۲۸,۸۱	۲۸,۸۳	۲۸,۹۰	۱,۱۵	۵۵,۷۷	۳۲,۲۱	۴۳,۹۹	-۱,۳۱	۲۷,۴۰	۲۷,۹۹	۲۸,۲۳
ضریب همبستگی		۰,۶۴	۰,۲۴	۰,۶۱		۰,۷۴	-۰,۱۲	۰,۴۴		۰,۴۶	۰,۱۹	-۰,۳۹

جدول ۷. مقادیر شاخص های SPI, TCI, VCI, VHI در ایستگاه‌های استان چهار محال بختیاری

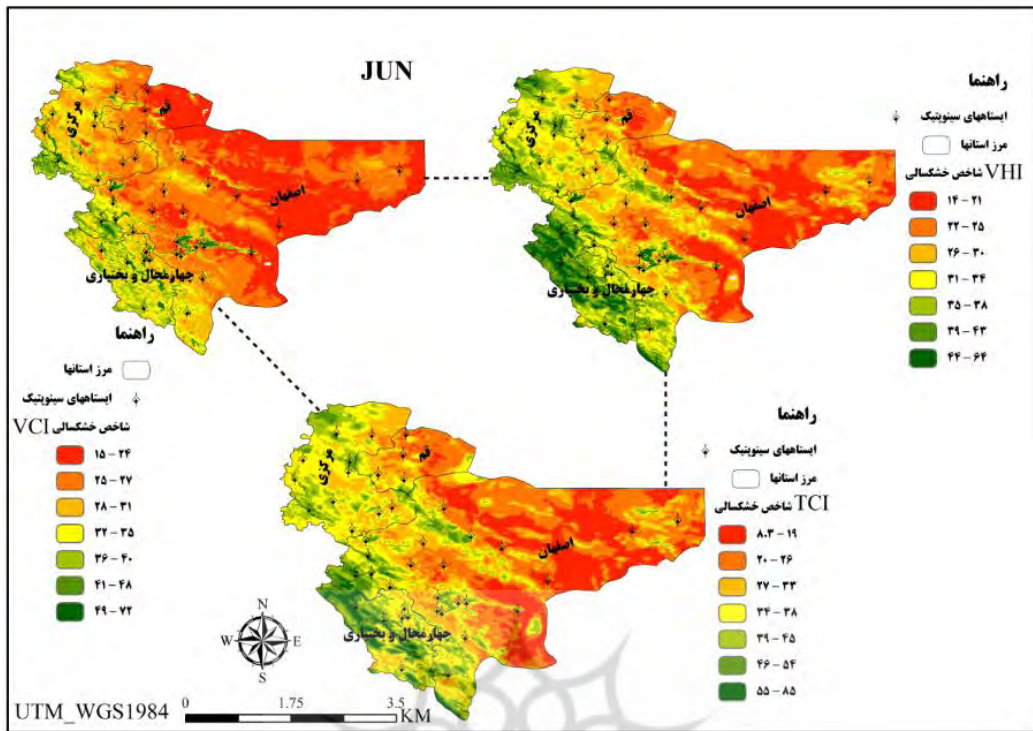
ایستگاه سینوپتیک	APR				MAY				JUN			
	SPI	TCI	VCI	VHI	SPI	TCI	VCI	VHI	SPI	TCI	VHI	VCI
شهرکرد	-۰,۵۳	۳۸,۷۴	۳۲,۷۵	۳۵,۷۸	-۰,۵۸	۷۲,۵۴	۴۲,۶۹	۵۷,۶۱	-۰,۳۱	۳۷,۸۷	۳۷,۹۶	۳۷,۹۸
اردل	۰,۰۱	۳۹,۰۲	۳۱,۲۹	۳۵,۱۶	-۰,۱۳	۷۳,۷۴	۴۱,۴۲	۵۷,۵۸	-۱,۹۷	۳۹,۷۸	۳۷,۶۱	۳۵,۲۳
کوه‌رنگ	۲,۱۶	۴۷,۹۷	۴۰,۰۶	۴۴,۰۸	۲,۰۹	۷۹,۹۷	۴۱,۵۰	۶۰,۷۳	۰,۷۸	۵۰,۰۰	۴۶,۳۵	۴۲,۵۵
بروجن	-۰,۸۱	۳۵,۵۷	۲۹,۱۳	۳۲,۳۷	-۰,۹۸	۶۷,۵۲	۳۱,۶۰	۴۹,۵۶	۰,۵۱	۳۵,۲۳	۳۳,۰۰	۳۰,۷۸
سامان	-۰,۳۱	۳۴,۵۸	۲۹,۶۶	۳۲,۱۰	-۰,۵۲	۶۷,۸۳	۳۴,۸۷	۵۱,۳۵	۰,۵۴	۳۴,۶۵	۳۳,۴۱	۳۲,۱۴
فرخ شهر	-۰,۵۳	۳۹,۷۵	۳۵,۴۶	۳۷,۴۹	-۰,۰۷	۷۰,۶۷	۴۰,۳۵	۵۵,۵۱	-۰,۴۰	۳۸,۷۷	۳۷,۶۴	۳۶,۶۹
فارسان	۰,۰۱	۴۰,۸۶	۴۰,۰۳	۴۰,۴۸	۰,۱۹	۷۵,۶۱	۴۸,۰۰	۶۱,۸۰	۰,۸۴	۴۲,۸۱	۴۳,۰۹	۴۲,۹۶
ضریب همبستگی		۰,۵۸	۰,۴۲	۰,۵۱		۰,۸۳	۰,۳۳	۰,۶۰		۰,۲۰	۰,۲۳	۰,۲۴

بر اساس گزارش ارقام بدست آمده حاصل از ارتباط بین متغیر مشاهداتی (SPI) و متغیرهای سنجش از دوری (شاخص‌ها) میتوان چنین نتیجه گرفت که شاخص سلامت پوشش گیاهی برای استان چهارمحال بختیاری ارتباط مثبت معناداری را با بارش سه ماهه داشته و نتایج قابل قبولی نسبت به شاخص وضعیت درجه حرارت و وضعیت پوشش گیاهی داشته است.

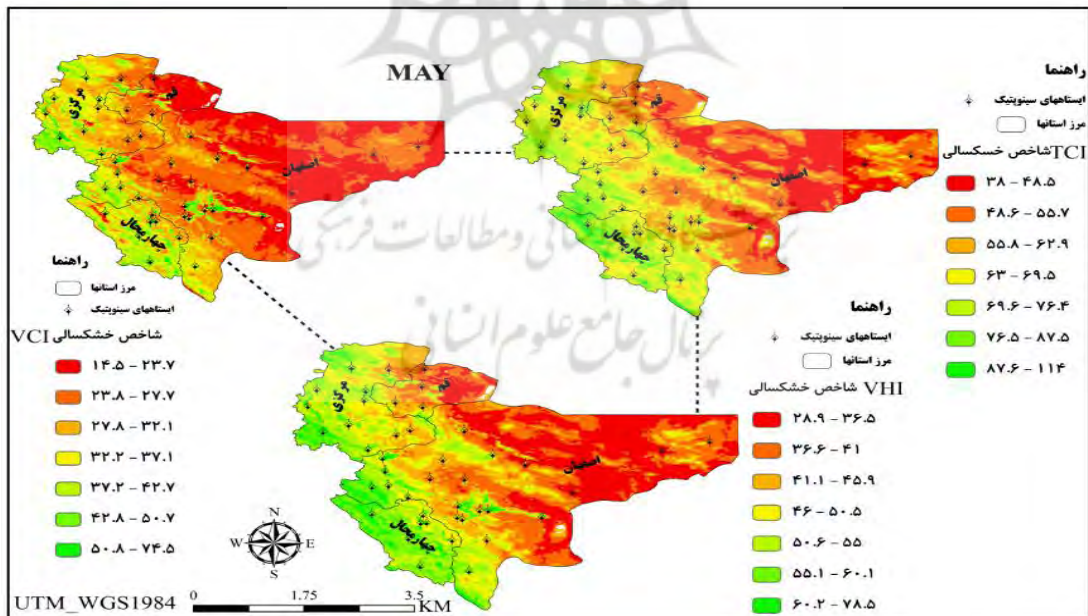
در هر دوره‌ای که ترسالی مشاهده شده است، متوسط پوشش گیاهی سطحی و سلامت گیاهان در آن دوره بیشتر بوده است بررسی نتایج حاصل از پارامتر SPI در منطقه نشان می‌دهد که مقدار SPI یک روند کاهشی داشته است بنابراین همانطور که از نتایج مشخص است بین بارندگی و شاخص‌ها خشکسالی سنجش از دوری در منطقه رابطه معنی‌داری وجود دارد و از روند خاصی پیروی نمیکنند. بر این اساس نتایج به دست آمده در این بخش نیز حاکی از آن است که در منطقه در طی دوره آماری اگرچه بین پوشش گیاهی و بارندگی رابطه مستقیمی وجود دارد و با افزایش مقدار بارندگی سبب افزایش مقدار سبزی‌نگی و پوشش سطح خواهد شد بنابراین می‌توان گفت تاثیر پارامتر اقلیمی (بارندگی) در منطقه مشاهده می‌گردد و این تاثیر بر میزان تراکم و سبزی‌نگی پوشش گیاهی در مناطق مورد مطالعه به شکل زیادی اثر گذاشته است. همانطور که در گزارش ارقام ملاحظه گردید شاخص TCI که مرتبط با وضعیت دمایی سطح و رطوبت خاک هست توانایی بهتری در به تصویر کشیدن تغییرات خشکسالی دارد که علت آن هم وضعیت پوشش گیاهی استان‌ها و غالب بودن شرایط خشکی نسبی در سرتاسر این استانها است و شاخص مرتبط با پوشش گیاهی همانند VCI را که واکنش کمتری نسبت به تغییرات بارندگی دارد را برای این منطقه روشن می‌کند. بر اساس مقادیر این جداول بیشترین همبستگی بین میانگین شاخص VHI با SPI مشاهده شد که دلیل این امر نیز فاصله زمانی بین رخداد بارش و پاسخ گیاه است. این فاصله زمانی در هر منطقه متفاوت است. بر مبنای جداول به دست آمده از محاسبات آماری در بین شاخص‌های ماهواره‌ای ضعیف‌ترین روابط همبستگی را شاخص VCI با شاخص SPI دارد. رابطه همبستگی مناسب و سطح معنی‌داری نیز تنها بین شاخص SPI با شاخص‌های VHI و TCI وجود دارد. در نهایت می‌توان بیان کرد که مطالعات صورت گرفته با استفاده از شاخص‌های مختلف با توجه به محل اجرا و شرایط محیطی، نتایج متفاوتی را نشان می‌دهند با توجه به شرایط خاص آب و هوایی ایران و شرایط اقلیمی مناطق خشک، نمی‌توان برای مطالعه خشکسالی از روش‌ها و شاخص‌های یکسانی استفاده نموده و نتایج کاملاً مشابهی را انتظار داشت. از این رو باید رابطه هر کدام از شاخص‌های ماهواره‌ای با خشکسالی در هر کدام از مناطق به طور جداگانه مورد مطالعه قرار گیرد و برای هر منطقه بسته به شرایط خاص اقلیمی و پوشش گیاهی اقدام به انتخاب شاخص مناسب جهت پایش خشکسالی نمود.



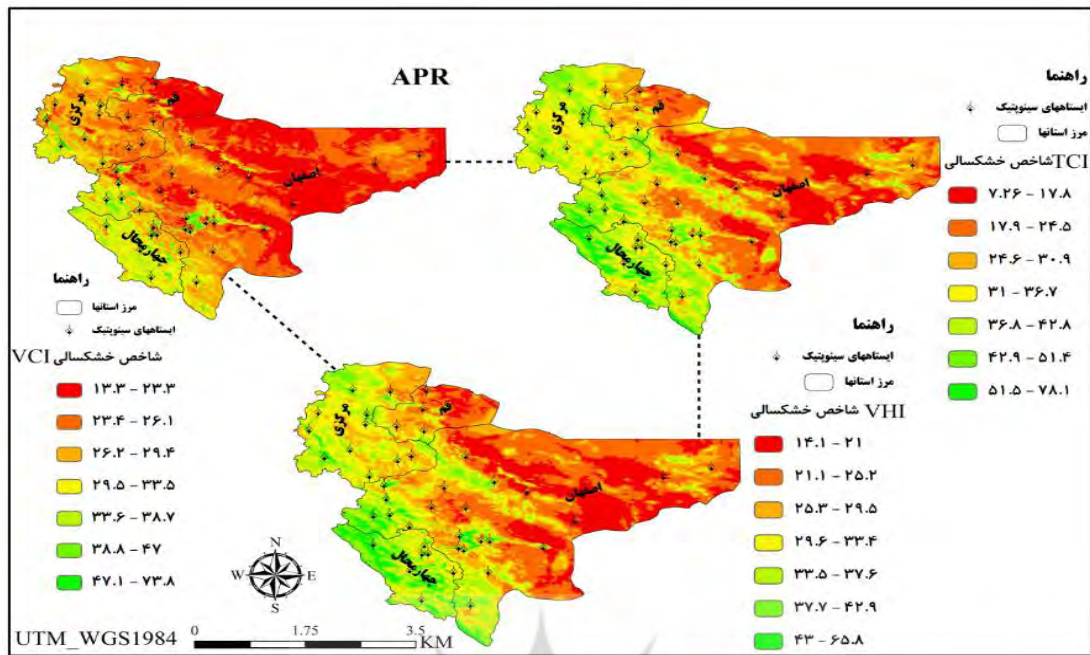
شکل ۴. خشکسالی حاصل از شاخص بارش استاندارد شده



شکل ۵. خشکسالی حاصل از شاخص‌های سنجش‌ازدوری ماه ژوئن برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹

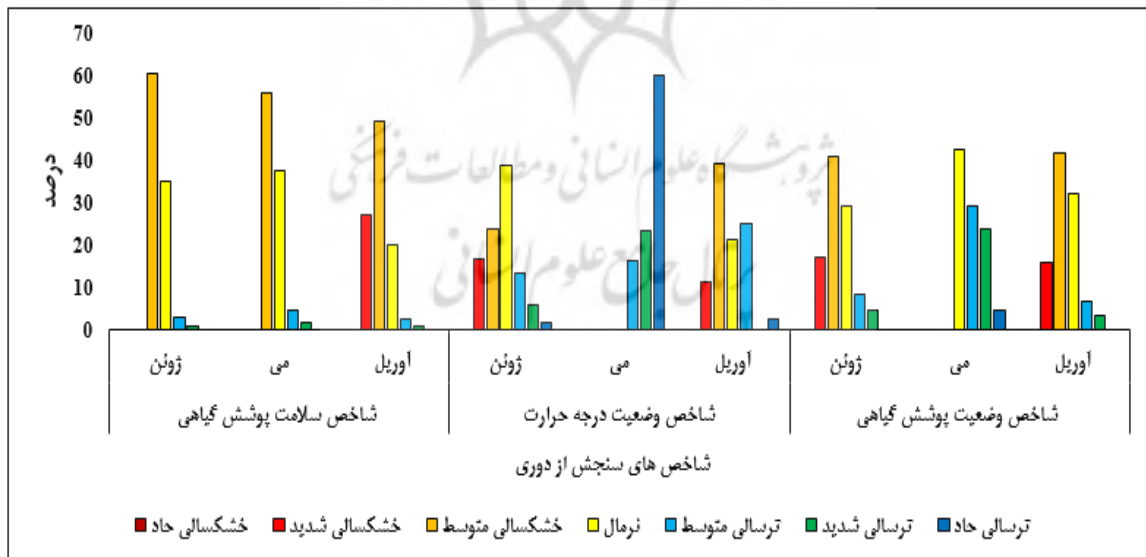


شکل ۶. خشکسالی حاصل از شاخص‌های سنجش‌ازدوری ماه می برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹



شکل ۷. خشکسالی حاصل از شاخص‌های سنجش‌ازدوری ماه آوریل برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹

نتایج شاخص‌های خشکسالی سنجش‌ازدوری نشان می‌دهد که مقادیر پوشش گیاهی از تغییرات ماهانه نسبتاً زیاد برخوردار است. همان‌طور که شاخص‌ها نشان می‌دهند در هر سه ماه ارتباط معنادار مثبت در نیمه غربی محدوده قابل مشاهده است و به طرف جنوب و شرق میزان ضریب همبستگی کاهش نسبتاً زیادی می‌یابد و به مقادیر منفی نزدیک می‌شود. در کل کیفیت پوشش گیاهی پاسخی به عناصر آب و هوایی مانند افزایش یا کاهش بارش، دما و مقدار تابش آفتاب است.



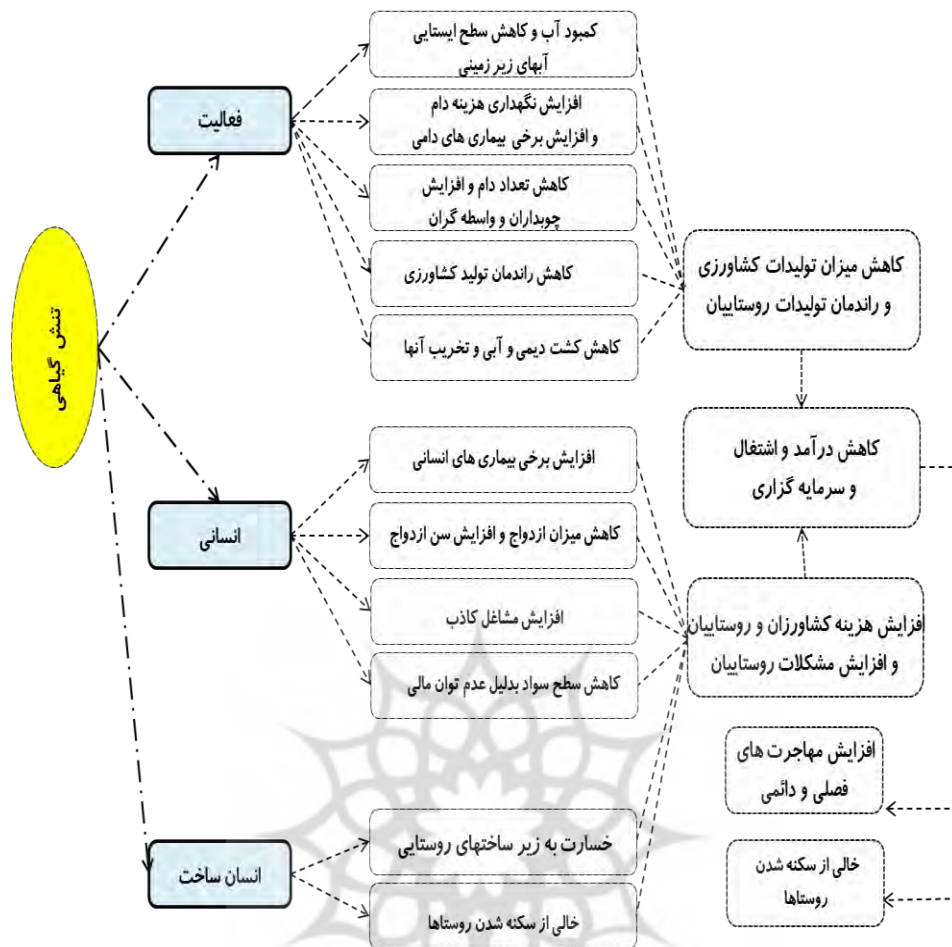
شکل ۸. مجموع درصد خشکسالی شاخص‌های سلامت پوشش گیاهی، وضعیت پوشش گیاهی و شاخص وضعیت درجه حرارت در کل پهنه مورد مطالعه

در شکل ۸ درصد هر یک از سطوح خشکسالی با استفاده از شاخص‌های سلامت پوشش گیاهی، وضعیت پوشش گیاهی و شاخص وضعیت درجه حرارت برای دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ آورده شده است. نتایج مربوط شاخص سلامت پوشش گیاهی به ترتیب در ماه می نشان داد ۵۶/۰۴ درصد در رده خشکسالی متوسط، ۳۷/۷۱ درصد در رده نرمال، ۴/۷۲ درصد در رده ترسالی متوسط، ۱/۵۳ درصد در رده ترسالی شدید قرار گرفته‌اند. در ماه آوریل نشان داد ۲۷/۳۸ درصد در رده خشکسالی شدید، ۳۳/۴۹ درصد در رده خشکسالی متوسط، ۲۰/۱۶ درصد در رده نرمال، ۲/۴۹ درصد در رده ترسالی متوسط و ۰/۶۴ درصد در رده ترسالی شدید قرار گرفته‌اند. در ماه ژوئن نشان داد ۶۰/۸۱ درصد در رده خشکسالی متوسط، ۳۵/۲۱ درصد در رده نرمال، ۲/۹۹ درصد در رده ترسالی متوسط و ۰/۹۹ درصد در رده ترسالی شدید قرار گرفته‌اند.

نتایج مربوط شاخص وضعیت درجه حرارت به ترتیب در ماه می نشان داد ۱۶/۲۰ درصد در رده ترسالی متوسط، ۲۳/۶۲ درصد در رده ترسالی شدید و ۶۰/۱۸ درصد در رده ترسالی حاد قرار گرفته‌اند. در ماه آوریل نشان داد ۱۱/۳۸ درصد در رده خشکسالی شدید، ۳۹/۵ درصد در رده خشکسالی متوسط، ۲۱/۴۷ درصد در رده نرمال، ۲۵/۱۳ درصد در رده ترسالی متوسط و ۲/۵۲ درصد در رده ترسالی حاد قرار گرفته‌اند. در ماه ژوئن نشان داد ۱۶/۶۶ درصد در رده خشکسالی شدید، ۲۳/۷۳ درصد در رده خشکسالی متوسط، ۳۸/۷۴ درصد در رده نرمال، ۱۳/۲۲ درصد در رده ترسالی متوسط، ۵/۹۸ درصد در رده ترسالی شدید و ۱/۶۷ درصد در رده ترسالی حاد قرار گرفته‌اند.

نتایج مربوط شاخص وضعیت پوشش گیاهی به ترتیب در ماه می نشان داد ۴۲/۵ درصد در رده نرمال، ۲۹/۱۵ درصد در رده ترسالی متوسط و ۲۳/۹۵ درصد در رده ترسالی شدید و ۴/۴۰ درصد در رده ترسالی حاد قرار گرفته‌اند. در ماه آوریل نشان داد ۱۵/۸۴ درصد در رده خشکسالی شدید، ۴۱/۹۹ درصد در رده خشکسالی متوسط، ۳۲/۰۹ درصد در رده نرمال، ۶/۹۰ درصد در رده ترسالی متوسط و ۳/۱۸ درصد در رده ترسالی شدید قرار گرفته‌اند. در ماه ژوئن نشان داد ۱۷/۲۴ درصد در رده خشکسالی شدید، ۴۰/۸۸ درصد در رده خشکسالی متوسط، ۲۹/۰۹ درصد در رده نرمال، ۸/۲۸ درصد در رده ترسالی متوسط، ۴/۵۱ درصد در رده ترسالی شدید قرار گرفته‌اند.

همانگونه که مشاهده می‌شود، نتایج شاخص‌ها متفاوت است، بنابراین باید از یک معیار برای ارزیابی کارایی این شاخص‌ها استفاده می‌شد. با توجه به نتایج همبستگی‌ها شاخص وضعیت درجه حرارت با شاخص بارش استاندارد شده از همبستگی قوی نسبت به سایر شاخص‌ها 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 اقلیمی با شاخص‌های محتوای آب گیاه و شاخص‌های حرارتی بیشتر می‌شود. همبستگی مثبت بین شاخص‌های پوشش گیاهی و محتوای آب گیاه با شاخص‌های خشکسالی اقلیمی بیانگر همسو بودن روند تغییرات است. بنابراین شاخص وضعیت درجه حرارت خشکسالی را دقیق تر نشان داده و روش مناسب‌تری برای برآورد خشکسالی می‌باشد.



شکل (۹). مدل مفهومی نهایی حاصل از تاثیر تنش گیاهی بر جوامع محلی پهنه مورد مطالعه

طی گفتگو با جوامع محلی و مطالعات اسنادی، میدانی نویسندگان به علت اجرای سیاست‌های جزء ۱ بند الف ماده ۲۷ قانون برنامه ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی در این مناطق و پهنه‌های دیگر به این نتیجه رسیده‌اند که در سالهای اخیر به دلیل بروز خشکسالی بسیاری از مناطق جمعیتی دچار بحران کم آبی شده و مسلماً اثرات ناگواری را ایجاد نموده است نتایج کلی به دست آمده حاکی از آن است که خشکسالی در همه ابعاد سه‌گانه (اقتصادی، اجتماعی و محیطی) تأثیرات منفی عمیقی بر جوامع محلی بجا گذاشته است و مشکل اساسی زمانی رخ داده است که با توجه به این خشکسالی، نهادها و مسئولین امر به بحث اثرات این خشکسالی بر ابعاد زندگی روستائیان اقدام نکرده‌اند. شکل (۹) نشان می‌دهد که تأثیرات بهره‌برداری از گیاهان زراعی و غیر زراعی با ایجاد فرصت‌های شغلی در بعد اقتصادی زندگی جوامع محلی مؤثر است، به طوری که علاوه بر تأثیر اقتصادی که می‌تواند بخشی از هزینه‌های جوامع محلی را جوابگو باشد، همچنین می‌تواند در بعد اجتماعی نیز مؤثر واقع گردد. الگوی فوق نشان می‌دهد خسارات ناشی از تنش گیاهی در منطقه می‌تواند منجر به کاهش درآمد و پس‌انداز، تغییر در ساختار شغلی مردم روستایی، افزایش تمایل به مهاجرت از روستا، کاهش مشارکت و روابط اجتماعی کاهش دام‌ها و تولیدات کشاورزی، کم شدن تنوع گیاهی و مشکلات زیست‌محیطی، خالی شدن روستا از جمعیت و تبعات امنیتی شود. بنابراین بر اساس این الگو می‌توان گفت که مدیریت و بررسی تنش گیاهی در بعد فضایی و رویکرد استراتژیک در ابتدا ضمن ایجاد زیرساخت‌های فنی، نهادی و خدمات در مناطق جمعیتی پهنه مورد مطالعه زمینه‌ساز جلوگیری از تنش‌های گیاهی شده که با ایجاد دانش‌های نوین در کشاورزی و آموزش و ترویج‌های لازم به کشاورزان و روستائیان منطقه و تبیین الگوهای موفق می‌تواند صورت بپذیرد.





جدول ۸. اهداف، چشم اندازها، سیاست‌های توسعه اقتصاد کشاورزی روستاییان در شرایط خشکسالی

اهداف	سیاست‌ها	اقدامات	چشم اندازها و برنامه‌ها	
مدیریت و حفاظت جامع منابع آب	اصلاح روش‌های بهره برداری از آب	اصلاح روش‌های انتقال آب (ستی و مدرن)	ایجاد آبیاری قطره‌ای و بارانی گسترش کشت گلخانه‌ای به جای مزرعه‌ای مطالعه و شناسایی تجارب موفق محلی و منطقه‌ای در انتقال آب و آبیاری و امکان‌سنجی اجرای آن‌ها در سطح بخش مکانیابی و ایجاد تأسیسات تغذیه مصنوعی آب ایجاد مشاغل با نیاز آبی کم	
	اصلاح الگوی مصرف آب	اصلاح روشهای آبیاری (گسترش آبیاری تحت فشار قطره‌ای و بارانی)		
		اصلاح الگوی کشت جهت مقابله با کم آبی و خشکسالی‌های اخیر در مناطق مورد ارزیابی		
	تجدید حیات آب مصرفی	اصلاح الگوی مصرف خانگی آب در نواحی روستایی		انتقال دانش فنی انتقال آب و آبیاری
		تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی		بازگرداندن آب‌های خروجی به چرخه مصرف
		ایجاد طرح‌های ذخیره آب‌های سطحی		انجام طرح آبخیزداری در مناطق روستایی
		تامین سرمایه مورد نیاز روستاییان به صورت رسمی		حذف شبکه واسطه‌گری و دلالی محصولات کشاورزی
		تقویت بودجه‌های عمرانی راهسازی جهت ایجاد مسیرهای جدید ارتباطی با خارج از بخش		

### نتیجه‌گیری

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. نتایج این مطالعه تأییدکننده وجود خشکسالی و ترسالی به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ می‌باشد. این نتایج با توجه به شاخص بارش استاندارد شده منطقه مورد مطالعه که نشان‌دهنده خشکسالی و ترسالی در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ می‌باشد تأیید شده است. نتایج حاصله از خروجی نقشه پهنه‌بندی در استان قم به این صورت است که هر قدر که از غرب به شرق و از جنوب به شمالی استان نگاه کنیم از مقدار بارش و سبزیگی پوشش گیاهی کاسته می‌شود. نتایج حاصل از شاخص بارش استاندارد شده نشان می‌دهد در ماه ژوئن و می و آوریل به ترتیب نیمه شرقی (استانهای قم، اصفهان و مرکزی)، جنوبی (استان چهارمحال بختیاری) در پهنه‌ی با تراکم کم پوشش گیاهی و در معرض خطر خشکسالی نسبتاً زیاد تا زیاد قرار گرفته‌اند. همچنین نتایج مربوط به شاخص VCI (شاخص وضعیت پوشش گیاهی) در ما ژوئن به ترتیب نیمه شرقی استان‌های اصفهان، قم، مرکزی و چهارمحال بختیاری مقادیر عددی (شدت خشکسالی بر حسب جدول ۲) بین ۱۴ تا ۲۵ را به خود اختصاص دادند. همچنین نتایج شاخص TCI (شاخص وضعیت درجه حرارت) در ماه ژوئن ارزش عددی بین ۸ تا ۲۶ را به خود اختصاص داده‌اند. به طور کلی درصد سبزیگی و ترسالی در کل استانهای مورد مطالعه در ماه ژوئن بین بازه عددی ۴۰ تا ۸۰ (ترسالی متوسط تا حاد) بوده است. در همین ارتباط نتایج مربوط به شاخص VCI در ما می به ترتیب نیمه شرقی استان‌های اصفهان، قم، مرکزی و چهارمحال بختیاری مقادیر عددی بین ۱۴/۵ تا ۲۷ را به خود اختصاص دادند. در ادامه نتایج شاخص VHI در همین ماه به ترتیب نیمه شرقی استان‌های اصفهان، قم، مرکزی و چهارمحال بختیاری مقادیر عددی بین ۲۸ تا ۴۱ (خشکسالی متوسط تا ترسالی متوسط) را به خود اختصاص دادند. سپس شاخص TCI در ماه می برای کل پهنه مورد مطالعه ضریب عددی بین ۳۸ تا ۵۵ را به خود اختصاص داده است. به طور کلی درصد سبزیگی و ترسالی در کل استانهای مورد مطالعه در ماه می بین بازه عددی ۴۰ تا ۱۱۴ بوده است. بر اساس همین مطالعه نتایج مربوط به شاخص VCI در ما

آوریل به ترتیب نیمه شرقی استان‌های اصفهان، قم، مرکزی و چهارمحال بختیاری مقادیر عددی بین ۱۳ تا ۲۶ را به خود اختصاص داد. در ادامه نتایج شاخص VHI در همین ماه به ترتیب نیمه شرقی استان‌های اصفهان، قم، مرکزی و چهارمحال بختیاری مقادیر عددی بین ۱۴ تا ۲۵ را به خود اختصاص دادند. سپس شاخص TCI در ماه آوریل برای کل پهنه مورد مطالعه ضریب عددی بین ۷ تا ۲۴ را به خود اختصاص داده است. به طور کلی درصد سبزی‌نگی و ترسالی در کل استان‌های مورد مطالعه در ماه آوریل بین بازه عددی ۳۷ تا ۷۸ بوده است. با توجه به وجود همبستگی بالا بین شاخص بارش استاندارد شده و داده‌های ماهواره‌ای، می‌توان نتیجه گرفت که تصاویر ماهواره‌ای از قدرت بالایی برای پایش و مدیریت خشکسالی برخوردار می‌باشند. نتایج تحقیق، مشابه با نتایج خورمیزی و مالمیری (۱۳۹۶)، رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۴)، کاظم پور چورسی (۱۳۹۸) بود که نشان دادند شاخص‌های سنجش‌ازدوری دارای دقت مناسبی در پایش خشکسالی می‌باشد. به‌طورکلی بر پایه نتایج حاصل از پژوهش حاضر چنین استنباط گردید که نیمه شرقی استان‌های مورد مطالعه خشکسالی شدیدتری را نسبت به نیمه شرقی تجربه کرده است و این می‌تواند تهدید نسبتاً جدی همچون انتشار ذرات گردوغبار، بحران‌های زیست‌محیطی، کاهش سطح زیر کشت محصولات زراعی و باغی و غیره برای این مناطق باشد.

### پیشنهادات:

- گسترش و بکارگیری روش‌های سنجش از دوری و مقایسه آنها با روش‌های پایه هواشناسی جهت بهبود عملکرد مطالعه خشکسالی در مناطقی که از ایستگاه‌های سینوپتیکی بهره‌مند نیستند.
- بررسی روند تغییرات اقلیمی جهت پیشبینی طول دوره‌های خشکسالی
- بکارگیری سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS در پهنه بندی خشکسالی به منظور کاهش هزینه‌های ثانویه.
- آموزش و ترویج جوامع محلی در ارتباط با اثرات زیانبار خشکسالی و کمک به بهبود عملکرد محصولات کشاورزی با برنامه‌ریزی دقیق و متنوع در پهنه مورد مطالعه.

## منابع

- امیدوار، کمال (۱۳۹۲)، *مخاطرات طبیعی*، انتشارات دانشگاه یزد، یزد.
- حجازی‌زاده، زهرا، جوی‌زاده، سعید (۱۳۸۹)، *مقدمه‌ای بر خشکسالی و شاخص‌های آن*، سمت، تهران.
- رضایی مقدم، محمد حسین، ولی‌زاده کامران، خلیل، رستم‌زاده، هاشم، رضایی، علی (۱۳۹۰)، ارزیابی کارایی داده‌های سنجنده‌ی MODIS در برآورد خشکسالی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز دریاچه ارومیه). *جغرافیا و پایداری محیط*، ۲(۴): ۳۷-۵۲.
- رضایی بنفشه، مجید، رضایی، علی، فریدپور، مجتبی (۱۳۹۴). تحلیل خشکسالی کشاورزی استان آذربایجان شرقی با تاکید بر سنجش از دور و شاخص وضعیت پوشش گیاهی، *دانش آب و خاک*، ۱(۱): ۱۱۳-۱۲۳.
- زارع خورمیزی، هادی، غفاریان‌المیری، حمیدرضا (۱۳۹۶). پایش خشکسالی و تأثیر آن بر پوشش گیاهی با استفاده از فناوری‌های سنجش از دور بررسی موردی: استان یزد، سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۴، *مدیریت بیابان*، ۵(۱۰): ۶۸-۸۶.
- خورانی، اسداله، جمالی، زهرا (۱۳۹۵). اثر تغییر اقلیم بر شدت و مدت خشکسالی در ایستگاه‌های خشک و نیمه‌خشک (بندرعباس و شهرکرد) تحت مدل HADCM3. *نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی*، ۲۰(۵۷): ۱۱۵-۱۳۱.
- جوادی، زهرا، فلاح‌قاله‌ری، غلامعباس، انتظاری، علیرضا (۱۳۹۳). نقش پارامترهای آب‌هوایی بر عملکرد محصول بادام مطالعه موردی: سبزوار، *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۱۳۹۳(۱۷): ۱۲۵-۱۴۱.
- دلفیان فرح، یزدان پناه مسعود، فروزانی معصومه، یعقوبی جعفر (۱۳۹۶)، بررسی رفتارهای مدیریتی کشاورزان در هنگام خشکسالی به عنوان پاسخ‌های پیشگیرانه: مورد مطالعه شهرستان دهلران، *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۴(۴): ۷۹-۹۲.
- فتح‌نیا، امان‌اله، رجایی، سعید، برزو، فرزانه (۱۳۹۶). پیش‌بینی احتمال تکرار دوره‌های خشکسالی و اثر آن بر پوشش گیاهی در استان گلستان. *نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی*، ۲۱(۶۰): ۱۷۹-۱۹۶.
- فرزندی، محبوبه، رضائی‌پژند، حجت، ثنایی‌نژاد، سید حسین (۱۳۹۳). ترمیم و گسترش ۱۲۷ سال آمار دمای ماهانه مشهد، *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۱۳۹۳(۱۷): ۱۱۱-۱۲۳.
- نوری، هدایت‌الله، نوروزی، اصغر (۱۳۹۵)، *مبانی برنامه‌ریزی محیطی برای توسعه پایدار روستایی*، دانشگاه اصفهان.
- کاظم‌پور چورسی، سیما، عرفانیان، مهدی، عبادی‌نهری، زهرا (۱۳۹۸)، ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای MODIS و TRMM در پایش خشکسالی حوضه آبریز دریاچه ارومیه، *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۳۰(۲): ۱۷-۳۴.
- موغلی، مرضیه (۱۳۹۹). پایش تغییرات پوشش گیاهی در اثر خشکسالی در حوضه آبریز درودزن با استفاده از تصاویر MODIS. *جغرافیای طبیعی*، ۱۳(۴۹): ۸۵-۱۰۷.

Bayarjargal, Y., Karnieli, A., Bayasgalan, M., Khudulmur, S., Gandush, C., & 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.

Brown, I., Poggio, L., Gimona, A. et al (2011). **Climate change, drought risk and land capability for agriculture: implications for land use in Scotland.** *Reg Environ Change* 11, 503–518.

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.

- 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.
- Ceccato, P., Flasse, S., Tarantola, S., Jacquemoud, S., & Gregoire, J. M (2001). **Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain** □ *Remote Sensing of Environment*, 77: Pp. 22–33.
- Du, L., Tian, Q., Yu, T., Meng, Q., Jancso, T., Udvardy, P., Huang, Y., (2012). **A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data**, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoformation*, Vol 23, Pp 245-253.
- FAO (2013). **Drought Facts-Food and Agriculture**, [www.fao.org](http://www.fao.org).
- Gu, L., Hanson, P. J., Post, W. M., Kaiser, D. P., Yang, B., Nemani, R., ... & Meyers, T(2008). **The 2007 eastern US spring freeze: increased cold damage in a warming world?**. *BioScience*, 58(3): 253-262.
- Huete, A., (2004). **Remote Sensing for Natural Resources Management and Environmental Monitoring**, *Manual of remote sensing 3 ed., Vol 4*, University of Arizona.
- Liu, Q., Zhang, S., Zhang, H., Bai, Y., & Zhang, J. (2019). **Monitoring drought using composite drought indices based on remote sensing**. *Science of The Total Environment*, 134585.
- McKee, T. B.; Doesken, N. J.; and Kleist, J (1993). **The relationship of drought frequency and duration11 to time scales**. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim.
- Rahimzadeh, F., Asgari, A., & 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.
- R. Orimoloye, Johannes A, Belle, Olusola O. Ololade (2021). **Drought disaster monitoring using MODIS derived index for drought years: A space-based information for ecosystems and environmental conservation**, *Journal of Environmental Management* Volume 284, 15 April 2021, 112028.
- Sheffield, J., Goteti, G., Wen, F.H., Wood, E.F., 2004. A simulated soil moisture based drought analysis for the United States. *J. Geophys. Res.* 109, D24108.
- Stow, D.A. & 23 others (2004), **“Remote sensing of vegetation and land-cover change in arctic tundra ecosystems”**, *Remote Sensing of Environment*, 89: 281-308.
- Tsakiris, G., & Vangelis, H (2004). **Towards a drought watch system based on spatial SPI**. *Water resources management*, 18(1): 1-12.
- Tian, W., Liu, X., Liu, C., & Bai, P. (2018). **Investigation and simulations of changes in the relationship of precipitation-runoff in drought years**. *Journal of Hydrology*, 565, 95–105.

- Tirivarombo, S., Osupile, D., & Eliasson, P. (2018). **Drought monitoring and analysis: Standardised Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) and Standardised Precipitation Index (SPI)**. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. V 106, P 1-10.
- Wilhite, D.A., Sivakumar, M.V.K., Pulwarty, R., (2014). **Managing drought risk in a changing climate: the role of national drought policy**. Weather Clim. Extremes 3, 4–13.
- Zhao, H., Xu, Z., Zhao, J., & Huang, W. (2017). **A drought rarity and evapotranspiration-based index as a suitable agricultural drought indicator**. Ecological Indicators, 82, 530–538.
- Zhou, J., Li, Q., Wang, L., Lei, L., Huang, M., Xiang, J., ... & Zhu, G. (2019). **Impact of climate change and land-use on the propagation from meteorological drought to hydrological drought in the eastern Qilian Mountains**. Water, 11(8), 1602.
- Zhang, A., Jia, G., (2013). **Monitoring meteorological drought in semiarid regions using multi-sensor microwave remote sensing data**, Remote Sensing of Environment, Vol 134, Pp 12-23.
- Zhang, P., Zhang, J., Chen, M., (2017). **Economic impacts of climate change on agriculture: The importance of additional climatic variables other than temperature and precipitation**, Journal of Environmental Economics and Management, Vol 83, Pp 8- 31.