نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال چهارم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶
صفحات ۷۰ - ۵۳

پایش زمانی و مکانی خشکسالی کشاورزی با استفاده از داده‌های سنجش از دور مورد مطالعه: استان مرکزی ایران

سعید حمزه[1]، استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران. ایران
زهرا فراهانی، دانش آموخته مهندسی منابع آب دانشگاه ملایر، ملایر ایران.
شهریار مهدوی، استادیار گروه خاک شناسی، دانشگاه ملایر، ملایر ایران.
امید چترآبگون، استادیار گروه آمار، دانشگاه ملایر، ملایر ایران.
مهدی غلام نیا، دانشجوی دکتری سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۲۶ پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۰۵/۱۵

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 و مدیریت آن امری مهم می‌باشد. در مقابل روش‌های سنتی که مبتنی بر مشاهدات ایستگاه‌های هواشناسی هستند و بیشتر به بررسی خشکسالی هواشناسی می‌پردازند، استفاده از تکنیک سنجش از دور و تصاویر ماهواره ای به عنوان یک ابزار مفید جهت پایش مکانی و زمانی خشکسالی کشاورزی 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 از این مطالعه بررسی الگوهای مکانی و زمانی خشکسالی با استفاده از داده‌های ماهواره ای سنجنده مادیس بین سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۰۰ می‌باشد. بدین منظور شاخص‌های خشکسالی بر مبنای داده‌های ماهواره‌ای شامل: شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI)، شاخص وضعیت دما (TCI)، شاخص خشکی (TDVI) و شاخص رطوبت خاک (SWI) از روی تصاویر مادیس برای دوره زمانی مورد نظر و در مقیاس‌های زمانی فصلی، شش ماهه و سالانه استخراج گردید و نتایج حاصل از این شاخص ها با مقادیر شاخص بارش استاندارد (SPI) مقایسه گردید. نتایج نشان می دهد که محدوده مطالعاتی به طور کلی از پوشش گیاهی متوسط تا کم برخوردار است. برمبنای محاسبه‌های انجام شده شرایط اقلیمی محدوده با نتایج حاصل از شاخص گیاهی VCI در مقیاس فصلی، تطابق بیشتری دارد. در نتیجه شاخص VCI به عنوان بهترین شاخص جهت پایش خشکسالی کشاورزی استان مرکزی انتخاب گردید. همچنین نتایج به دست آمده از به کار گیری شاخص گیاهی VCI، نشان دهنده وضعیت خشکسالی در سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ و وضعیت ترسالی در سال های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ نسبت به دوره مطالعاتی در منطقه می باشد.

واژگان کلیدی: خشکسالی، شاخص بارش استاندارد، شاخص وضعیت پوشش گیاهی، سنجش از دور

[1]- نویسنده مسئول : Email: saeid.hamzeh@ut.ac.ir

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-25]

مقدمه

خشکسالی جزئی از ویژگی های سیستم آب و هواست که بدون هیچ اخطار و بدون توجه به مرزهای جغرافیایی و یا تفاوت های اقتصادی و سیاسی هرسال رخ می دهد (Kogan, ۲۰۰۱). خشکسالی در اغلب مناطق جهان از جمله در مناطق خشک و نیمه خشک عاملی تهدید کننده و محدودیت زا در تولیدات کشاورزی، آب قابل دسترس، بیابان زدایی و از بین رفتن مراتع و پوشش گیاهی طبیعی می باشد (Jupp et al,۱۹۹۸). ایران کشور پهناوری است که به علت موقعیت خاص و ویژگی های توپوگرافیکی، از آب و هوای متفاوتی برخوردار است. میزان بارندگی متوسط سالانه آن حدود ۲۵۱ میلی متر می باشد. این میزان کمتر از ۰٫۲۵ متوسط بارندگی در سطح کره زمین و در حدود ۰٫۳۳ متوسط بارندگی سالانه در سطح خشکی های زمین می باشد (Krzanowski,۱۹۸۷). به همین دلیل قسمت اعظم ایران در قلمرو آب و هوای خشک جهان قرار می گیرد. علاوه برمیزان کم بارش، نوسانات شدید بارندگی در مقیاس های روزانه، فصلی و سالانه از جمله خصوصیاتی است که موجب عدم اطمینان کافی نسبت به دریافت حداقل بارش مورد نیاز جهت مصارف کشاورزی، تغذیه جریان های سطحی و سفره آب های زیرزمینی و مصارف انسانی می شود. در نتیجه، وقوع خشکسالی در کشور امری اجتناب ناپذیر محسوب می شود. از طرفی کشور ایران با توجه به قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه خشک و کمبود منابع آبی بیشتر با این پدیده اقلیمی و تبعات آن روبرو است. لذا لزوم تحقیق و مطالعه بیشتر در این زمینه در مناطق مختلف کشور ایران به منظور شناسایی تغییرات زمانی و مکانی این پدیده اقلیمی و ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب جهت مقابله و مدیریت آن بسیار ضروری می باشد. اما متاسفانه با توجه به اهمیت موضوع کمتر به این مهم پرداخته شده است و اکثر مطالعات صورت گرفته در این زمینه یا بر اساس داده های محدود زمینی و یا مختص مناطقی خاص و زمانی محدود بوده است. در نتیجه لزوم گسترش روش های نوین و استفاده از تکنیک جدید سنجش از دور و تصاویر ماهواره ای جهت ارزیابی زمانی و مکانی خشکسالی، وجود دارد. نواقص موجود در داده های عناصر جوی و پراکندگی نامناسب ایستگاه‌های هواشناسی، دلایلی می باشند که لزوم توجه به روش های نوین با قابلیت داده پردازی و مدل‌سازی بالا و بازخوانی داده‌های نقاط مختلف را نشان می دهند. بطوریکه در سال های اخیر در مدیریت و ساماندهی مناسب اثرات خشکسالی علاوه بر شاخص ها و روش های آماری، داده های سنجنده های ماهواره ای یک نقش مهم روزافزونی در پایش خشکسالی مرتبط با شرایط محیطی ایفا می کنند (Jae-Dong Jang,۲۰۰۴).

ری و همکاران (Rheeet al, ۲۰۱۰) به بررسی عملکرد شاخص های NDVI، VCI، VHI، NDWI[۲]، NMDI[۳]، NDDI[۴] و SDCI[۵] در پایش خشکسالی چهار ایالت از ایالات متحده آمریکا با استفاده از تصاویر سنجنده ی MODIS و TRMM[۶] پرداختند. نتایج بیان می کند که شاخص SDCI نسبت به سایر شاخص های ارائه شده در تعیین شرایط خشکسالی مؤثرتر است. هم چنین، تغییرات سال به سال و توزیع مکانی SDCI در هر دو منطقه خشک و مرطوب به طور کلی با تغییرات ثبت شده توسط سازمان کنترل خشکسالی ایالات متحده (USDM) موافقت کردند. روسوینتیارتی[۷] و همکاران (۲۰۱۰) به برآورد خشکسالی در جزیره ی جاوای اندونزی پرداختند. آنها برای این کار از تصاویر MODIS برای شاخص EVI[۸] و دمای

---

۲. Normalized Difference Water Index
۳ .Normalized Multiband Drought Index
٤ .Normalized Dust Difference Index
٥ .Scaled Drought Condition Index
٦ .Tropical Rainfall Measuring Mission
۷ .Roswintiarti
۸ .Enhanced Vegetation Index

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-25]

سطح زمین(LST[۹]) استفاده کردند. شاخص VHI با استفاده از VCI و TCI به دست آمده است و در آخر با استفاده از نقشه ی VHI سلامت پوشش گیاهی در جزیره ی جاوا به دست آمده است. کاکامو و همکاران (Caccamo et al, ۲۰۱۱) قابلیت داده های سنجنده ی MODIS را در برآورد خشکسالی با شاخص های EVI، VARI، NDVI، SR[۱۰]، NDIIb۶[۱۱]، NDIIb۷[۱۲] و D۱۶۴.[۱۳] و NDWI در مقایسه با شاخص SPI در حوضه ای در سیدنی بین سال های ۲۰۰۹-۲۰۰۰ مورد بررسی قرار داد. نتایج نشانگر وجود همبستگی بالا بین شاخص NDIIb۶ و SPI در تمام مقیاس های زمانی است. هم چنین، نتایج این مطالعه نشان داد که کل حوضه در سال ۲۰۰۲ تحت تاثیر خشکسالی قرار گرفته است، خشکسالی با شدت کمتری در سال ۲۰۰۶ اتفاق افتاده است. اورنگی و همکاران (Owrangi et al, ۲۰۱۱) به برآورد خشکسالی در استان فارس ایران با استفاده از تصاویر سنجنده AVHRR و مقایسه با تصاویر ماهواره ای SPOT پرداختند. در این پژوهش از شاخص های VCI، TCI و VHI در مقایسه با شاخص ها SPI، SWI و DSI[۱۴] استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که این روش ها برای آگاهی از خشکسالی اولیه امیدوار کننده هستند و می توانند برای مدیریت ریسک خشکسالی در آب و هوای نیمه خشک، از جمله استان فارس در ایران استفاده شوند. شهاب فر و همکاران (۲۰۱۲) مطالعه خود را به منظور بررسی رابطه بارش (با استفاده از شاخص های زمینی Z، CZI و MCZI) و شاخص های سنجش از دوری VCI، EVI، PDI و MPDI در فاصله زمانی ۲۰۰۵-۲۰۰۰ انجام داند. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی نشان داد که تمام این شاخص های سنجش از راه دور به طور کلی، رابطه آماری معنی دار با داده های بارش دارد. با این حال، درجه ارتباط میان مناطق مختلف آب و هوایی متفاوت است. EVI و VCI ضعیف ترین رابطه را به ویژه در مناطق خشک نشان دادند. در مقابل، ارتباط معنی داری بین PDI و MPDI و خشکسالی سطح منطقه وجود دارد. PDI برای برنامه های کاربردی خاک لخت و یا مراحل اولیه رشد پوشش گیاهی مناسب تر است، در حالی که MPDI هم برای سطوح با پوشش گیاهی ، هم خاک لخت موثر است. زانگ و همکاران (Zhang et al, ۲۰۱۳) در منطقه شمال چین، خشکسالی را با به کار گیری شاخص های PCI[۱۵]، SMCI[۱۶]، TCI، VCI، PSMCI، PTCI، SMTCI و MIDI[۱۷] حاصل از داده های ماهواره های MODIS، TRMM و AQUA در مقایسه با شاخص آماری SPI مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که شاخص MIDI عملکرد بهتری نسبت به شاخص های خشکسالی سنجش از راه دور دیگر در نظارت بر خشکسالی دارد. در عین حال این شاخص بالاترین همبستگی را با SPI یک ماهه نشان داد، و پس از آن با افزایش مقیاس زمانی، همبستگی کاهش می یابد. نتایج نشان می دهد که MIDI شاخص بسیار قابل اعتماد در نظارت بر خشکسالی هواشناسی کوتاه مدت در سراسر شمال چین و یا مناطق مشابه در سطح جهانی است.

شاخص های گیاهی روش های پر کاربردی برای پایش خشکسالی از طریق داده های ماهواره ای هستند. ولی مطالعات صورت گرفته با توجه به محل اجرا و شرایط محیطی، و شاخص مورد استفاده نتایج متفاوتی را نشان می دهند و در نتیجه امکان مقایسه کلی بین شاخص ها از نظر صحت داده ها با شرایط گیاه و در نتیجه بررسی خشکسالی وجود ندارد. علاوه بر این، اغلب این مطالعات در مناطق با بارش حدود نرمال صورت گرفته است. با توجه به شرایط اقلیمی ایران، نمی

۹ .Land Surface Temperature
۱۰ . Simple Ratio
۱۱ .Normalized Difference Infrared Index – band ٦
۱۲ . Normalized Difference Infrared Index – band ۷
۱۳ .Depth of MODIS band ٦
۱٤ .Drought Severity Index
۱٥ .Pavement Condition Index
۱٦ .Soil Moisture Condition Index
۱۷ . Microwave Integrated Drought Index

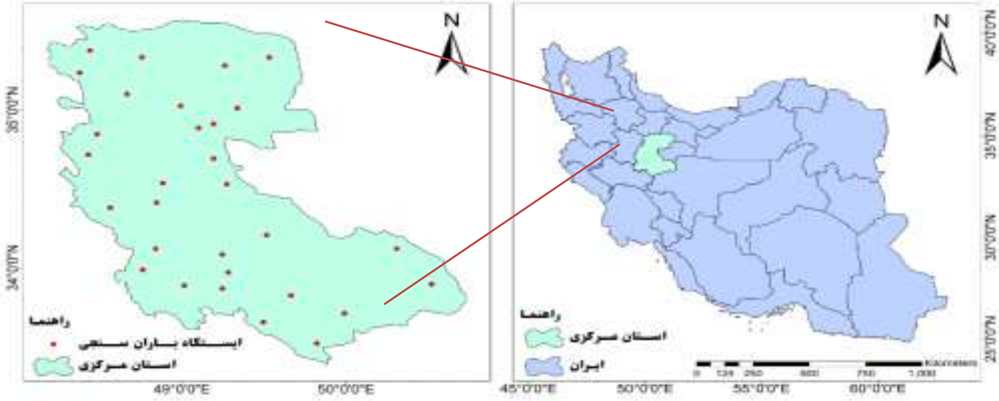
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-25]

توان برای مطالعه خشکسالی از هر شاخص گیاهی در هر منطقه ای استفاده نموده و نتایج مشابهی را انتظار داشت. از این رو باید رابطه هر یک از شاخص های ماهواره ای با خشکسالی در منطقه مطالعاتی مدنظر مورد بررسی قرار گیرد.

بنابراین تحقیق حاضر به منظور پایش زمانی و مکانی خشکسالی در استان مرکزی ایران با استفاده از داده های ماهواره ای، در مقایسه با روش آماری مبتنی بر داده های بارندگی ایستگاه های هواشناسی انجام گردید. این استان به دلیل موقعیت سیاسی، اقتصادی و اجتماعی از جایگاه ویژه ای در بحث های مرتبط با خشکسالی برخوردار است و در طرح های مقابله با خشکسالی و سیستم های پایش خشکسالی قطعاً باید در الویت قرار گیرد.

داده‌ها و روش کار

منطقه مورد مطالعه کل استان مرکزی با مساحت تقریبی ۲۹۴۴۵ کیلومترمربع (۱/۸ درصد مساحت کل کشور) می باشد که بخشی از فلات مرکزی ایران است. این استان در نیمه مرکزی ـ غربی کشور واقع گردیده است که از سمت شمال به استان‌های تهران و قزوین، از غرب به استان همدان، از جنوب به استان‌های لرستان و اصفهان و از شرق به استان‌های تهران، قم و اصفهان محدود شده است. استان مرکزی در بین طول‌های جغرافیائی ۵۲-۴۸ تا ۰۳-۵۱ درجه شرقی و عرض-های جغرافیایی ۳۲-۳۳ تا ۴۰-۳۵ درجه شمالی از نصف النهار گرینویچ در محل تلاقی رشته کوه‌های زاگرس و البرز واقع شده است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی واقع در این محدوده را نشان می دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی استان مرکزی

حدود ۲۵ درصد مساحت استان را دشت ها و ۷۵ درصد آن را کوهستان ها و کوه پایه ها تشکیل می دهند. استان مرکزی علاوه بر اینکه از یک طرف در کویر مرکزی و از طرف دیگر در محل تلاقی چین خوردگی رشته کوه‌های البرز و زاگرس قرار گرفته، نوسانات ارتفاعی زیادی نیز دارد. ناهمواری های استان را قسمت هایی از کوه‌های مرکزی و پیش کوه‌های داخلی زاگرس تشکیل می دهد. پست ترین نقطه در استان در دشت مرکزی ساوه با حدود ۹۹۵ متر ارتفاع و بلندترین نقطه آن قله شهباز با حدود سه هزار و ۳۸۸ متر ارتفاع در رشته کوه های راسوند می باشد. این عوامل باعث تنوع اقلیمی در استان شده است. این استان از آب و هوای نیمه بیابانی، معتدل کوهستانی و سرد کوهستانی برخوردار است. میانگین سالانه دما نیز از ۱۸ درجه سانتیگراد تا چهار درجه سانتیگراد در ارتفاعات تفاوت نشان می دهد.

- **داده های زمینی**

برای اجرای این تحقیق، از آمار بارندگی سی ایستگاه هواشناسی واقع در استان به صورت ماهانه استفاده گردید. ایستگاه ها بر مبنای طول دوره آماری، پوشش مناسب مکانی (شکل ۱) در منطقه مورد مطالعه و قابل اعتماد بودن داده های آماری

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-25]

آنها انتخاب شده اند. دوره زمانی مورد مطالعه در این تحقیق از سال ۲۰۰۰ میلادی تا سال ۲۰۱۳ میلادی می باشد. از آن جایی که داده های مورد استفاده برای مقایسه از نظر مقیاس زمانی باید هم خوانی داشته باشند و با توجه به این که داده های ماهواره TERRA به صورت میلادی و داده های ماهانه سازمان آب منطقه ای به صورت شمسی می باشد، از داده های روزانه سازمان آب منطقه ای برای این تحقیق استفاده گردید. داده‌های نهایی براساس مطابقت دقیق با روز های ماه میلادی، با جمع داده های روزانه و تبدیل آن ها به داده های ماهانه میلادی به دست آمد.

- **داده های ماهواره ای**

داده های دورسنجی مورد استفاده شامل داده‌های سنجنده MODIS از سری تصاویر ماهواره TERRA می باشد. بدین منظور از محصولات شانزده روزه شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده در قالب فایل MOD۱۳A۲,V۰۰۵ و محصولات هشت روزه دمای سطح زمین در قالب فایل MOD۱۱A۲,V۰۰۵ با فرمت hdf[۱۸] و قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر استفاده گردید، که به دلیل تطابق زمانی، محصولات هشت روزه نیز به شانزده روزه تبدیل شد. از این محصولات تعداد ۳۱۴ تصویر MOD۱۳A۲ و ۳۱۴ تصویر MOD۱۱A۲ از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ برای تمامی ماه های سال تهیه گردید. این تصاویر پس از دریافت توسط اطلاعات موجود در شناسه تصویر و ابزار Modtool اضافه شده در نرم افزار ENVI ژئورفرنس گردیده و سیستم مختصات آنها به سیستم مختصات جغرافیای تبدیل گردید و سپس با فرمت tif ذخیره گردید.

- **شاخص ها و مدل های مورد استفاده**

الف) شاخص بارش استاندارد شده (SPI) مستخرج از داده های ایستگاه های هواشناسی

شاخص بارندگی استاندارد شده، توسط مک کی و همکارانش از دانشگاه ایالات کلرادو، در سال ۱۹۹۳ تدوین شد. این شاخص، یکی از شاخص های اساسی در مطالعه تغییرات حول مرکز به شمار می آید که محاسبه آن نیازمند داشتن میانگین و انحراف معیار دراز مدت مقادیر بارندگی برای دوره های مورد مطالعه است (Bonaccorso, ۲۰۰۳) و اساساً برای تعریف و پایش خشکسالی و ترسالی ارائه شده است (Tsakiris et al, ۲۰۰٤). کمبود بارش در مقیاس های زمانی کوتاه مدت، عمدتاً برروی وضعیت رطوبت خاک اثر می گذارد، در صورتی که کمبود بارش طولانی مدت اغلب بر روی آب های زیرزمینی، جریان رودخانه و ذخایر منابع آب موثراست(Tsakiris et al, ۱۹۹۵). با توجه به این موضوع، مک کی و همکارانش، شاخص استاندارد شده بارش را در مقیاس های زمانی سه، شش، ۱۲، ۲۴، ۴۸ ماهه محاسبه کردند. محاسبه SPI برای هر مکان، بر اساس ثبت بارش های طولانی مدت در دوره زمانی مورد نظر پایه گذاری شده است. این شاخص از طریق معادله زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$SPI = (P_i - \bar{P}) / S \qquad (۱)$$

که در آن Pi : مقدار بارش دردوره موردنظر. $\bar{P}$: میانگین دراز مدت بارش برای دوره مورد نظر و S: انحراف معیار مقدار بارش می‌باشد. برای محاسبه این نمایه ، از توزیع گاما برای برازش داده های بارش استفاده می شود که پس از انجام محاسبه های لازم و تعیین پارامترهای مربوط به نمایه SPI انجام می گیرد. پس از محاسبه مقدار SPI در هر بازه زمانی ، وضعیت رطوبتی به کلاس های مختلف که در جدول ۲ ارائه شده اند ، تقسیم می شود:

۱۸ . Hierarchical Data Forma

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-25]

جدول ۱: درجه بندی مقادیر شاخص SPI (Mckee et al,۱۹۹۳)

مقدار شاخص	درجه خشکسالی یا ترسالی
SPI≤ - ۲	خشکسالی حاد
-۲≤ SPI≤ -۱,۵	خشکسالی شدید
-۱,۵ ≤ SPI ≤ - ۱	خشکسالی متوسط
-۱≤ SPI ≤ ۱	نرمال
۱ ≤ SPI ≤ ۱,۵	ترسالی متوسط
۱,۵ ≤ SPI ≤ ۲	ترسالی شدید
۲ ≤ SPI	ترسالی حاد

در این تحقیق، به منظور محاسبه خشکسالی توسط شاخص بارش استاندارد شده، از اطلاعات بارندگی ماهانه میلادی، مربوط به ایستگاه های سینوپتیک و باران سنجی واقع در استان مرکزی استفاده شد و در نهایت شاخص SPI در مقیاس-های زمانی سه، شش و ۱۲ ماهه برای کلیه ایستگاه ها استخراج شد. از آن جایی که تعیین شاخص SPI نیاز به آمار بارندگی طولانی مدت دارد، تمامی داده های موجود برای هر ایستگاه در محاسبات استفاده گردید که در اکثر ایستگاه های منطقه، دوره زمانی ۳۰ ساله می باشد، اما جهت انجام این تحقیق با توجه به محدودیت دوره زمانی داده های ماهواره ای تحقیق برای یک دوره ۱۴ ساله انجام شد.

ب) شاخص های مبتنی بر تصاویر ماهواره ای

✓ **شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)**

این شاخص گیاهی از معروفترین، ساده ترین و کاربردی ترین شاخص های گیاهی شناخته شده است که برای اولین بار توسط رز و همکاران (۱۹۷۳) ارائه گردید. شاخص پوشش گیاهی اختلافی نرمال شده (NDVI) به صورت زیر بیان می شود:

$$NDVI = \frac{P_2 - P_1}{P_2 + P_1} \qquad (۲)$$

که $P_۲$ و $P_۱$ به ترتیب میزان بازتاب در باندهای دو و یک است. این شاخص دارای مقادیر بین ۱+ و ۱- است. محدوده معمول تغییرات گیاه سبز برابر ۰/۲ تا ۰/۸ است (Tucker, ۱۹۹۷). مقدار شاخص NDVI معمولاً برای مناطق گیاهی تنک بین ۰/۰۵ تا ۰/۱، برای مناطق گیاهی معمولی و نیمه متراکم بین ۰/۱ تا ۰/۶ و برای مناطق گیاهی بسیار متراکم و غنی بین ۰/۶ تا ۰/۷است.

✓ **شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI)**

شاخص وضعیت گیاه (VCI) اولین بار توسط کوگان در سال ۱۹۹۷ (Kogan, ۱۹۹۷) برای حذف اثر تفاوت آب و هوایی و توپوگرافی از روی نتایج شاخص NDVI طراحی شده است. این شاخص طبق رابطه زیر تعریف می شود:

$$VCI_{ijk} = \frac{NDVI_{ijk} - NDVI_{i,min}}{NDVI_{i,max} - NDVI_{i,min}} \qquad (۳)$$

در صورتی که $NDVI_{min}$ و $NDVI_{max}$ به صورت ماهیانه برای دوره ای طولانی مدت حساب شده باشد، اندیس j نشان دهنده ماه موردنظر، i شماره پیکسل و k نیز ماه مورد نظر است. این شاخص نسبت به شاخص NDVI نتایج بهتری را نسبت به میزان بارندگی به خصوص در مناطقی که از نظر جغرافیایی ناهمگون هستند، ارائه می دهد. بازه تغییرات این شاخص بین صفر تا یک می باشد (Kogan, ۱۹۹۷). زمانی که VCI به صفر درصد نزدیک می شود، نشان گر یک ماه بسیار خشک است و

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-25]

وقتی که مقدار VCI به بیشترین مقدار نزدیک می شود، وضعیت خشکسالی بهبود می یابد. مقادیر کم VCI برای فواصل زمانی پی درپی، اشاره به ازدیاد خشکسالی دارد (Thenkabail,۲۰۰۴). در جدول زیر نحوه طبقه بندی خشکسالی بر اساس مقادیر این شاخص بر حسب درصد ارئه شده است.

جدول ۲: طبقه بندی خشکسالی با شاخص VCI (Bhuiyan,۲۰۰۸)

وضعیت	VCI (درصد)
خشکسالی بسیار شدید	>۱۰
خشکسالی شدید	۱۰ -۱۹/۹
خشکسالی متوسط	۲۰ -۲۹/۹
خشکسالی خفیف	۳۰ -۳۹/۹
غیرخشکسالی	≥۴۰

✓ **شاخص وضعیت دما** (TCI)

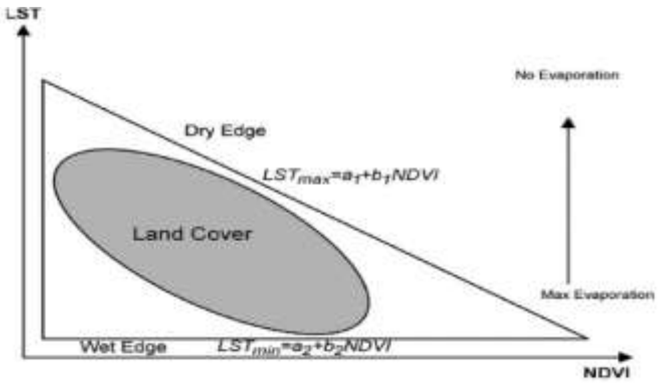
شاخص TCI را نیز کوگان در سال ۱۹۹۵ پیشنهاد کرد و الگوریتم محاسباتی آن شبیه شاخص VCI است، ولی معادله ی آن برای انعکاس پاسخ حرارتی پوشش گیاهی تعریف شده است.

$$TCI = \frac{T_{max} - T_i}{T_{max} - T_{min}} \qquad (۴)$$

که T_{min} و T_{max} مقادیر کمینه و بیشینه دمای کل دوره زمانی موردمطالعه است.

✓ **شاخص خشکی دمایی-گیاهی** (TVDI[۱۹])

این شاخص رابطه بین دمای سطح زمین، پوشش گیاهی و رطوبت خاک را به نحوی مطلوب مدل می کند (Sandholt et al,۲۰۰۲). نمودار پراکندگی از دمای سطح زمین و شاخص گیاهی پیکسل ها معمولاً شکل یک فضای مثلثی و یا ذوزنقه ای را می دهد (شکل ۲). این حالت در صورتی رخ می دهد که بازه ای وسیع از پوشش های گیاهی و مناطق با رطوبت سطحی مختلف را در تصویر داشته باشیم (Price,۱۹۹۰). در این شکل، هردو لبه تر[۲۰] و خشک[۲۱] به ترتیب از برازش معادله خطی بر مقادیر کمینه و بیشینه دمای سطح زمین در نمودار پراکندگی بین NDVI و LST حاصل شده اند.



شکل ۲:مثلث NDVI/LST (Sandholt et al, ۲۰۰۲)

۱۹ .Temperature Vegetation Dryness Index
۲۰ .Wet edge
۲۱ . Dry edge

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-25]

پس از تشکیل فضای مثلثی می توان با استفاده از رابطه زیر به TVDI برای هر نقطه دست یافت که مقداری بین صفر تا یک را به خود می گیرد:

$$TVDI = \frac{LST - LST_{min}}{LST_{max} - LST_{min}} \qquad (۵)$$

در این رابطه، LST دمای سطح پیکسل مورد نظر و LST_{max} بیشینه دما در NDVI مربوط به آن پیکسل و LST_{min} کمینه دمای سطح در آن NDVI می باشد. TDVI در لبه خشک (مناطق کم آب) مقدار یک و در لبه تر (بیشترین میزان تبخیر و تعرق و عدم محدومیت در منابع آب) مقدار صفر را خواهد داشت. در نتیجه رابطه ای منفی بین رطوبت خاک و TDVI برقرار است. مقادیر بیشینه و کمینه دمای سطح زمین برای هر NDVI معلوم را می توان از برازش خطی رابطه زیر محاسبه نمود:

$$LST_{max} = a_۱ + b_۱ \times NDVI \qquad (۶)$$
$$LST_{min} = a_۲ + b_۲ \times NDVI$$

که در این رابطه، $a_۱$ و $a_۲$ به ترتیب عرض از مبدا خطوط برازش یافته بر مقادیر بیشینه و کمینه دمای سطح و $b_۱$ و $b_۲$ نیز به ترتیب شیب خطوط برازش یافته بر این مقادیر به منظور ایجاد اضلاع خشک و تر می باشند.

✓ **شاخص رطوبت خاک** (SWI)

مشابه با شاخص TDVI، شاخص رطوبت خاک برای هر پیکسل به صورت زیر محاسبه می‌شود:

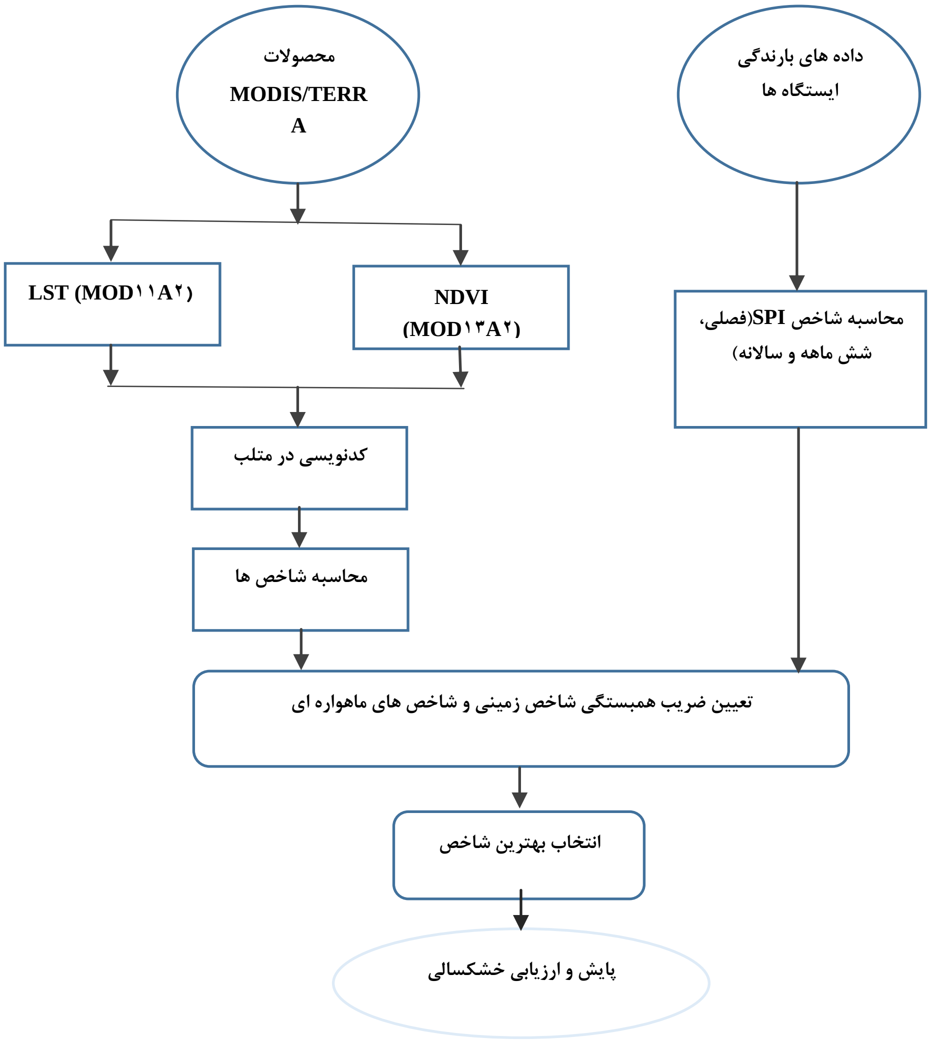
$$SWI = \frac{T_{max(i)} - T_{s(i)}}{T_{max(i)} - T_{min(i)}} \qquad (۷)$$

که در این رابطه i نماینده شماره پیکسل، $T_{s(i)}$ همان LST پیکسل i ام، $T_{min(i)}$ حداقل دمای مشاهده شده متناظر با پیکسل مورد نظر و $T_{max(i)}$ حداکثر دمای مشاهده شده متناظر با پیکسل مورد نظر است. برای یافتن مقدار $T_{min(i)}$ و $T_{max(i)}$ در هر پیکسل همانند قسمت قبل از فرمول (۶)، استفاده می شود.

ج) تجزیه و تحلیل نتایج و صحت سنجی

نتایج شاخص ها و یا الگوریتم های به کار رفته در روش های سنجش از دور، از طریق محاسبه ضریب همبستگی با تعریف سطح معناداری با داده های زمینی (داده های ایستگاه های باران سنجی) مورد آزمون دقت و اعتبارسنجی قرار گرفتند. این مرحله در واقع بخش نهایی تحلیل و تفسیر نتایج به دست آمده می باشد. شمایی کلی از روش تحقیق در فلوچارت زیر نشان داده شده است.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-25]



شکل ۳: شمایی کلی از فرآیند پژوهش

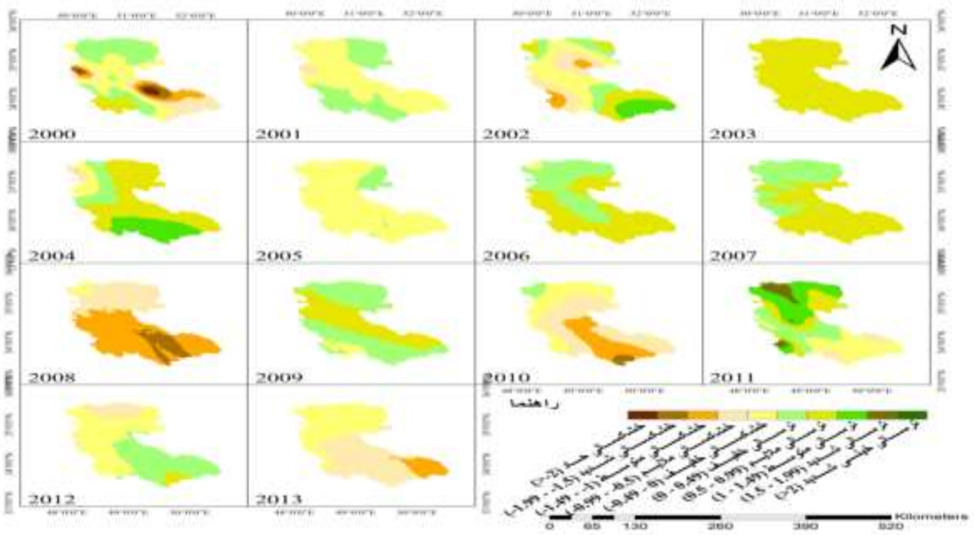
شرح و تفسیر نتایج

در این بخش ابتدا نتایج به دست آمده از خشکسالی هواشناسی مستخرج از داده‌های اخذ شده از ایستگاه های هواشناسی و سپس نقشه های خشکسالی کشاورزی مستخرج از داده های ماهواره‌ای ارائه شده است و در نهایت به مقایسه و ارزیابی این نقشه ها پرداخته شده و اقدام به ارائه شاخص مناسب جهت پایش خشکسالی منطقه مورد مطالعه گردیده است.

- **نتایج حاصل از تحلیل خشکسالی هواشناسی با استفاده از داده های زمینی**

نقشه پهنه بندی خشکسالی سالانه تهیه شده با استفاده از شاخص SPI و روش درون یابی کریجینگ در شکل ۴ ارائه شده است.

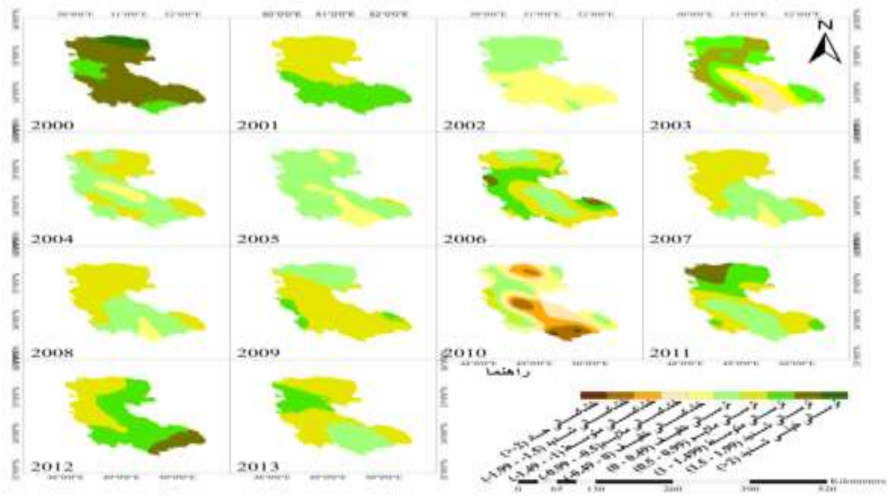
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-25]



شکل ۴: پهنه بندی خشکسالی استان مرکزی با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI) سالانه (۲۰۱۳-۲۰۰۰)

با استناد به شکل ۴ در سال ۲۰۰۰ مناطق غربی و جنوب شرقی استان با خشکسالی با درجات مختلف مواجه اند. در سال های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۵ اکثر مناطق شرایط خشکسالی خفیف را نشان می دهد. در سال ۲۰۰۲ در مناطق شمالی و جنوبی، ترسالی و بقیه مناطق، خشکسالی مشاهده می شود. کلیه ایستگاه های منطقه در سال ۲۰۰۳ وضعیت ترسالی ملایم دارند. در سال ۲۰۱۲ تقریبا نیمی از منطقه با خشکسالی ملایم و خفیف و نیم دیگر با ترسالی ملایم و خفیف روبرو است. در سال های ۲۰۰۴، ۲۰۰۶، ۲۰۰۷، ۲۰۰۹، و ۲۰۱۱ نیز، اکثر مناطق استان ترسالی با درجات مختلف را نشان می دهد. سال های ۲۰۰۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳ تقریبا وضعیت مشابه ای همانند هم دارند.

برای شاخص SPI فصلی نیز مطابق شکل ۵، این نقشه تهیه شده است. باتوجه به این شکل، در سال های ۲۰۰۰، ۲۰۰۱، ۲۰۰۶، ۲۰۰۹، ۲۰۱۱، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ ترسالی با سطوح مختلف در قسمت های مختلف استان کاملاً مشخص است. سال ۲۰۰۲ و ۲۰۰۵ شرایط نرمال(خشکسالی و ترسالی خفیف)، و سال ۲۰۰۴، ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ شرایط نرمال با تمایل به ترسالی را نشان می دهند. در سال ۲۰۰۳ و ۲۰۱۰ علاوه بر شرایط ترسالی، به ترتیب با خشکسالی با درجه خفیف و ملایم، و متوسط و شدید مواجه اند. البته لازم به ذکر است که این نقشه ها در سه ماه از ماه های پر باران استان تهیه شده است، بنابراین چنین نتیجه ای در مقایسه با دوره زمانی سالانه، کاملاً منطبق بر واقعیت و انتظار است.



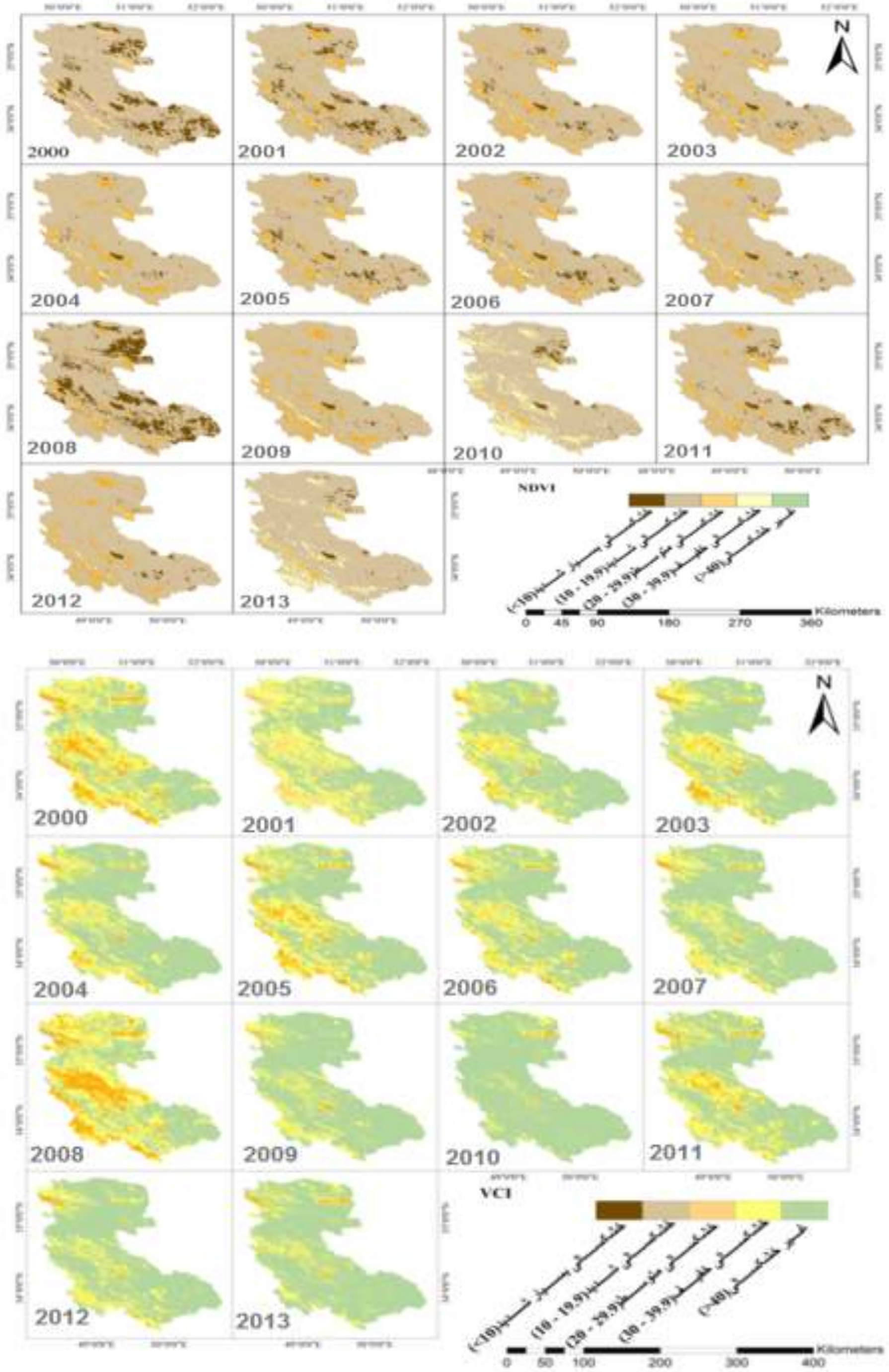
شکل ۵: پهنه بندی خشکسالی استان مرکزی با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI) فصلی(۲۰۱۳-۲۰۰۰)

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-25]

- **نتایج حاصل از خشکسالی کشاورزی با استفاده از تصاویر ماهواره ای**

همانطور که در بخش داده ها و روش تحقیق اشاره شد جهت بررسی خشکسالی کشاورزی، اقدام به تهیه نقشه شاخص های NDVI، VCI، TCI، TVDI و SWI از روی تصاویر ماهواره ای مادیس در مقیاس های زمانی سالانه، شش ماهه و فصلی گردید. این نقشه ها برای مقیاس زمانی سالانه در شکل های ۶ تا ۸ ارائه شده است و جهت خلاصه سازی نتایج اطلاعات آماری سایر مقیاس های زمانی در قالب جداول در بخش بعد آورده شده است.

در شکل ۶ نتایج حاصل از تغییرات شاخص‌های مرتبط با پوشش گیاهی منطقه (NDVI و VCI) ارائه شده است.



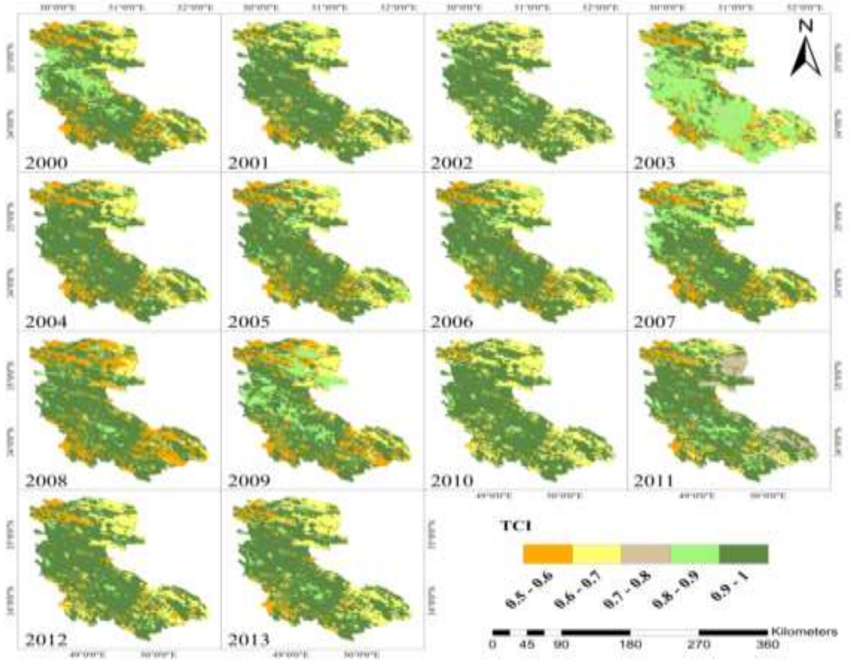
شکل ۶: نقشه میانگین سالانه شاخص های وضعیت پوشش گیاهی NDVI، VCI استان مرکزی (۲۰۱۳-۲۰۰۰)

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-25]

همانطور که از شکل ۶ مشخص است با توجه به نقشه شاخص NDVI، قسمت اعظم منطقه پوشش معمولی و نیمه متراکم دارد و مناطق ضعیف با پوشش گیاهی تنک مساحت کم و متفاوتی را در طی دوره چهارده ساله مطالعه دارد. لازم به ذکر است در طبقه بندی این شاخص، اعداد راهنمای نقشه براساس درصد می باشند.

براساس نتایج به دست آمده از شاخص VCI میزان خشکسالی در نواحی غرب و جنوب غربی استان بیشتر می‌باشدکه البته در همه سال‌ها از یک الگوی منظم و یکسان پیروی نمیکند. که دلیل آن نیز می‌تواند به تراکم بارندگی در سال‌های مختلف و یا نوع مدیریت زراعی و باغی هم باشد. در بین سال‌های مختلف مورد مطالعه سال ۲۰۰۸ دارای شرایط خشکسالی متوسط و خفیف می باشد. که این نتایج با نتایج حاصل از شاخص SPI مستخرج از داده های زمینی همخوانی نسبتا خوبی دارد و بیانگر کارآیی این شاخص در تخمین خشکسالی کشاورزی متاثر از کمبود بارش در این سال می‌باشد. همچنین بر اساس نتایج سال ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ نیز با مقادیر بالای VCI گویای شرایط مساعد گیاهی و به عبارتی ترسالی می‌باشد، که مجددا با میزان بارندگی در این سال‌ها به نسبت کل دوره مورد مطالعه همخوانی دارد و با استفاده از شاخص VCI شرایط غالب شرایط متمایل به ترسالی را برای این سال‌ها نشان می دهد. همانطور که در قسمت روش تحقیق آورده شد این شاخص از روی تغییرات شاخص NDVI در طول دوره مطالعه استخرج شده است، اما نتایج آنها تا حدی با یکدیگر متفاوت است. علت تفاوت نتایج حاصل از این شاخص در مقایسه با شاخص NDVI، این است که این شاخص نوسانات کوتاه مدت که مربوط به آب و هواست را از تغییرات بلند مدت جدا می کند. در نتیجه با استفاده از شاخص VCI در طول دوره آماری، منطقه مورد مطالعه با شرایط خشکسالی شدیدی مواجه نیست.

نتایج حاصل از شاخص TCI که بیانگر وضعیت تغییرات دمایی در منطقه می‌باشد در شکل ۷ ارائه شده است.

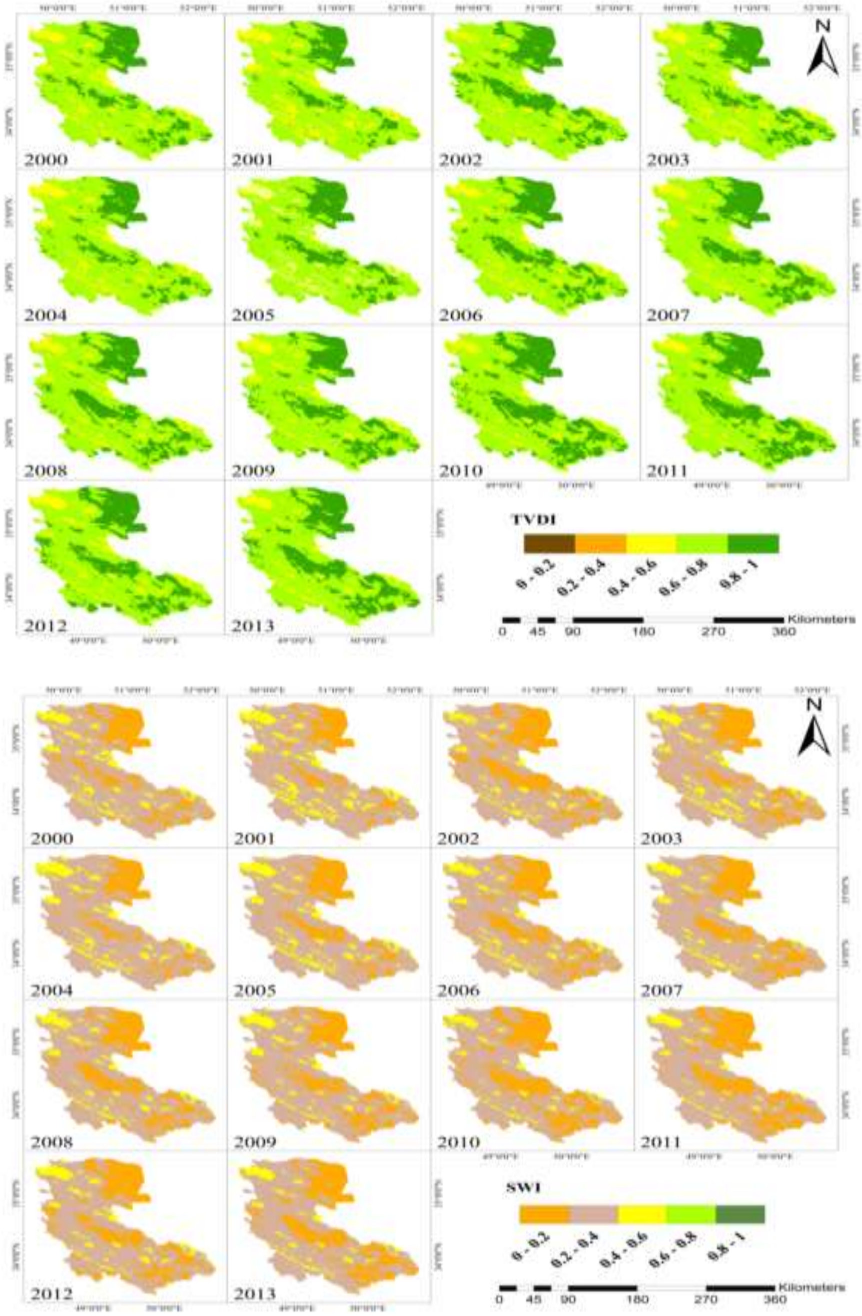


شکل ۷: نقشه میانگین سالانه شاخص وضعیت دماییTCI استان مرکزی (۲۰۱۳-۲۰۰۰)

نتایج به دست آمده از شاخص TCI مقادیر نسبتا بالای این شاخص با توزیع مکانی مختلف در تمامی سال ها در نواحی مختلف استان 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 استان را میتوان دلیل این امر دانست. از آنجایی که استان مرکزی جزو

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-25]

نواحی نسبتا خشک با پوشش گیاهی متوسط تا کم می‌باشد، با استفاده ازاین شاخص بر خلاف شاخص وضعیت پوشش گیاهی VCI که اراضی کشاورزی و مراتع در تصاویر به صورت مجزا دیده می شود، تفکیک دقیقی در آن ها مشاهده نمی شود و کارآیی آن را در بررسی مقادیر خشکسالی با ابهام روبه رو میکند. جهت بررسی دقیق‌تر استفاده از داده های حرارت سطح به عنوان شاخصی از خشکسالی در ادامه به بررسی وضعیت تغییرات این پارامتر در ارتباط با پوشش گیاهی توسط دو شاخص TVDI و SWI که بیانگر وضعیت رطوبتی خاک منطقه می‌باشند پرداخته شده است (شکل ۸).



شکل ۸: نقشه میانگین سالانه شاخص های TVDI، و SWI استان مرکزی (۲۰۱۳-۲۰۰۰)

با توجه به شکل ۸ شاخص TVDI دارای مقادیر نسبتا بالا با تغییرات نسبتا اندک در سال‌های مختلف می‌باشد. از آن جایی که رابطه ی منفی بین رطوبت خاک و TDVI برقرار است و مقادیر بالای این شاخص نشان دهنده‌ی رطوبت پایین و یا

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-25]

خشکسالی است، در نتیجه اکثر سال‌ها با پدیده خشکسالی با درجات متفاوت مواجه اند. نکته مهم و قابل ذکر این است که شاخص TVDI، نیاز به وجود تراکم و تنوع پوشش گیاهی در یک منطقه وسیع دارد، شرایطی که در این منطقه وجود ندارد، که همین امر دلیل عدم کارایی و توانایی این شاخص در به تصویر کشیدن دقیق نواحی و سالهای متاثر از خشکسالی می‌باشد. در قسمت های بعد نتایج ضریب همبستگی شاخص زمینی با شاخص های ماهواره ای بیان خواهد شد. از آن جایی که شاخص TVDI ضریب همبستگی بالایی با شاخص بارش ندارد، نمی توان با قطعیت نتایج نقشه های تهیه شده با استفاده از شاخص TVDI را تعمیم داد.

شاخص SWI نیز دارای شرایط تقریبا مشابه به شاخص TVDI می‌باشد. زیرا این شاخص در الگوریتم محاسبه همانند شاخص TVDI است، تنها با این تفاوت که شاخص رطوبت خاک رابطه مستقیمی با خشکسالی دارد و مقادیر کم وقوع خشکسالی را نشان می دهد. در شکل ۸ در تمامی سال‌ها مقادیر پایین شاخص SWI مشخص است. نتایج حاصل از این شاخص کاملا همسو و منطبق بر شاخص TVDI است. بنابراین همانطور که ملاحظه گردید شاخص‌های TCI، TVDI و SWI که مرتبط با وضعیت دمایی سطح و رطوبت خاک هستند از توانایی خوبی در به تصویر کشیدن تغییرات خشکسالی نداشتند که علت آن هم وضعیت خاص کم پوشش گیاهی استان مرکزی و غالب بودن شرایط خشکی نسبی در سرتاسر این استان است. که این امر لزوم استفاده از شاخص‌های مرتبط با پوشش گیاهی همانند VCI را که واکنش بهتری نسبت به تغییرات بارندگی دارند را برای این منطقه روشن میکند. جهت تبیین بهتر این موضوع در قسمت بعد به تحلیل کمی ارتباط بین نتایج حاصل از شاخص های مختلف مستخرج از داده های ماهواره ای و خشکسالی هواشناسی مستخرج از داده های بارندگی پرداخته شده است.

- **مقایسه خشکسالی های کشاورزی و هواشناسی و انتخاب شاخص بهینه پایش خشکسالی**

بر اساس هدف اصلی این تحقیق که ارزیابی دقت تصاویر ماهواره ای در برآورد خشکسالی و مقایسه خشکسالی های کشاورزی و هواشناسی و در نهایت ارئه شاخص بهینه جهت پایش خشکسالی کشاورزی در منطقه بود. بدین منظور در پیکسل های متناظر با ایستگاه های هواشناسی مقادیر حاصل از تمامی شاخص‌های مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد و و اقدام به مقایسه و بررسی ضریب همبستگی میانگین فصلی، شش ماهه و سالانه شاخص های ماهواره ای با شاخص SPI زمینی گردید. این نتایج در جدول ۴ ارائه شده است.

بر اساس مقادیر این جدول بیشترین همبستگی بین میانگین فصلی شاخص های ماهواره ای با SPI فصلی 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 جدول به دست آمده از محاسبات آماری در بین شاخص های ماهواره ای ضعیف ترین روابط همبستگی را شاخص TCI با شاخص SPI دارد. رابطه همبستگی مناسب و سطح معنی داری نیز تنها بین شاخص SPI با شاخص های گیاهی NDVI و VCI وجود دارد.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-25]

جدول ۴: ضریب همبستگی بین شاخص SPI فصلی، شش ماهه و سالانه با میانگین فصلی، شش ماهه و سالانه شاخص های ماهواره‌ای، طی سال های ۲۰۱۳-۲۰۰۰ در استان مرکزی

	NDVI			VCI			TCI			TVDI			SWI		
سال	فصلی	شش ماهه	سالانه	فصلی	شش ماهه	سالانه	فصلی	شش ماهه	سالانه	فصلی	شش ماهه	سالانه	فصلی	شش ماهه	سالانه
۲۰۰۰	۰,۳۳*	۰/۳۴	۰/۲۳	۰,۵۲**	۰/۲۱	-۰/۰۲	۰/۱۳	-۰/۰۸	-۰/۱۳	۰/۰۲	-۰/۲۲	-۰/۱۳	-۰/۰۲	۰/۲۲	۰/۰۳
۲۰۰۱	۰/۱۰	۰/۲۴	۰/۱۴	۰,۳۴*	۰/۱۵	۰/۱۸	-۰/۱۸	-۰/۲۱	-۰/۰۶	-۰/۰۹	۰/۱۲	-۰/۰۶	۰/۰۹	-۰/۱۲	-۰/۲۲
۲۰۰۲	۰/۲۲*	۰/۱۱	-۰/۳۲	۰,۵۱**	۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۰۲	-۰/۱۰	۰/۰۳	-۰/۱۲	-۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۰۴
۲۰۰۳	۰/۲۷	۰/۱۲	-۰/۰۱	۰/۲۳	۰/۰۶	-۰/۱۳	۰/۱۱	-۰/۱۸	۰/۰۷	-۰/۰۵	-۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۱۰	-۰/۱۳
۲۰۰۴	۰/۳۶*	-۰/۰۷	-۰/۲۱	۰/۳۸*	۰/۱۸	۰/۲۳	-۰/۰۱	۰/۲۲	۰/۴۴	-۰/۰۵	۰/۱۵	۰/۴۴	۰/۰۵	-۰/۱۵	-۰/۲۴
۲۰۰۵	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۱۴	۰/۶۱**	۰/۳۵	۰/۱۳	-۰/۰۶	۰/۲۴	۰/۳۹	-۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۳۹	۰/۰۲	-۰/۰۱	-۰/۲۸
۲۰۰۶	۰/۳۱*	۰/۱۸	۰/۱۰	۰/۴۸*	۰/۵۳	۰/۱۸	-۰/۱۴	۰/۰۳	۰/۳۱	-۰/۲۶	-۰/۱۶	۰/۳۱	۰/۲۶	۰/۱۶	-۰/۲۲
۲۰۰۷	۰/۲۲	۰/۱۱	-۰/۱۸	۰/۵۳**	۰/۳۲	۰/۳۵	-۰/۰۴	۰/۲۱	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۰۶	-۰/۰۶	-۰/۱۱	-۰/۲۴
۲۰۰۸	۰/۴۵*	۰/۳۸	۰/۰۷	۰/۵۷**	۰/۳۰	-۰/۰۱	-۰/۳۲	-۰/۱۸	-۰/۲۰	-۰/۲۳	-۰/۳۰	-۰/۲۰	۰/۲۳	۰/۳۰	۰/۲۶
۲۰۰۹	۰/۳۷*	۰/۱۶	-۰/۰۴	۰/۲۴	۰/۱۱	-۰/۰۶	۰/۱۰	-۰/۲۳	-۰/۰۵	-۰/۱۸	-۰/۲۶	-۰/۰۵	۰/۱۸	۰/۲۶	۰/۱۴
۲۰۱۰	۰/۲۲	۰/۳۹	۰/۲۴	۰/۲۰	۰/۴۰	-۰/۱۵	۰/۱۶	-۰/۰۹	-۰/۴۰	-۰/۱	-۰/۳۰	-۰/۴۰	۰/۱	۰/۳۰	۰/۳۰
۲۰۱۱	۰/۳۴*	۰/۳۹	۰/۴۲	۰/۳۸*	۰/۱۶	-۰/۱۵	-۰/۱	-۰/۲۱	-۰/۱۴	-۰/۲۸	-۰/۱۶	-۰/۱۴	۰/۲۸	۰/۱۶	-۰/۰۳
۲۰۱۲	۰/۲۴	۰/۳۸	-۰/۴۲	۰/۳۵*	۰/۱۰	۰/۱۴	۰/۰۳	-۰/۳۷	-۰/۱۸	-۰/۰۳	-۰/۳۴	-۰/۱۸	۰/۰۳	۰/۳۴	-۰/۱۱
۲۰۱۳	۰/۱۲	۰/۲۷	۰/۰۱	۰/۴۹**	۰/۳۱	-۰/۰۵	-۰/۱	-۰/۴۰	-۰/۴۵	-۰/۰۲	-۰/۱۲	-۰/۴۵	۰/۰۲	۰/۱۲	۰/۲۱

* معنی داری در سطح ۵ درصد   ** معنی داری در سطح یک درصد

نتیجه جالب توجه در جدول، رابطه همبستگی کاملاً برابر و معکوس دو شاخص TVDI و SWI است، که البته این نتیجه به دلیل ساختار مشابه این دو شاخص، قابل پیش بینی بود. نکته حائز اهمیت این است که همبستگی ضعیف سایر شاخص های ماهواره ای از نظر علمی کاملا توجیه پذیر است. در مورد شاخص TVDI و SWI، نیاز به وجود تراکم و تنوع پوشش گیاهی در یک منطقه دارند، بطور مثال منطقه ای با وسعت شمال تا مرکز کشور، شرایطی که در منطقه مورد مطالعه وجود ندارد. بنابراین این دو شاخص در این منطقه نمی توانند به بهترین نحو خشکسالی را مدل کنند و در نتیجه ضرایب همبستگی ضعیفی نیز با شاخص بارندگی دارند. علاوه بر تنوع پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه، چون این دو شاخص معیاری برای رطوبت هستند، در صورتی که زمان تاخیر بین بارندگی و این دو شاخص ماهواره ای در فواصل زمانی کمتر، بطور مثال یک ماه، در نظر گرفته شود نتایج بهتر و با توافق بیشتری به دست خواهد آمد.

باتوجه به اینکه ضرایب همبستگی شاخص SPI شش ماهه، و میانگین سالانه شاخص های ماهواره ای در این منطقه نتایج قابل اعتمادی ارائه نمی دهد، بنابراین تحلیل دقیق تر شاخص SPI فصلی و میانگین فصلی شاخص های ماهواره ای NDVI و VCI در ادامه، به صورت منطقه ای نیز انجام گرفت. بررسی منطقه ای در شش شهرستان با بیشترین تعداد ایستگاه باران سنج انجام شد که نتایج آن در جداول ۵ و ۶ ارائه شده است.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-25]

جدول ۵: ضریب همبستگی بین شاخص SPI فصلی و میانگین فصلی شاخص VCI طی سال های ۲۰۱۳-۲۰۰۰

سال	زرندیه	ساوه	تفرش	اراک	شازند	خمین
۲۰۰۰	۰/۴۷	۰/۵۴	۰/۸۹*	۰/۵۲	۰/۸۷*	۰/۷۳
۲۰۰۱	۰/۶۹	۰/۸۰*	۰/۷۵	۰/۱۲	۰/۷۹*	۰,۹۹**
۲۰۰۲	۰/۲۳	۰/۶۶*	۰,۹۹*	۰/۹۰*	۰/۸۵*	۰/۹۹**
۲۰۰۳	۰/۳۱	۰/۲۰	۰/۹۴*	۰/۴۹	۰/۸۲*	۰/۷۱*
۲۰۰۴	۰/۴۸	۰/۲۲	۰/۶۸*	۰/۷۶*	۰/۹۳*	۰/۲۹
۲۰۰۵	۰/۵۹	۰/۹۱*	۰/۹۲*	۰/۴۰	۰/۹۶*	۰/۸۹*
۲۰۰۶	۰/۹۷*	۰/۸۶*	۰/۹۷*	۰/۴۹	۰/۸۰*	۰/۳۴
۲۰۰۷	۰/۱۷	۰/۳۹	۰/۹۹*	۰/۹۶*	۰/۹۳*	۰/۶۰
۲۰۰۸	۰/۷۶*	۰/۶۱*	۰/۹۹*	۰/۴۸	۰/۷۴*	۰/۴۹
۲۰۰۹	۰/۵۸	۰/۱۵	۰/۵۳	۰/۳۸	۰/۳۰	۰/۶۸*
۲۰۱۰	۰,۵۶	۰/۶۶*	۰/۴۱	۰/۱۰	۰/۸۲*	۰/۶۶*
۲۰۱۱	۰/۶۶*	۰/۳۱	۰/۹۹*	۰/۴۲	۰/۸۲*	۰/۸۱*
۲۰۱۲	۰/۹۴*	۰/۸۱*	۰/۹۵*	۰/۴۷	۰/۲۲	۰/۹۹**
۲۰۱۳	۰/۶۳*	۰/۹۸**	۰/۸۲*	۰/۱۷	۰/۲۴	۰/۹۸**

* معنی داری در سطح ۵ درصد ** معنی داری در سطح یک درصد

جدول ۶: ضریب همبستگی بین شاخص SPI فصلی و میانگین فصلی شاخص NDVI طی سال های ۲۰۱۳-۲۰۰۰

سال	زرندیه	ساوه	تفرش	اراک	شازند	خمین
۲۰۰۰	۰/۵۰	-۰/۳۹	۰/۹۸*	-۰/۹۴	۰/۸۸*	-۰/۶۵
۲۰۰۱	۰/۵۴	-۰/۲۳	۰/۱۶	-۰/۹۹	۰/۹۶*	-۰/۱۱
۲۰۰۲	-۰/۷۳	۰/۳۰	۰/۸۴*	-۰/۲۱	۰,۹۶*	-۰/۲۶
۲۰۰۳	-۰/۶۰	۰/۵۰	۰/۲۲	۰/۷۲	۰/۵۰	-۰/۵۴
۲۰۰۴	-۰/۷۷	۰/۱۰	-۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۶۳	۰/۳۶
۲۰۰۵	-۰/۱۰	-۰/۲۵	۰/۳۰	-۰/۲۵	۰/۷۸*	-۰/۱۰
۲۰۰۶	۰/۳۳	-۰/۳۱	۰/۶۲	-۰/۲۸	۰/۵۱	-۰/۶۵
۲۰۰۷	-۰/۴۲	-۰/۳۸	۰/۱۲	۰/۹۲*	۰/۸۱	۰/۳۹
۲۰۰۸	-۰/۴۳	-۰/۰۵	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۷۵*	۰/۱۰
۲۰۰۹	-۰/۸۹	۰/۵۸	۰/۸۸*	۰/۸۸*	-۰/۲۶	-۰/۰۹
۲۰۱۰	۰/۷۹*	۰/۵۳	۰/۸۸*	۰/۲۷	-۰/۲۷	-۰/۶۳
۲۰۱۱	-۰/۱۰	۰/۵۲	۰/۲۰	۰/۸۸*	۰/۸۶*	۰/۳۸
۲۰۱۲	۰/۶۹*	۰/۱۴	۰/۲۰	۰/۳۱	۰/۷۶*	۰/۱۶
۲۰۱۳	-۰/۱۲	-۰/۲۰	۰/۶۵	-۰/۱۰	۰/۵۳	-۰/۶۲

* معنی داری در سطح ۵ درصد ** معنی داری در سطح یک درصد

همان گونه که از نتایج جدول ۵ مشخص است شاخص VCI همبستگی بالایی در مناطق مختلف و در تمامی سال ها با شاخص SPI دارد. بالاترین مقادیر همبستگی نیز متعلق به تفرش و شازند است. بنابر این با اطمینان میتوان بیان داشت که این شاخص را میتوان جهت پایش تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی کشاورزی با دقتی قابل قبول در نواحی مختلف استان استفاده نمود.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-25]

در مورد شاخص NDVI نیز همبستگی با شاخص SPI تنها در تفرش و شازند در تمامی سال ها با ضرایب بالا برقرار است. دلیل این همخوانی بالا، بارندگی های بالای این دو منطقه است. بنابراین این شاخص در استان مرکزی در مناطقی با بارش نرمال توافق زیادی دارد و با مناطقی در استان که شرایط اقلیمی خشک دارند نتایج قابل انتظاری را نشان نمی دهد.

نتیجه گیری

در محاسبه وضعیت اقلیمی منطقه طی دوره آماری ۱۴ سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۰۰ با استفاده از شاخص استانداردSPI سالانه، در مقایسه با مقیاس فصلی، شاخص سالانه با تعداد بیشتری خشکسالی مواجه است. همچنین در این منطقه وضعیت ترسالی ها از شدت ضرایب بالاتری نسبت به خشکسالی ها برخوردارند. در مقایسه دو مقیاس سالانه و فصلی خشکسالی مشخص گردید که به علت نوسان های شدید بارش (بر اساس آمار هواشناسی)، الزاما وجود خشکسالی سالانه دلیلی بر وجود خشکسالی فصلی نیست و یا برعکس آن وقوع خشکسالی فصلی نمی تواند الزاما خشکسالی در کل سال را توجیه کند.

نتایج حاصل از این مقاله نشان میدهد که بهترین شاخص مبتنی بر تصاویر ماهواره ای جهت پایش خشکسالی کشاورزی در منطقه مورد مطالعه شاخص وضعیت گیاهی VCI می باشد. هم چنین مشخص شد، شاخص VCI با SPI فصلی در هر دو حالت استانی و منطقه ای دارای همبستگی بالایی است. اگر چه شاخص VCI به منظور حذف اثرات منطقه ای آب و هوایی و پوشش از روی NDVI به وجود آمده است، همبستگی آن با شاخص SPI به مکان و نوع پوشش و آب و هوای منطقه ای که خشکسالی در آن اتفاق افتاده، وابسته است.

در نهایت میتوان بیان کرد که مطالعات صورت گرفته با استفاده از شاخص های مختلف با توجه به محل اجرا و شرایط محیطی، نتایج متفاوتی را نشان می دهند و در نتیجه امکان مقایسه کلی بین شاخص ها از نظر صحت داده ها و در نتیجه بررسی خشکسالی وجود ندارد. علاوه بر این، اغلب این مطالعات در مناطق با بارش نرمال و بالا صورت گرفته است. با توجه به شرایط خاص آب و هوایی ایران و شرایط اقلیمی مناطق خشک، نمی توان برای مطالعه خشکسالی از روش ها و شاخص های یکسانی استفاده نموده و نتایج کاملاً مشابهی را انتظار داشت. از این رو باید رابطه هرکدام از شاخص های ماهواره ای 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 کشاورزی نمود.

منابع

Bhuiyan, C. ۲۰۰۸. Desert Vegetation during Droughts: Response and Sensitivity. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVII: ۹۰۷-۹۱۲.

Bonaccorso, B.; Bordi, I.; Cancelliere, A.; Rossi, G.; and Sutera, A. ۲۰۰۳. Spatial variability of drought: An analysis of the SPI in Sicily. *Water Resources Management*, ۱۷: ۲۷۳–۲۹۶.

Caccamo, G.; Chisholm, L. A.; Bradstock, R. A.; and Puotinen, M. L. ۲۰۱۱. Assessing the sensitivity of MODIS to monitor drought in high biomass ecosystems. *Remote Sensing of Environment*,**۱۱۵**: ۲۶۲۶-۲۶۳۹.

Jang, J. D. ۲۰۰٤. Evaluation of thermal-water stress of forest in southern Qubec from satellite image. University of Laval, Faculty of forest and Geomantic, Quebec.

Kanada. Jupp, D. L. B.; Tian, G.; Mcvicar, T. R.; Qin, Y.; and Fuqin, L. ۱۹۹۸. Soil moisture and drought monitoring using remote sensing, Theoretical background and methods. CSIRO: Astrulia.

Kogan, F. N. ۲۰۰۱. Contribution of remote sensing to drought early warning. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), National Environmental Satellite Data and Information Services (NESDIS), Washington: DC. U.S.A.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-25]

Kogan, F.N. ۱۹۹۵. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. Adv, *Space Res*, ۱۵(۱۱): ۹۱– ۱۰۰.

Kogan, F.N. ۱۹۹۷. Global drought watch from space. *Bulletin of the American Meteorological Society*, ۷۸: ٦۲۱-٦۳٦.

Krzanowski, W.J. ۱۹۸۷. Selection of variables to preserve multivariate data structure, using principal components. *Journal of the Royal Statistical Society,* ۳٦(۱): ۲۲–۳۳.

McKee, T. B.; Doesken, N. J.; and Kleist, J. ۱۹۹۳. The relationship of drought frequency and duration۱۱ to time scales. Preprints, ۸th Conference on Applied Climatology, Anaheim.

Owrangi, M. A.; Adamowski, J.; Rahnemaei, N.; Mohammadzadeh, A.; and Afshin Sharifan, R. ۲۰۱۱. Drought monitoring methodology based on AVHRR Image and SPOT vegetation maps. *Journal of Water Resource and Protection,* ۳: ۳۲٥-۳۳٤.

Price, J.C. ۱۹۹۰. Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration. IEEE Trans, Geoscience and Remote Sensing, ۲۸: ۹٤۰–۹٤۸.

Rhee, J. ۲۰۱۰. Monitoring agricultural drought for arid and humid regions using multi-sensor remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, ۱۱٤: ۲۸۷٥–۲۸۸۷.

Roswintiarti, O.; Oarwati, S.; and Angraini, N. ۲۰۱۰. Potential drought monitoring over agriculture area in Java Island, Indonesia. Indonesian National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN), Progress Report of SAFE Prototype Year.

Rouse, J. W.; Haas, Jr. R.; Schell, H. J. A.; and Deering, D.W. ۱۹۷۳. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA: ۳۰۹-۳۱۷.

Sandholt, I.; Rasmussen, K.; and Andersen, J. ۲۰۰۲. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of soil moisture status. *Remote Sensing of Environment,* ۷۹ (۲): ۲۱۳-۲۲٤.

Shahabfar, A.; Ghulam, A.; and Eitzinger, J. ۲۰۱۲. Drought monitoring in Iran using the perpendicular drought indices. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, ۱۸: ۱۱۹-۱۲۷.

Thenkabail, P.S.; Enclona, E. A.; Ashton, M. S.; Legg, C.; and Jean De Dieu, M. ۲۰۰٤. The use of remote sensing data for drought assessment and monitoring in Southwest Asia. Sri Lanka: International Water Management Institute.

Tsakiris, G.; and Vangelis, H. ۲۰۰٤. Towards a drought watch system based on spatial SPI. *Water Resources Management*, ۱۸: ۱-۱۲.

Tucker, C. J. ۱۹۷۹. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. *Remote Sensing of the Environment*, ۸: ۱۲۷-۱٥۰.

Zhang, A.; & and Jia, G. ۲۰۱۳. Monitoring meteorological drought in semiarid regions using multi-sensor microwave remote sensing data. Remote Sensing of Environment, ۱۳٤: ۱۲۲۳.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2024-04-25]