

پایش خشکسالی کشاورزی استان مرکزی با استفاده از شاخص‌های PDSI و VHI

محمدحسین داودآبادی فراهانی^۱، علیرضا شریفی^{۲*}، مهدی عربی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور - دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
mohamad.davodabadi76@gmail.com

^۲ دانشیار گروه مهندسی نقشه‌برداری - دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
{a_sharifi, mahdi.a}@sru.ac.ir

(تاریخ دریافت اردیبهشت ۱۴۰۰، تاریخ تصویب دی ۱۴۰۰)

چکیده

خشکسالی از جمله بلاای طبیعی و ادامه‌ی آن در سطح وسیع باعث نابودی حیات می‌شود. این پدیده در علوم مختلف به چند دسته کشاورزی، هواشناسی، هیدرولوژی، توان طبیعی دسته بندی می‌شود. خشکسالی محصولات کشاورزی باعث آسیب زدن به اقتصاد، شرایط اجتماعی، محصولات کشاورزی و در نتیجه امنیت غذایی می‌شود لذا پایش آن امری ضروری است. امروزه برای بررسی خشکسالی کشاورزی از روش‌هایی همچون دورکاوی و استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در کنار داده‌های هواشناسی یا شاخص‌های خشکسالی استفاده می‌شود. در این تحقیق از داده‌های سنجنده‌ی مادیس ماهواره‌ی تراه، نقشه‌ی LST، شاخص NDVI و از داده‌های سنجنده‌ی سنتینل ۲، نقشه‌ی شاخص خشکسالی PDSI استان مرکزی در سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۸ تهیه می‌شود. میزان بارندگی از سنجنده‌ی هواشناسی GPM و میزان رطوبت سطح و زیر سطح خاک، از داده‌های سنجنده‌ی SMAP در بازه‌ی ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸ برای شهرستان‌های شازند، کمیجان و تفرش، به عنوان سه منطقه نمونه با شدت خشکسالی متفاوت جهت تحلیل شدت خشکسالی استخراج شد. پس از تهیه داده‌های مورد نیاز، از شاخص LST، شاخص TCI، از شاخص NDVI شاخص VCI و در نهایت با استفاده از شاخص VCI، TCI، شاخص VHI استان مرکزی در ۱۳۸۸، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۸، تهیه می‌شود. با استفاده از نقشه شاخص‌ها و مقادیر آنها می‌توان در سال‌های مختلف وضعیت پوشش گیاهی و محصولات کشاورزی به همراه شدت خشکسالی نقاط مختلف استان را مشاهده نمود. پس از تهیه نقشه شاخص‌ها، اثر تغییرات شاخص‌های LST و NDVI بر روی شاخص VHI و اثر شاخص VHI، SM، SSM و میزان بارش بر روی شاخص PDSI بررسی می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که شاخص VHI با شاخص LST رابطه‌ی معکوس و با شاخص NDVI و PDSI رابطه‌ی مستقیم دارد. براساس یافته‌ها جنوب غرب استان کمترین شدت خشکسالی و شرق استان بالاترین شدت خشکسالی را داشته است. در مقایسه با سایر پژوهش‌های انجام شده در این زمینه، در این تحقیق پایش شدت خشکسالی کشاورزی منطقه مطالعاتی با استفاده از شاخص خشکسالی PDSI انجام شده است.

واژگان کلیدی: پایش خشکسالی، سنجش‌ازدور، شاخص‌های طیفی، رطوبت خاک، بارندگی

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

خشکسالی یکی از ویژگی‌های طبیعی و تکراری آب و هوا می‌باشد. خشکسالی مکرر برای سال‌های متمادی نگران‌کننده است. در مقیاس جهانی، فرانکس، مدت و شدت خشکسالی‌ها به طور قابل توجهی در دهه‌های اخیر به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک افزایش یافته است [۱]. میزان خشکسالی براساس شدت و زمان به خشکسالی شدید، ضعیف، متوسط و طولانی و کوتاه مدت تقسیم می‌شود. معمولاً خشکسالی را در هر زمینه‌ای که از آن متأثر می‌شود تعریف می‌کنند. به طور کلی خشکسالی از نظر علت وقوع و تأثیرات آن به چهار دسته خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژی، کشاورزی و اقتصادی اجتماعی تقسیم می‌شود. به عبارت دیگر پژوهشگران مختلف از دیدگاه تخصصی به آن می‌نگرند. به عنوان نمونه هواشناسان عموماً خشکسالی را به عنوان دوره‌ای در نظر می‌گیرند که در طول آن بارش به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از میزانی باشد که به طور متعارف ریزش می‌کند، به این نوع خشکسالی، خشکسالی هواشناسی گفته می‌شود اما خشکسالی اقتصادی-اجتماعی در اثر کمبود بارش و اثرات آن در پیشی گرفتن تقاضای کالاهای وابسته به بارش بر عرضه آنها می‌باشد [۲]. خشکسالی به عنوان یک پدیده هواشناسی در مناطق مختلف با شدت متفاوتی رخ می‌دهد [۳]. خشکسالی اثرات مخرب زیادی مانند کاهش کیفیت آب و هوا، تخریب زمین، آتش سوزی جنگل‌ها، کاهش تولید محصولات کشاورزی ایجاد کرده است [۴].

کشاورزی در اکثر کشورها یکی از فعالیت‌های اساسی اقتصادی و تحت مخاطرات طبیعی از جمله سیل و خشکسالی می‌باشد. تعیین مناطق مستعد خشکسالی برای انتخاب محصولات وابسته به خشکسالی در مناطق حساس به آب و هوا ضروری است [۵]. خشکسالی کشاورزی به محصولات کشاورزی و مشاغل مرتبط بر آن، ذخایر غذایی و اقتصاد کشور آسیب می‌زند. خشکسالی هر ساله تعداد بیشتری از مردم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۸ بیش از ۷۰ واقعه خشکسالی در سراسر جهان گزارش شده است و حدود ۴۵۰ میلیون نفر در مناطق مستعد خشکسالی زندگی می‌کنند [۶]. علاوه بر این، خشکسالی به طور مستقیم و غیرمستقیم بر پایداری اجتماعی و اقتصادی تأثیر می‌گذارد. بنابراین با توجه به دلایل مطرح شده پایش خشکسالی کشاورزی الزامی است [۷].

ارزیابی خشکسالی را می‌توان از داده‌های سنجش از دور، که امکان استخراج خصوصیات بیوفیزیکی از سطح زمین را فراهم می‌کند، انجام داد. اندازه‌گیری‌های چندطیفی و فراطیفی از راه دور، منبع ضروری داده‌ها برای ارزیابی - خشکسالی و پوشش گیاهی است [۷ و ۸]. مسئله اساسی، پایش شدت خشکسالی استان مرکزی طی ۱۰ سال با استفاده از شاخص‌های خشکسالی سنجش از دوری می‌باشد. در اینجا سوالی مطرح می‌شود که از چه شاخصی برای پایش خشکسالی استان استفاده کرد و با چه داده و روشی می‌توان این شاخص را محاسبه کرد. چالش کار، انتخاب شاخص‌های مناسب برای پایش خشکسالی و تهیه نقشه این شاخص‌ها با استفاده از دورکاوی در بازه‌ی زمانی مورد نظر است.

یکی از روش‌های پایش خشکسالی، استفاده از داده‌های سنجش از دوری برای بدست آوردن شاخص‌های خشکسالی است. در این مقاله با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (Land NDVI(Normalized LST(Surface Temperture VHI(Vegetation Health Difference Vegetation) Index), PDSI(Palmer's Drought Index)d با استفاده از سنجنده‌های هواشناسی و اندازه‌گیری رطوبت، داده‌های بارش و رطوبت خاک بدست می‌آید و تغییرات آنها، ارتباط بایکدیگر به همراه اثرات آنها بر خشکسالی بررسی می‌شود. هدف از این تحقیق بررسی خشکسالی کشاورزی استان مرکزی با بررسی نتایج تخمین شدت خشکسالی شهرستان‌های شازند، کمیجان و تفرش در بازه‌ی زمانی ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸ است تا شدت و تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی مشخص شود. در پژوهش‌هایی که بررسی شدند پایش شدت خشکسالی با شاخص‌های گیاهی و بارش انجام شده است اما در هیچ مورد از شاخص PDSI استفاده نشده است بنابراین در این مقاله با استفاده از این شاخص پایش شدت خشکسالی استان مرکزی طی ۱۰ سال را انجام می‌دهیم و نتایج شاخص‌های خشکسالی در شازند، کمیجان و تفرش را به عنوان نمونه‌ای از مناطق با شدت خشکسالی متفاوت جدا از سایر نقاط استان با یکدیگر مقایسه و تحلیل می‌کنیم.

۲- پیشینه‌ی پژوهش

خشکسالی یک فاجعه زیست محیطی بزرگ در بسیاری از نقاط جهان است. اطلاعات در مورد زمان، شدت خشکسالی می‌تواند به برنامه ریزی و تصمیم‌گیری کمک کند. شاخص‌های خشکسالی به‌دست‌آمده از داده‌های

برای پایش خشکسالی استان آذربایجان شرقی از شاخص VCI حاصل از NDVI که از باندهای ۱۳ و ۱۶ تصاویر مادیس^۳(۲۰۰۰-۲۰۱۱) محاسبه شده، استفاده کردند. برای ارزیابی نتایج از شاخص SPI حاصل از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک استفاده کردند. بر اساس نتایج VCI، در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۱، ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ خشکسالی شدید و در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۰ شدت خشکسالی پایین بوده است. همچنین بر اساس نتایج SPI در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ شدت خشکسالی بالا و در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۰ شدت خشکسالی پایین بوده است. بنابراین شاخص VCI به جز نقاطی که ایستگاه‌های هواشناسی پراکنده هستند برای پایش خشکسالی مناسب است [۱۱].

طی دهه‌های گذشته، خشکسالی‌های متعدد تأثیر قابل توجهی بر امنیت غذایی بسیاری از مناطق داشته است. در سال‌های اخیر رویکرد ریسک محور برای مدیریت بلایا اتخاذ شده است. برای ارزیابی خطر خشکسالی، باید نقشه‌های خطر تهیه شوند. خطر خشکسالی تابعی از دو استدلال احتمال خطر و آسیب پذیری است. اسکاگون^۴ و همکاران(2015) از روش EVT^۵ و سری زمانی شاخص VHI، نقشه خطر خشکسالی برای شرکت‌های بیمه کشاورزی تهیه کردند. برای مدل سازی VHI از یک مدل عمومی استفاده کردند. روش پیشنهادی برای ارزیابی کمی خطر خشکسالی کیف اوکراین اجرا و نقشه‌های بدست آمده نشان دادند که امکان شناسایی مناطق با خطر خشکسالی بالاتر وجود دارد [۱۲]. خشکسالی در بسیاری از نقاط جهان خسارات و خسارات سنگینی به همراه دارد. شدت خشکسالی مربوط به یک منطقه اقلیمی خاص و وضعیت محلی تعادل انرژی و آب است. پرویز(۲۰۱۶) از Enhanced (Vegetation Temperature, EVI (Vegetation Index) Normalized) NVSWI، TCI, Condition Index) VTCI (Vegetation Supply Water Index)، VCI، استفاده کرد. تجزیه و تحلیل خطی نشان داد که شاخص‌های گیاهی و دما از کارایی بیشتری دارند. همچنین بررسی شاخص‌های خشکسالی با استفاده از معیارهای مختلف نشان دهنده عملکرد بالای NVSWI، TCI، VHI و روش TVX بود. این شاخص‌ها با یکدیگر همبستگی بالایی داشتند بنابراین

هواشناسی در موقعیت، دارای تفکیک مکانی و زمانی پایین هستند، بنابراین، دستیابی به شرایط خشکسالی یک منطقه بزرگ در زمان واقعی دشوار است. زارعی و همکاران(۲۰۱۳) تأثیر داده‌های NOAA-AVHRR با تفکیک مکانی بالا، در پایش خشکسالی ایران بین ۱۹۹۷-۲۰۰۵ را ارزیابی کردند. نقشه‌های حداکثر ۱۰ روزه شاخص‌های مختلف NDVI، شاخص VCI (Vegetation Condition Index)، VHI و شاخص TCI (Temperture Condition Index) در این بازه تهیه شدند. برای محاسبه (Standard Pricepitation Index) SPI به عنوان شاخص خشکسالی هواشناسی، داده‌های بارش ایستگاه هواشناسی جمع آوری شد. تحلیل و تفسیر این نقشه‌ها نشان داد به طور کلی میزان شاخص‌های خشکسالی بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای و SPI یکدیگر را تأیید می‌کنند. همچنین TCI و VHI در سال‌های خشک، نرمال و مرطوب همبستگی بالایی دارند [9]. خشکسالی به عنوان یکی از مخاطرات طبیعی با تأثیرات قابل توجه بر پایداری کشاورزی، محیط زیست، جامعه و اقتصاد محسوب می‌شود و ممکن است منجر به تخریب محیط زیست یک منطقه شود که یکی از عوامل آسیب پذیری کشاورزی است. دالزیوس^۱ و همکاران(۲۰۱۴) خطر خشکسالی کشاورزی یونان را با استفاده از شاخص VHI حاصل شده از NDVI و داده‌های دمای تصاویر NOAA/AVHRR از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۱ بررسی کردند و توانستند مکان و شدت خشکسالی را تعیین کنند. آنها از طریق برازش دو منحنی توابع پلی نومیال^۲ به کلاس‌ها با شدت پایین و بالای خشکسالی به صورت ماهانه، شدت خشکسالی را پیش بینی و ابزاری برای هشدار سریع خشکسالی فراهم کردند. در نهایت به این نتیجه رسیدند که داده‌ها و روش‌های استفاده شده برای پایش خشکسالی مؤثر بوده و میزان خشکسالی در فصول گرم افزایش داشته است [۱۰]. از آنجا که خشکسالی تأثیر قابل توجهی بر بخش کشاورزی و اقتصاد دارد، زندگی ساکنان محلی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با استفاده از سنجش از دور می‌توان خشکسالی را از طریق اثرات آن بر گیاهان و کشاورزی بررسی کرد و نتایج دقیق و مؤثرتری برای مدلسازی خشکسالی بدست آورد. رضایی مقدم و همکاران(۲۰۱۴)

^۳ MODIS
^۴ Skakun
^۵ Extereme Value Theory

^۱ Dalezios
^۲ Polynomial

استفاده از یکی از آنها برای پایش خشکسالی مناسب است [۱۳]. خشکسالی یک وضعیت اقلیمی است که تقریباً بر تمام مناطق آب و هوایی در سراسر جهان تأثیر می‌گذارد. همانطور که پیش‌تر گفته شد کشاورزی بیشتر تحت تأثیر خشکسالی قرار گرفته است. انتظار می‌رود که گرم شدن زمین باعث افزایش فراوانی و شدت خشکسالی در قرن بیست و یکم شود. ایساوهمکاران (2016) خشکسالی کشاورزی تحت تغییرات آب و هوایی را ارزیابی کردند. آنها انطباق بین دو شاخص SPEI (Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index) و VHI طی فصول مختلف از ۲۰۰۰/۱ تا ۲۰۱۱ طی را بررسی و تأثیر تغییرات اقلیم بر خشکسالی را با استفاده از داده‌های آب و هوا مدل GCM^۲ از ۲۰۱۰ تا ۲۰۵۰ ارزیابی کردند. نتایج نشان دادند VHI و SPEI در چهار فصل منطبق هستند و هر دو شدت خشکسالی را در این فصول تشخیص دادند [۱۴].

اثرات خشکسالی آرام و در مناطق خشک و نیمه خشک به دلیل بارش سالانه کمتر، بیشتر است. دماوندی و همکاران (۱۳۹۵) از تصاویر مادیس ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳ و محصولات LST و NDVI آن، شاخص VTCI را محاسبه کردند. باتوجه به همبستگی بین LST و NDVI در لبه‌ی سرد و گرم (دمای پایین و بالا) عملکرد شاخص VTCI در برآورد شدت خشکسالی در فصول گرم و سرد ارزیابی شد. براساس نتایج رگرسیون، برای لبه‌ی گرم $R^2=0.86$ و برای لبه‌ی سرد $R^2=0.79$ بود. در نهایت نقشه‌ی VTCI و شدت خشکسالی در پنج کلاس (ضعیف تا شدید) تهیه شد. نتایج نشان دادند که بیشترین مساحت خشکسالی مربوط به کلاس متوسط و کمترین درصد مربوط به کلاس مرطوب بوده است. همچنین سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۰ دارای بیشترین درصد از کلاس خشکسالی شدید و مرطوب بوده‌اند [۱۵]. در برخی از مناطق مانند اندونزی به ویژه در سوبانگ و کاراوانگ به عنوان مراکز ملی تولید برنج، نظارت بر خشکسالی کشاورزی به منظور حفظ امنیت غذایی، بسیار مهم است. شولیه^۳ و همکاران (۲۰۱۶) برای نظارت بر خشکسالی در سوبانگ^۴ و کاراوانگ^۵ اندونزی با

مساحت ۱۸۴/۴۸۶ هکتار، از تصاویر سال‌های ۲۰۰۵، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵، ۲۰۰۰ لندست^۶ LST و NDVI را استخراج و با استفاده از آنها شاخص‌های VCI, TCI و با استفاده از این شاخص‌ها VHI را محاسبه کردند. بر اساس نتایج، مقادیر شاخص VHI از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ در بیشتر از ۵۰ درصد مساحت زمین (از مساحت ۳۰/۸۶ هکتار به ۱۴/۶۶ هکتار) کاهش داشته است. به علاوه شدت خشکسالی به همراه تغییرات LST از ۲۷ درجه‌ی سانتی‌گراد به ۴۰ درجه سانتی‌گراد (۲۰۰۰-۲۰۱۵) تغییر کرده است [۱۶]. با توجه به تغییرات اقلیم و کاهش بارندگی در دهه اخیر، خشکسالی به یک مشکل بزرگ به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک از قبیل ایران تبدیل شده است. از این رو پایش آن امری مهم می‌باشد. در مقابل روش‌های سنتی که مبتنی بر مشاهدات ایستگاه-های هواشناسی هستند و بیشتر به بررسی خشکسالی هواشناسی می‌پردازند، استفاده از تکنیک سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای 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. حمزه و همکاران (۱۳۹۶) شاخص‌های خشکسالی شامل: VTCI, TCI, NDVI,

TDVI (Transformed Differenced Vegetation Index) و SWI (Soil Water Index) را با استفاده از داده‌های مادیس (۲۰۱۳-۲۰۰۰) در مقیاس زمانی فصلی و شش ماهه بدست آوردند. نتایج حاصل از این شاخص‌ها را با مقادیر شاخص SPI مقایسه کردند. نتایج نشان دادند که محدوده مطالعاتی به طور کلی از پوشش گیاهی متوسط تا کم برخوردار است. بر مبنای محاسبه‌های انجام شده شرایط اقلیمی محدوده با نتایج حاصل از شاخص 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 کارگیری شاخص VCI، نشان دهنده خشکسالی در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ و ترسالی در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ در منطقه

^۱ Essa

^۲ General Circulation Model

^۳ Sholihah

^۴ Subang

^۵ Karawang

^۶ Landsat

بنگلادش از LST, NDVI و EVI تصاویر مادیس ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ شاخص VCI و TCI و از این شاخص‌ها، شاخص VHI را بدست آوردند. بر این اساس نقشه VHI یا شدت خشکسالی در چند درجه شدت (کلاس‌های پایین، متوسط و بالا) تهیه شد که بیشترین شدت مربوط به سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۳ بود. براساس نتایج در رنگپور^۴ و سیلت^۵ سطح خشکسالی بیشتر بوده است [۲۰]. تبخیر ناشی از تغییر اقلیم یا تغییر دما و بارش، به افزایش گسترده شدت خشکسالی کمک کرده است. بنتو^۶ و همکاران (۲۰۱۸) برای ارزیابی خشکسالی از شاخص VHI استفاده کردند. این شاخص حاصل از VCI، NDVI و TCI است که در بازه زمانی ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۹ در بخشی از مدیترانه استفاده شدند. برای ارزیابی اثر خشکسالی همبستگی این شاخص‌ها با شاخص SPEI بررسی شد. نتایج همبستگی بین VCI-SPEI و TCI-SPEI نشان دادند که با به حداکثر رساندن همبستگی بین VHI و SPEI، طی یک دوره اقلیمی، می‌توان نقش نسبی VCI و TCI به VHI را در مناطق مختلف آب و هوایی ارزیابی کرد [۲۱].

مشکل کمبود آب چندین بخش از جهان به ویژه مناطق نیمه خشک مانند مدیترانه را درگیر کرده است. در واقع، کمبود آب در حال حاضر نتیجه وجود دوره‌های خشکسالی طولانی‌مدت ناشی از تغییرات اقلیمی و استفاده بیش از حد آب می‌باشد. دالزیوس و همکاران (۲۰۱۸) از ترکیب دو شاخص خشکسالی (RDI Respiratory Drought Index) و VHI برای پایش خشکسالی کشاورزی استفاده کردند. نتایج ۲۰ ساله RDI نشان داد که ۸ دوره ۱۲ ماهه خشکسالی وجود دارد. خشکسالی در سال هیدرولوژی از اوایل بهار شروع و تا پایان سال هیدرولوژی ادامه می‌یابد. به علاوه در فصل تابستان شدت خشکسالی افزایش می‌یابد. علاوه بر این نتیجه گرفتند که با استفاده از این شاخص‌ها می‌توان خشکسالی را پایش کرد [۲۲]. خشکسالی در جنوب و شرق کشورهای آفریقایی باعث افزایش دمای سطح و تنش در رطوبت خاک می‌شود. در نتیجه، خشکسالی‌های هواشناسی و کشاورزی در اکثر بخش‌های این قاره (به عنوان مثال، اتیوپی، سومالی، سودان جنوبی، کنیا، تانزانیا، زیمبابوه، آفریقای جنوبی و غیره) تشدید می‌شود. جی

می‌باشد [۱۷]. سنجش از دور برای نظارت بر اثرات خشکسالی هواشناسی بر اکوسیستم‌ها نیز استفاده می‌شود، اما در مقیاس بزرگ به ندرت از مقیاس زمانی پایش خشکسالی محصولات موجود است. اندوجار^۱ و همکاران (۲۰۱۷) برای بررسی خشکسالی از شاخص‌های خشکسالی VHI, VCI, TCI حاصل از LST, NDVI در کنار شاخص بارش SPEI استفاده کردند و برای ارزیابی آنها و انتخاب شاخص مناسب همبستگی SPEI و شاخص‌ها را بررسی کردند. براساس نتایج، VHI بالاترین همبستگی را با SPEI در مقیاس زمانی (۱۳ ماه) داشت. بعد از آن TCI چهار ماه و VCI دو ماه با SPEI همبستگی داشتند. بنابراین VHI مناسب‌ترین شاخص برای نظارت بر اثر خشکسالی-های طولانی باشد [۱۸].

مشتقات آب و هوا به عنوان ابزار مدیریت ریسک کشاورزی در نظر گرفته می‌شوند. شاخص‌های هواشناسی مبتنی بر ایستگاه‌ها معمولاً داده‌های زیربنایی این ابزارها را ارائه می‌دهند. با این حال، نقص اصلی این مشتقات آب و هوایی، همبستگی پایین بین شاخص آب و هوا و عملکرد محصول است که به آن ریسک پایه می‌گویند. مولمان^۲ و همکاران (۲۰۱۸) از شاخص‌های VHI, VCI, TCI به عنوان مشتقات آب و هوا و از دما و بارش به عنوان دو شاخص هواشناسی برای مدیریت خشکسالی کشاورزی در شمال شرق آلمان استفاده کردند. برای تعیین شاخص-های مناسب، همبستگی و دوره زمانی بالاترین همبستگی با محصولات زمستانی ادغام شدند. بر اساس نتایج VCI و VHI این شاخص‌ها برای کاهش خطر خشکسالی مؤثر هستند. علاوه بر این VHI بالاترین میزان همبستگی با محصولات زمستانی را دارد پس بهترین شاخص خشکسالی می‌باشد. به ویژه در مناطقی که ایستگاه‌های هواشناسی پراکنده هستند [۱۹]. خشکسالی کشاورزی ناشی از کمبود رطوبت خاک نسبت به حد مورد نیاز برای رشد مناسب گیاهان در مراحل مختلف رشد می‌باشد و در نتیجه باعث تنش و کاهش عملکرد محصول می‌شود. در بنگلادش، نرخ گرمایش به سرعت در حال افزایش و انتظار می‌رود این روند طی چند دهه آینده ادامه یابد. کامروزمان^۳ و همکاران (2018) برای ارزیابی خشکسالی

^۴ Rangpur
^۵ Sylhet
^۶ Bento

^۱ Andujar
^۲ Möllmann
^۳ Kamruzzaman

دی^۱ و همکاران (2018) رابطه بین LST و NDVI، شاخص VHI، TCI، VCI و شاخص SPI در مقیاس زمانی ۳ ماهه در رایا^۲ و حومه آن در شمال اتیوپی مدل سازی کردند و به این نتیجه رسیدند که این شاخص‌ها با یکدیگر در ارتباط هستند. در این تحقیق از MOD11A2 LST Terra، eMODIS NDVI و داده‌های بارش ماهانه تصاویر ماهواره-ای و اندازه‌گیری‌های زمینی استفاده کردند. با استفاده از رگرسیون خطی بین این شاخص‌ها ارتباط بین آنها را نشان دادند. بر این اساس LST، NDVI، رابطه معکوس دارند و در زمین‌های پست به شرایط رطوبت وابسته هستند. همچنین VCI با TCI و SPI با VHI رابطه مستقیم دارند. در نهایت به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های SPI و VHI برای پیش خشکسالی کشاورزی و هواشناسی مناسب هستند [۲۳]. شاخ آفریقا از جمله جیبوتی، اریتره، اتیوپی و سومالی در سال‌های گذشته تحت تأثیر خشکسالی شدید قرار گرفته و به یکی از ناامن‌ترین مناطق جهان از نظر غذایی تبدیل شده است و میلیون‌ها نفر در معرض خطر قحطی قرار دارند. در همین حال، تغییرات آب و هوای جهانی همچنان باعث ایجاد خشکسالی و امواج گرما می‌شود که تأثیرات قابل توجهی بر تولید محصول و امنیت غذایی دارد. کارولین^۳ و همکاران (2019) برای بررسی خشکسالی شدید در شاخ آفریقا، از داده بارشی ماهواره TRMM و شاخص NDVI، شاخص VCI و شاخص VHI مادیس (بین ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷) استفاده و روند زمانی پوشش گیاهی و اثرات خشکسالی را تحلیل کردند. براساس نتایج از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷، میانگین VHI و TCI به طور قابل توجهی کاهش یافته است. علاوه بر این، ناهنجاری‌های ماهانه VHI با ناهنجاری‌های ماهانه بارندگی ارتباط زیادی داشتند [۲۴].

در بین شاخص‌های خشکسالی، شاخص SPI به علت کارایی و دقت نسبتاً بالا و در عین حال محاسبه راحت تر در مقایسه با شاخص‌های دیگر، در بین اقلیم شناسان و جغرافیدانان محبوبیت زیادی دارد. در همین راستا پورخسروانی و همکاران (۲۰۱۹) خشکسالی حوضه دشت خاتون آباد را با استفاده از شاخص SPI مورد ارزیابی قرار دادند. در این مقاله، داده‌های بارش ماهانه در دوره زمانی ۱۸

ساله از ۴ ایستگاه پیرامون منطقه مورد نظر (رفسنجان، سیرجان، شهربابک و انار) برداشت و در نرم افزار عدد شاخص SPI برای تمامی سال‌ها محاسبه شد، سپس برای ۶ سال به عنوان سال‌های نمونه به دلیل اختلاف زیاد بارش، نقشه شاخص به وسیله مدل درونیایی IDW رسم شد. نتایج نشان می‌دهند که منطقه مورد مطالعه در سال ۱۳۸۷ دچار خشکسالی نسبتاً شدیدی شد تا جایی که بیش از ۳۳٪ مساحت منطقه در طبقه خشکسالی شدید و ۶۵٪ آن در طبقه خشکسالی متوسط قرار داشت. از آن سو در سال ۱۳۹۲ منطقه دچار ترسالی شدیدی شد که نزدیک ۶۱٪ مساحت دشت خاتون آباد ترسالی متوسط و ۳۸٪ ترسالی ملایم را تجربه کردند. همچنین دشت خاتون آباد در سال ۱۳۸۱ از دید شاخص SPI سال کاملاً نرمال و بیش از نیمی از مساحت دشت بارش نزدیک به استاندارد را داشته است [۲۵]. خشکسالی کشاورزی به عنوان بلایایی طبقه بندی می‌شود که می‌تواند اقتصاد و جامعه در ابعاد منطقه‌ای تا ملی را تخریب کند. به عنوان مثال، در نیجر، خشکسالی ۲۰۰۴ کسری غلات ۲۱ درصدی، سال ۲۰۰۹ کسری غلات ۱۲ درصد و خشکسالی ۲۰۱۱ کسری ۱۸ درصد ایجاد کرد. بادامسی^۴ و همکاران (2019) برای پیش خشکسالی کشاورزی نیجر بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ در ماه‌های جون^۵ تا اکتبر^۶ از شاخص خشکسالی کشاورزی (Agricultural Drought Condition Index) ADCI استفاده کردند. این شاخص با ترکیب شاخص‌های PCI (Precipitation Condition Index)، ETCI (Enhanced Temperature Condition Index)، TCI، VCI محاسبه می‌شود. این شاخص با محصولات کشاورزی همبستگی دارد که مقایسه‌ای بین نتایج ADCI و عملکرد محصول این موضوع را نشان می‌دهد. علاوه، ADCI به شدت با شاخص VHI همبستگی دارد اما بهتر از این شاخص پیش خشکسالی را انجام می‌دهد [۲۶]. مطالعه مکانی و زمانی توزیع الگوی خشکسالی برای پیشگیری و کاهش بلایا اهمیت زیادی دارد. در جاوا^۷ شرقی به عنوان مرکز ملی تولید محصولات کشاورزی اندونزی، ارزیابی خشکسالی کشاورزی برای پیش پایداری کشاورزی، به اهمیت دارد. کیرانا^۸ و همکاران (2020) خشکسالی کشاورزی

۴ Badamassi

۵ June

۶ October

۷ Java

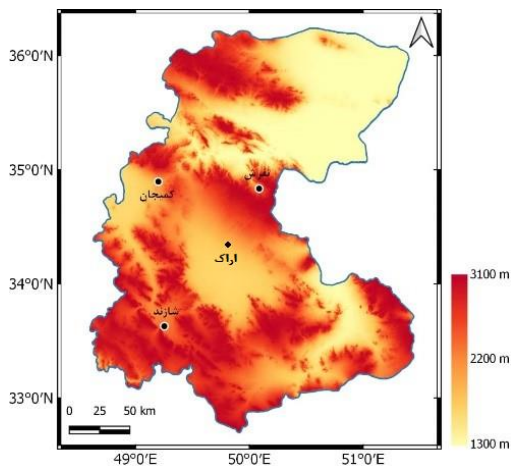
۸ Korrana

۱ Gidey

۲ Raya

۳ Carolyn

هوایی خشک و کوهستانی است و جزء استان‌های نسبتاً کم بارش کشور به شمار می‌رود. براساس آمار میزان بارش استان از مهرماه ۱۳۹۹ تا بهمن ماه ۱۲۲/۲ میلی متر بوده است. در بسیاری از مناطق استان شغل بیشتر ساکنان کشاورزی و ۶۷۰ هزار هکتار اراضی باغی و کشاورزی در استان وجود دارد. در سال ۱۳۹۹، میزان محصولات باغی، نیم میلیون و گندم ۴۵۴ هزار تن بوده است.



شکل ۱- نقشه DEM استان مرکزی، نشان دهنده‌ی میزان ارتفاع در نقاط مختلف استان

عمده محصولات کشاورزی به تفکیک شهرستان در این استان: انار در ساوه، پسته در زرندیه، محصولات دیمی و سیب زمینی در فراهان، گردو و بادام در شهر تفرش، لوبیا، بادام، گندم و جو در کمیجان، لوبیا در خمین، گیاهان زینتی در محلات، لوبیا، انگور و صیفی جات در شازند، انگور، گوجه و محصولات باغی در خنداب، ذرت، گندم در توابع اراک است. باتوجه به اثراتی که خشکسالی در محصولات کشاورزی و وضعیت اقتصادی و اجتماعی کشاورزان دارد، پایش خشکسالی کشاورزی در این استان اهمیت زیادی دارد. وضعیت خشکسالی و تغییرات آن در سه شهرستان شازند، کمیجان و تفرش به عنوان نمونه سه وضعیت شدید، متوسط و ضعیف خشکسالی مورد مطالعه قرار گرفته است.

۳-۲- داده‌ها

در این کار از تصاویر نوری مادیس و سنتینل ۲ برای استخراج NDVI، LST، و PDSI استفاده شده است. این تصاویر دارای تفکیک طیفی و مکانی مناسب این کار بوده

° Digital Elevation Model
 ۶ Sentinel2

جاوا شرقی را با استفاده از شاخص VHI ارزیابی کردند. شاخص TCI از داده‌های LST مادیس و شاخص VCI از EVI داده‌های مادیس و شاخص VHI از TCI و VCI محاسبه شد. نتیجه نشان داد که عمده مناطق با خشکسالی متوسط روبرو شده‌اند و مگتان^۱ و گرسیک^۲ بالاترین شدت خشکسالی را داشتند. همچنین بین ماه‌های سپتامبر^۳ تا اکتبر که ماه‌های خشک سال هستند شدت خشکسالی افزایش و ۶۳/۱۳ درصد مساحت منطقه را در بر گرفته است [۲۷]. نوبی و همکاران (۲۰۲۱) خشکسالی کشاورزی حوضه آبریز دریاچه ارومیه را با استفاده از سنجده مادیس و شاخص‌های سنجش از دور پوشش گیاهی VCI، VHI، TCI طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۰ انجام داد پایش کردند. بدین منظور ابتدا شاخص NDVI از تصاویر مادیس طی ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور محاسبه گردید. سپس با مقایسه میانگین این شاخص طی ماه‌های مذکور، ماه شهریور با بیشینه مقدار به عنوان ماه معرف خشکسالی انتخاب شد. با توجه به حداقل و حداکثر شاخص NDVI در ماه شهریور سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۷، نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص‌های خشکسالی VCI، VHI، TCI تهیه شدند. در ادامه برای بررسی عملکرد شاخص‌های خشکسالی کشاورزی مقادیر ضریب همبستگی VCI، VHI و TCI با شاخص هواشناسی SPI محاسبه شد. نتایج نشان داد که شاخص سنجش از دور از دقت خوبی در برآورد پراکندگی مکانی و زمانی خشکسالی کشاورزی برخوردار است، به طوری که ضریب همبستگی بین شاخص VHI و SPI برابر ۰/۸۶ بدست آمد که نشان‌دهنده تطابق این شاخص‌ها با یکدیگر می‌باشد [۲۸].

۳- مواد و روش پژوهش

۳-۱- منطقه‌ی مطالعاتی

استان مرکزی در نیمه‌ی غربی کشور و در همسایگی استان‌های تهران و قم در شرق، لرستان و اصفهان در جنوب، همدان در غرب و البرز و قزوین در شمال می‌باشد (شکل ۱). این استان در طول جغرافیایی ۳۴^۰ شمالی و در عرض جغرافیایی ۴۹^۰ شرقی در زون^۴ ۳۹ قرار گرفته و مساحتی معادل ۲۹۵۳۰ کیلومتر مربع دارد. استان مرکزی دارای آب و

۱ Magetan
 ۲ Gresik
 ۳ Septambr
 ۴ Zone

در صورتی که مقادیر این شاخص کمتر از ۰/۱ باشد خشکسالی خیلی شدید، بین ۰/۱ تا ۰/۲ شدید، از ۰/۲ تا ۰/۳ متوسط و اگر بالاتر از ۰/۴ باشد، ترسالی خواهیم داشت. شاخص VCI به شاخص NDVI وابسته و زمانی که NDVI حداقل باشد، برابر صفرو حداکثر برابر یک می باشد که شرایط مناسب پوشش گیاهی را نشان می دهد. شاخص TCI نیز وابسته به دما است که در بالاترین دما، پایین ترین مقدار آن صفر و در حداقل دما، بالاترین مقدار آن یک می باشد. شاخص VHI و شاخص های ذکر شده با فرمول های زیر تعریف می شوند [۱۶]:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

$$VCI = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} * 100 \quad (2)$$

$$TCI = \frac{T_{max} - T_{min}}{LST_{max} - LST_{min}} * 100 \quad \text{یا} \quad TCI = \frac{T_{max} - T_{min}}{LST_{max} - LST_{min}} * 100 \quad (3)$$

$$VHI = \alpha * VCI + (1 - \alpha) * TCI \quad (4)$$

شاخص NDVI می تواند یک شاخص مفید برای پوشش گیاهی و اکوسیستم محیط های نیمه خشک باشد [30]. شاخص NDVI در بهترین حالت ۱ و در پایین ترین پوشش گیاهی صفر است. در روابط بالا NIR (۸۴۶-۸۸۵ نانومتر) باند ۲، Red (۶۰۰-۶۸۰ نانومتر) باند ۱ است. $NDVI_{min}$ و $NDVI_{max}$ به ترتیب حداکثر و حداقل NDVI و T_{min} و T_{max} حداکثر و حداقل دمای مطلق چند ساله هستند. α وزنی برای اندازه گیری سهم VCI و TCI در ارزیابی وضعیت خشکسالی است که تشخیص آن دشوار می باشد، بنابراین به طور کلی ۰/۵ تعیین می شود [۱].

باتوجه به روابط بالا، برای رسیدن به VCI از NDVI و برای TCI به LST تصاویر مادیس نیاز است. LST به معنای یک وضعیت انعطاف پذیر سطح با استخراج گرما و خواص حرارتی است و به عنوان شاخص اصلی تغییرات فیزیکی سطح زمین، محصولات و پوشش گیاهی، مورد توجه قرار می گیرد. LST به عنوان شاخص اصلی میزان انرژی موجود در جو و زمین در محاسبه خشکسالی استفاده می شود [۳۰]. برای استان مرکزی در سه بازه زمانی ۱۳۸۸، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۸ با استفاده از تصاویر سنجنده مادیس در نرم افزار، شاخص NDVI به

و باندهای آن ها برای اندازه گیری دمای سطح و پوشش گیاهی مناسب می باشند. سنجنده مادیس ماهواره تر ۱ در استخراج LST (باندهای ۳۱ و ۳۲) و پوشش گیاهی کاربرد دارد و به همین دلیل از آن استفاده می کنیم. دقت اندازه گیری دما برای این سنجنده بین 0/2 درجه ی کلون (در اقیانوس ها) تا ۱ درجه ی کلون (در روی زمین) متغیر است. عرض برداشت این سنجنده ۲۳۳۰ کیلومتر و توان تفکیک مکانی برای باند ۱-۲، ۲۵۰ متر، باند ۳-۷، ۵۰۰ متر و باند ۳۶-۸، ۱۰۰۰ متر می باشد. این باندها در چهار بخش مرئی، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز کوتاه و بلند هستند [۲۹].

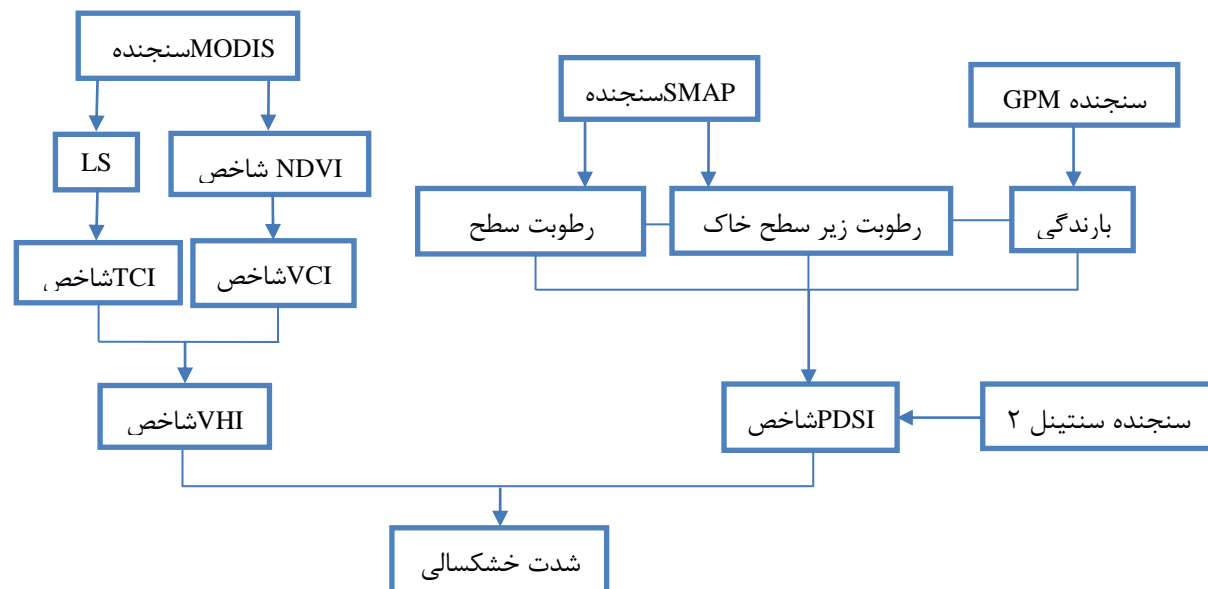
سنجنده سنتینل ۲ دارای باندهای آبی، سبز، ساحلی، سه باند در لبه ی قرمز، SWIR1, SWIR2, NIR, Watter, vap Cirus با توان تفکیک مکانی ۶۰/۲۰/۱۰، بازدید مجدد ۱۰ روز و عرض برداشت ۲۹۰ کیلومتری باشد. ماهواره GPM برای اندازه گیری بارش به ویژه در نواحی گرمسیری استفاده می شود و برای اندازه گیری دقیق به صورت وسیع، از طیف سنج مایکروویو استفاده می کند. GMI سنجنده غیرفعال و DPR سنجنده فعال این ماهواره هستند که سنجنده DPR باند Ka، توان تفکیک قائم ۵ کیلومتر، تفکیک برد ۵۰۰/۲۵۰ و عرض برداشت ۱۲۰ کیلومتر و DPR باند Ku، عرض برداشت ۲۴۵ کیلومتر و تفکیک درجهت برد ۲۵۰ متر دارد [۲۹].

ماهواره SMAP برای اندازه گیری رطوبت خاک استفاده می شود. توان تفکیک مکانی آن ۳ کیلومتر و توان تفکیک زمانی آن ۸ روز است. این ماهواره یک سنجنده آنتن مصنوعی باند L با کانال های پلاریزه افقی-افقی، عمودی-عمودی، افقی-عمودی با دقت دسیبل و توان تفکیک ۳ کیلومتر به قطر روزنه ۶ متر و یک طیف سنج مایکروویو باند L با دو کانال افقی، عمودی، تفکیک ۴۰ کیلومتر و قطر روزنه ۶ متر دارد [۲۹].

۳-۳- روش پژوهش

در این تحقیق از شاخص سلامت پوشش گیاهی VHI (ترکیبی از VCI و TCI) برای پایش خشکسالی استفاده شده است. هرچه مقادیر این شاخص بالاتر باشد پوشش گیاهی بهتر و شدت خشکسالی پایین تر خواهد بود.

در روابط بالا ضرایب a ، b ، a' و b' با استفاده از شرایط منطقه مطالعاتی تخمین زده می‌شود [۳۱]. شاخص VHI با ترکیب دو شاخص VCI و TCI در سه بازه‌ی زمانی ۱۳۸۸، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۸ بدست می‌آید. پس از آن مقادیر و تغییرات این شاخص در نقاط مختلف استان مرکزی قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۲).



شکل ۲- رویکرد کلی پژوهش

آنها بر شاخص PDSI، جهت ارزیابی بیشتر، این شاخص باید با داده‌های بارش، رطوبت خاک استان در این بازه‌ی زمانی مقایسه می‌شود. پس از انجام این مقایسه می‌توان تأثیر داده‌های بارش و رطوبت خاک در خشکسالی استان بدست آورد. برای بدست آوردن تغییرات شدت خشکسالی، نقشه تفاضل شاخص PDSI سال ۱۳۸۸ از ۱۳۹۳، ۱۳۹۳ از ۱۳۹۸ و ۱۳۸۸ از ۱۳۹۸ در نرم افزار تهیه می‌شود. به این ترتیب تغییرات ۵ ساله و ۱۰ ساله شدت خشکسالی در استان مرکزی، مشخص می‌شود.

۴- شرح و تفسیر نتایج

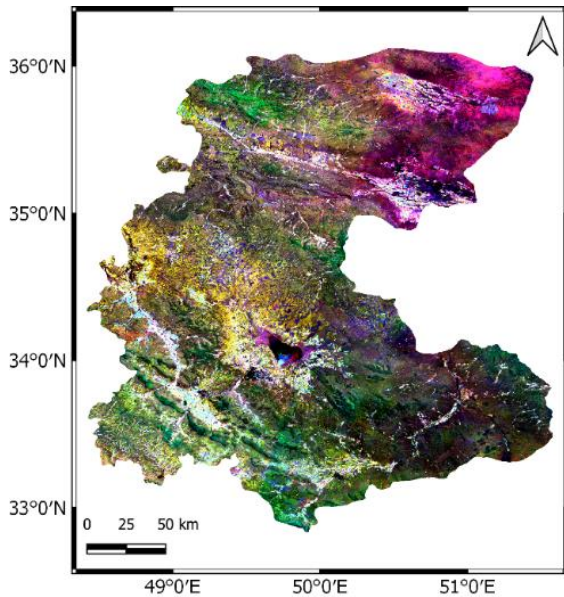
در ابتدا برای درک وضعیت پوشش گیاهی استان، یک نقشه‌ی ترکیب باند کاذب داده‌های سنتینل ۲ در خرداد ماه سال ۹۹ برای استان مرکزی تهیه شده است. در این نقشه مناطقی که پوشش گیاهی بیشتر دارند به رنگ قرمز دیده می‌شوند (شکل ۳). با توجه به این نقشه در خرداد، جنوب غرب استان به ویژه شازند و خمین، بیشتر نقاط

همراه LST تهیه می‌شود. با استفاده از این محصولات می‌توان مقادیر و تغییرات آنها را در بازه‌ی زمانی مورد نظر مشاهده کرد. ارتباط بین NDVI و LST را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$LST_{max}(NDVI_i) = a + b \cdot NDVI_i \quad (5)$$

$$LST_{min}(NDVI_i) = a' + b' \cdot NDVI_i \quad (6)$$

خشکسالی می‌تواند با شاخص‌های هواشناسی مانند شاخص پالمر هم ارزیابی شود [۳۲]. بنابراین دیگر شاخص استفاده شده در این تحقیق، شاخص PDSI است. این شاخص مقادیری بین -۵ تا +۵ دارد. هرچه مقادیر این شاخص کمتر باشد، شدت خشکسالی بیشتر خواهد بود و بالعکس. بنابراین در -۵ خشکسالی شدید و در +۵ خشکسالی وجود ندارد. با استفاده از تصاویر سنتینل ۲، نقشه‌های PDSI ۱۳۸۸، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۸ استان مرکزی با استفاده از نرم افزار تهیه می‌شود. این نقشه‌ها شدت خشکسالی نقاط مختلف استان را نشان می‌دهند. این نقشه با نقشه‌ی شاخص‌های NDVI، VHI و LST مقایسه می‌شود تا اثر هر یک از شاخص‌ها بر خشکسالی منطقه مطالعاتی مشخص شود. این شاخص وابسته به دما، رطوبت خاک و بارندگی نیز می‌باشد. بنابراین به داده‌های بارش، رطوبت سطح و زیرسطح خاک در استان مرکزی طی زمان مطالعه نیازمند هستیم. این داده‌ها نیز از سنجنده‌های هواشناسی و اندازه گیری رطوبت خاک بدست آمده است. علاوه بر مقایسه شاخص PDSI با شاخص VHI، برای بررسی اثرات

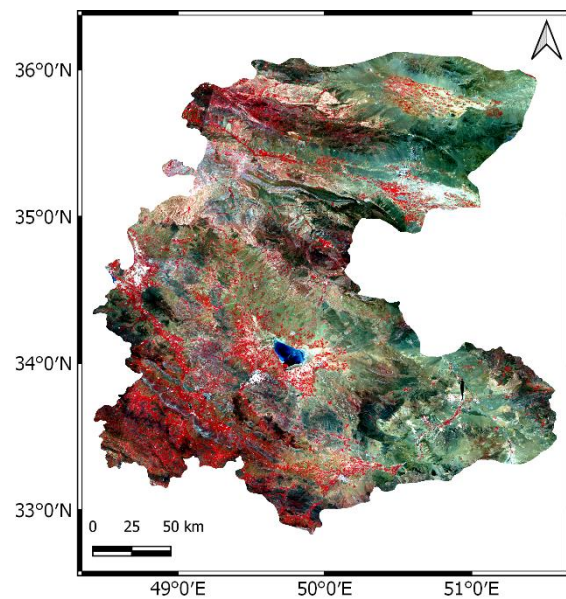


شکل ۴- نقشه‌ی MVC استان مرکزی، بالاترین مقدار شاخص NDVI از ۱۳۹۸/۱۰/۱ تا ۱۳۹۹/۱۰/۱

از نقشه‌ی MVC، نتیجه می‌شود که استان مرکزی به ویژه شازند، کمیجان و تفرش در این تاریخ که عمدتاً در فصل زمستان می‌باشد به علت سرما، نور پایین، رطوبت پایین، بارش، پوشش گیاهی و محصولات کشاورزی تحت کشت بسیار پایین و شدت خشکسالی بالا بوده است. از ادیبهشت تا اواخر خرداد، پوشش گیاهی بیشتر مناطق استان به جز شازند، خمین، بخش‌هایی از زرنديه، بخش کوچکی از تفرش پایین بوده است. پس با وجود تغییر فصل از زمستان به بهار و افزایش بارش‌ها، رطوبت خاک، پوشش گیاهی و سطح محصولات کشاورزی، در استان مرکزی پایین و شدت خشکسالی بالاتر خواهد بود و یا برداشت محصولات در این مناطق انجام نشده است. از شهرپور تا آذر با توجه به مناطق آبی رنگ نقشه، بارش و رطوبت خاک، پوشش گیاهی، سطح محصولات کشاورزی و شدت خشکسالی کاملاً مشابه دی تا فروردین می‌باشد. باتوجه به مناطق زرد رنگ نقشه‌ی MVC نتیجه می‌شود مناطق استان به جز اراک و خنداب پوشش گیاهی قابل توجه‌ای ندارند. همچنین مناطقی با رنگ فیروزه‌ای، به صورت پراکنده دارای پوشش گیاهی هستند. پس استان مرکزی از اردیبهشت تا آذر ۹۷ به علت برداشت محصولات، میانگین بارش، رطوبت خاک و پوشش گیاهی و سطح محصولات کشاورزی پایین و خشکسالی بالا بوده است.

از شهرپور تا فروردین، در شمال شرق استان (مناطق آبی+قرمز+سبز)

پوشش گیاهی بالایی داشته‌اند که نشان دهنده‌ی وضعیت مناسب به خصوص از لحاظ بارش، دما و رطوبت، خشکسالی پایین و یا عدم برداشت محصولات بوده است. در بخش‌های کوچکی از تفرش پوشش گیاهی مشاهده و در کمیجان پوشش گیاهی ضعیف می‌باشد. بنابراین در کمیجان به دلیل بارش کم، رطوبت خاک پایین و شدت خشکسالی بالا است. در بخش‌هایی از زرنديه و ساوه پوشش گیاهی مشاهده شده است. وضعیت پوشش گیاهی سایر نقاط نشان می‌دهد استان مرکزی به خصوص در نیمه‌ی شرقی وضعیت خوبی به لحاظ بارش و رطوبت خاک نداشته و شدت خشکسالی بالا است.



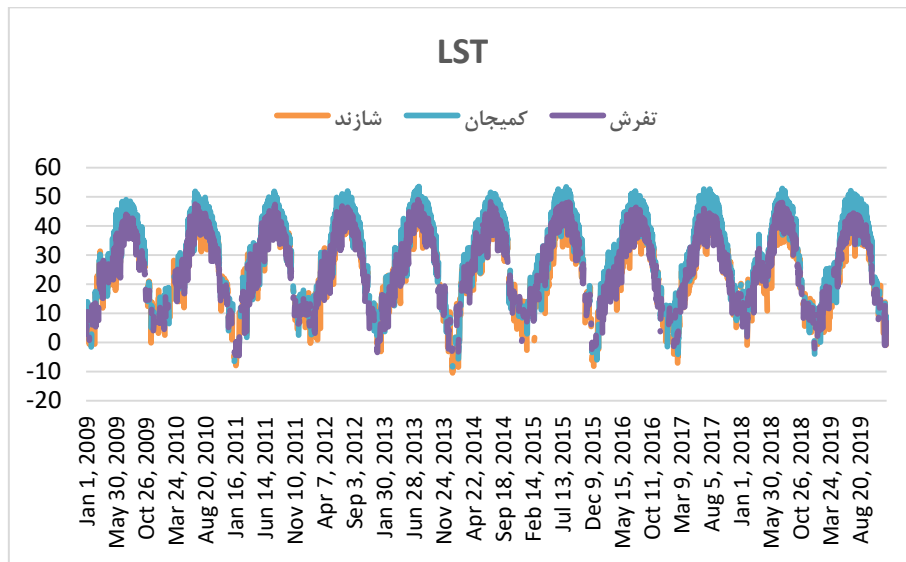
شکل ۳- نقشه‌ی رنگ کاذب استان مرکزی در خرداد ۱۳۹۹، باند قرمز مادون قرمز، باند سبز قرمز و باند آبی، سبز می‌باشد

مطابق شکل ۴، با استفاده از داده‌های مادیس، نقشه-ی MVC که بیشترین NDVI را نشان می‌دهد، تهیه شده است. در این نقشه پوشش گیاهی از ابتدای دی ۹۸ تا دی ۹۹، با رنگی بین آبی، قرمز و سبز، مشخص شده است. برای نشان دادن پوشش گیاهی در چند بازه‌ی زمانی از ترکیب دو به دو این رنگ‌ها استفاده شده است. بنابراین در اینجا ۷ حالت اتفاق می‌افتد: ۱. پوشش گیاهی دی تا فروردین: قرمز ۲. اردیبهشت تا مرداد: سبز ۳. شهرپور تا آذر: آبی ۴. دی تا مرداد: زرد (قرمز+سبز) ۵. پوشش گیاهی بین اردیبهشت تا آذر: فیروزه‌ای (سبز+آبی) ۶. شهرپور تا فروردین: صورتی (قرمز+آبی) ۷. تمام سال: سفید (آبی+قرمز+سبز)

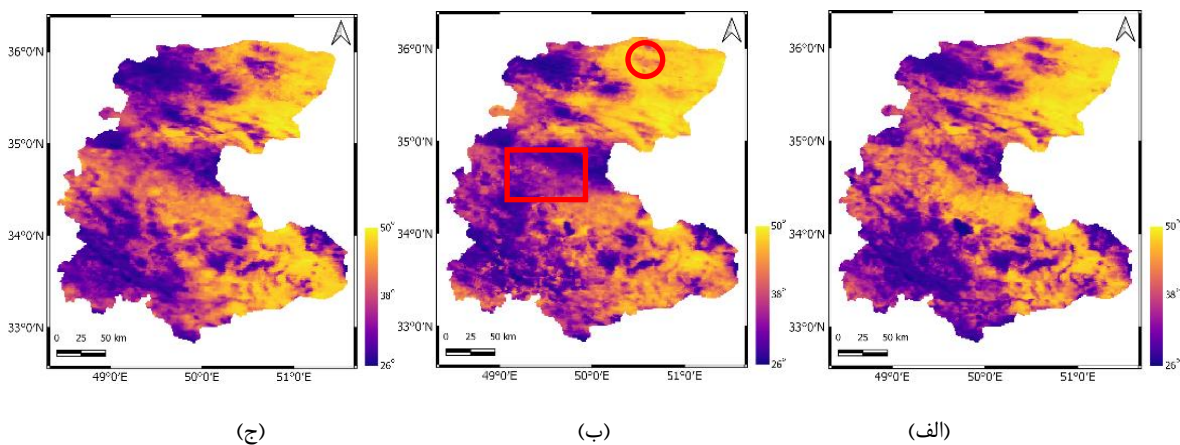
نکرده است. در ۱۳۸۸ در نیمه‌ی غربی استان (شازند و کمیجان و . .) به علاوه تفرش و دلیجان LST پایین و نزدیک به ۲۶ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد. در سایر نقاط به جز بخش‌هایی از ساوه، زرندیه، محلات و خمین با LST نزدیک به ۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، LST نسبتاً پایین و حدود ۳۸ درجه‌ی سانتی‌گراد است. در ۱۳۹۳، LST خنداب و بخش‌هایی از ساوه، کاهش و مقدار بسیار کمی در شازند افزایش یافته است و در سایر نقاط کاملاً مشابه ۱۳۸۸ بوده است. در ۱۳۹۸ LST استان و سه شهرستان کاملاً مشابه ۱۳۸۸ بوده است و به حالت اول خود برگشته است. به طور کلی در نیمه‌ی غربی استان (شازند و خنداب و . .) و تفرش طی ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸ LST پایین بوده است.

اینکه در فصل سرما واقع شده است، دلیل آن گیاهان همیشه سبز است. پس در شازند، کمیجان و تفرش به دلیل میانگین بارش و رطوبت پایین، پوشش گیاهی و محصولات کشاورزی پایین و شدت خشکسالی شدید است. با توجه به مناطق سفید رنگ از ۱۳۹۸/۱۰/۱ تا ۱۳۹۹/۱۰/۱ به دلیل میانگین بارش سالانه، در اراک و شازند پوشش گیاهی وجود داشته و شدت خشکسالی پایین است. در سایر مناطق به دلیل بارش و رطوبت خاک سالیانه، پوشش گیاهی پایین و شدت خشکسالی بالا است (شکل ۵).

مطابق شکل ۶، نقشه‌های تغییرات LST در استان از ۱۳۸۸-۱۳۹۸ تهیه شده است. براین اساس طی ۱۰ سال استان مرکزی LST یکسان، بین ۲۶ تا ۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد را تجربه کرده است و حداقل و حداکثر دما تغییری



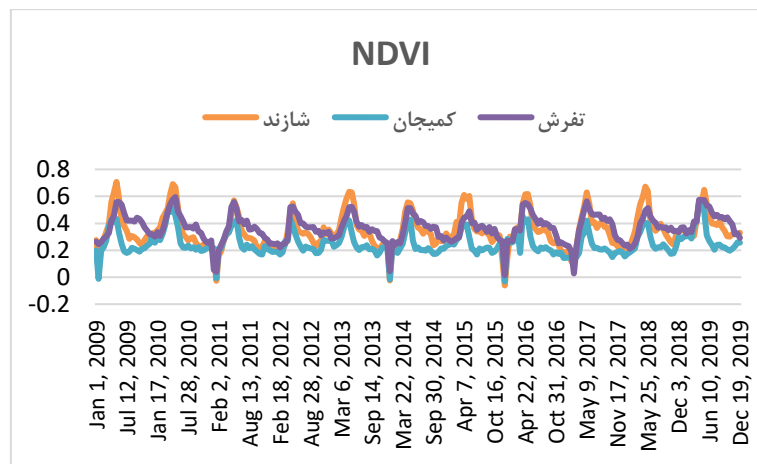
شکل ۵- نمودار مقدار LST از سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۹ در استان مرکزی



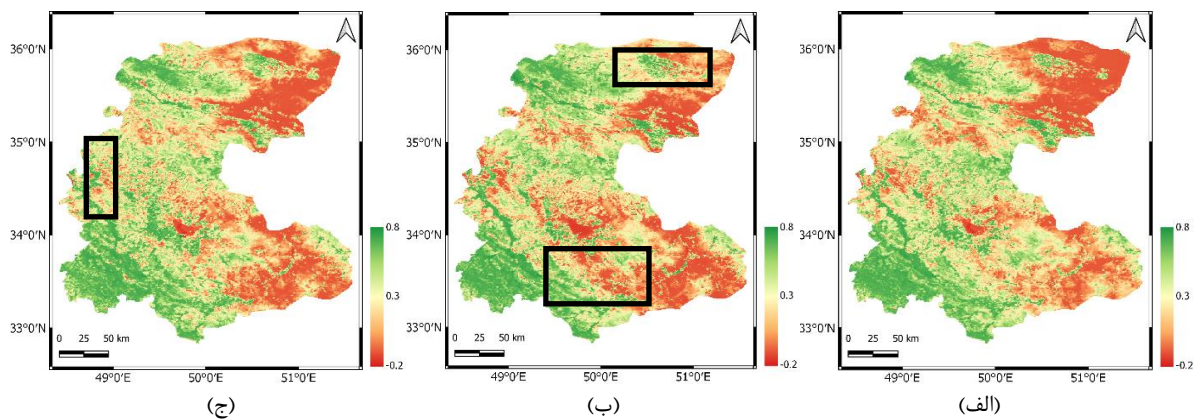
شکل ۶- (الف). نقشه‌ی LST استان در ۱۳۸۸ (ب). نقشه‌ی LST استان در ۱۳۹۳ (ج). نقشه‌ی LST استان در ۱۳۹۸ (کادراه‌های قرمز مشخص شده در شکل (ب) تغییرات مقادیر نسبت به دو شکل دیگر نشان می‌دهد)

همچنان منفی است پس پوشش گیاهی کمتر شده است. در ۱۳۹۸ به جز کاهش مقدار شاخص در بخش کوچکی از ساوه و افزایش مقدار شاخص تا ۰/۳ در کمیجان، شرایط مشابه ۱۳۹۳ بوده است. پس از ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸ در نیمه غربی (به ویژه شازند)، NDVI در حدود ۰/۸ است پس پوشش گیاهی این مناطق بهتر و شدت خشکسالی پایین تر است. اگر نقشه های NDVI در این سه سال با نقشه های با LST مقایسه شود مشخص می شود که کاهش LST با افزایش NDVI همراه بوده است (شکل ۸).

بر اساس نقشه های NDVI در ۱۳۸۸، ۱۳۹۳، ۱۳۹۸، حداقل و حداکثر NDVI همانند LST بین ۰/۲ تا ۰/۸ بوده است. در ۱۳۸۸ در نیمه غربی استان به خصوص شازند، NDVI تقریباً ۰/۸ و پوشش گیاهی بسیار خوب بوده است (شکل ۷). در خنداب و کمیجان این شاخص منفی و پوشش گیاهی ضعیف بوده است. در شرق استان به جز تفرش با شاخص حدود ۰/۸، مقدار این شاخص -0.2 و پوشش گیاهی ضعیف بوده است. در ۱۳۹۳ در بخش هایی از ساوه شاخص بالاتر از -0.2 و پوشش گیاهی بهتر شده است. در جنوب غرب مقدار شاخص حدود 0.1 کاهش داشته و



شکل ۷- نمودار تغییرات NDVI در شازند، کمیجان، تفرش ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۳



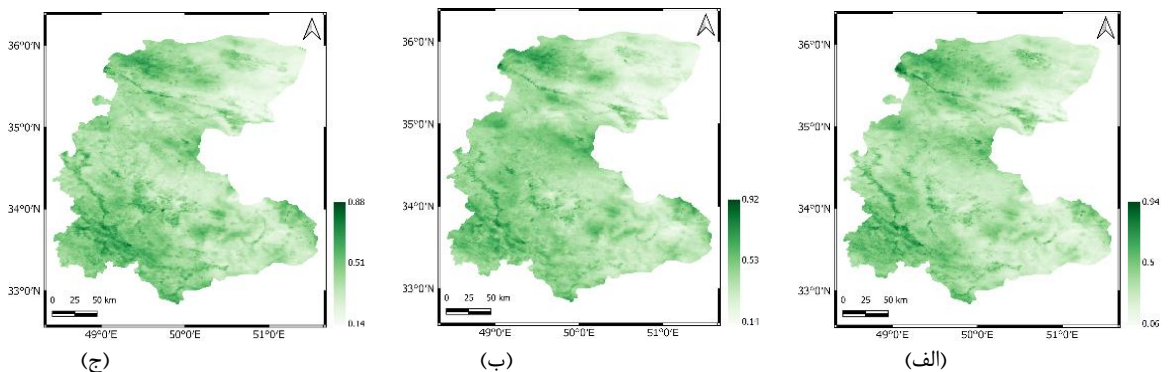
شکل ۸- (الف). نقشه ی NDVI استان در ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۳ (ب) نقشه ی NDVI استان از ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۸ (ج). نقشه ی NDVI استان از ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸ (کادراهی مشکی مشخص شده در شکل (ب) تغییرات مقادیر نسبت به دو شکل دیگر نشان می دهد)

گیاهی مناسب و خشکسالی وجود ندارد. باتوجه به نقشه های NDVI، LST، VHI و NDVI، LST پایین می باشد که نشان دهنده ی رابطه این سه مولفه بایکدیگر و شدت خشکسالی می باشد. در سال ۱۳۹۳ حداکثر VHI تقریباً برابر ۱۳۸۸ بوده و حداقل مقدار از ۰/۰۶ به ۰/۱۴ رسیده است که نشان

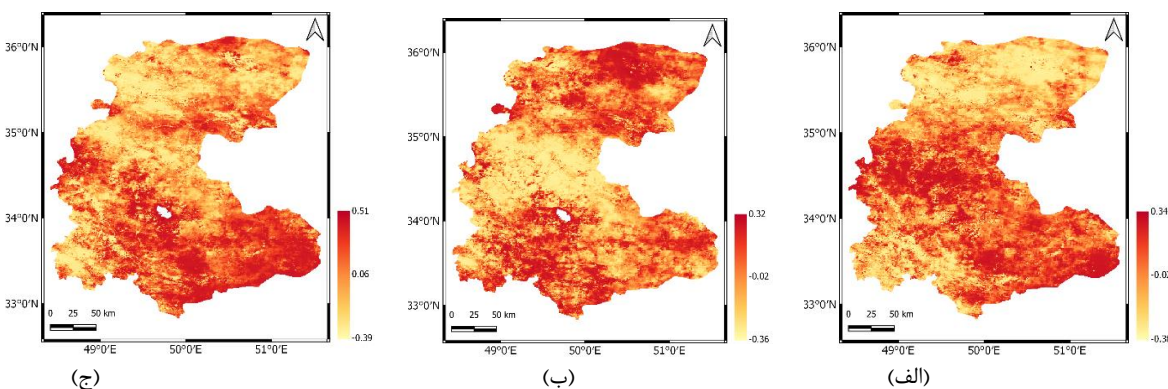
نقشه های شکل ۹ تغییرات شاخص VHI استان مرکزی در سال های ۱۳۹۸، ۱۳۹۳، ۱۳۸۸ نشان می دهد. در ۱۳۸۸ اکثر مناطق استان به جز شمال غرب، شازند و تفرش حداقل مقدار ۰/۰۶ است که نشان دهنده ی پوشش گیاهی ضعیف و خشکسالی شدید استان می باشد. باتوجه به مقادیر VHI بالاتر از ۰/۵، در این مناطق وضعیت پوشش

در شکل ۱۰ نقشه‌های اختلافات VHI، نشان دهنده‌ی تغییرات این شاخص و شدت خشکسالی در بازه‌های ۵ ساله می‌باشند. اختلاف این شاخص در سال ۱۳۸۸ از ۱۳۹۳ نشان می‌دهد که در اکثر مناطق از جمله تفرش و کمیجان، به جز شمال استان و شازند مقادیر شاخص بالا و خشکسالی وجود نداشته است. با توجه به اینکه مقدار VHI شازند در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۳ بالا بوده است مقادیر پایین اختلاف ۱۳۸۸ از ۱۳۹۳ نشان دهنده‌ی شدت خشکسالی بالای شازند نمی‌باشد بلکه به معنی کاهش مقادیر VHI است. اختلافات VHI از ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۸ نشان می‌دهد که در اکثر مناطق به جز مناطق مرکزی، به ویژه تفرش شاخص VHI افزایش و شدت خشکسالی پایین آمده است. اختلافات شاخص در ۱۳۸۸ از ۱۳۹۸ به جز مناطقی از شمال استان و تفرش، نشان دهنده‌ی افزایش شاخص و پایین آمدن شدت خشکسالی در این ۱۰ سال است و به لحاظ مکانی بسیار شبیه به ۵ سال اول بوده است.

دهنده‌ی کاهش شدت خشکسالی استان می‌باشد. در این سال در بیشتر مناطق مقادیر بالا بوده و خشکسالی نداشته‌اند. تغییرات این شاخص با تغییرات LST, NDVI در شکل‌های ۷ و ۸ مطابقت دارد یعنی در همین سال در مناطقی با VHI، NDVI بالا، LST پایین بوده است و بالعکس. در سال ۱۳۹۸ نسبت به ۱۳۹۳ حداکثر مقدار VHI به ۰/۸۸ کاهش داشته است ولی این مقادیر هم نشان دهنده‌ی عدم خشکسالی می‌باشد. در این سال بیشتر مناطق به جز شازند، تفرش و شمال غرب استان مقادیر پایین و خشکسالی شدید داشته‌اند که از این لحاظ مشابه سال ۱۳۸۸ بوده است. این تغییرات نیز مانند سال‌های قبل با NDVI, LST در ارتباط بوده است. همانطور که در NDVI, LST در ۱۳۹۸ به شرایط ۱۳۸۸ رسیده‌اند. البته حداقل و حداکثر این شاخص برخلاف NDVI, LST ثابت نمی‌باشد که نشان می‌دهد عوامل دیگر در مقادیر این شاخص مؤثر می‌باشد.



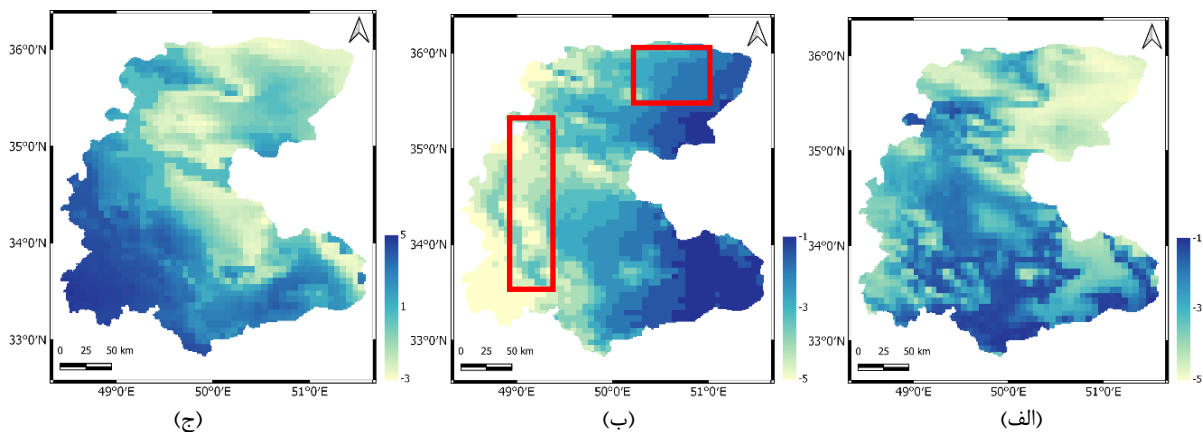
شکل ۹- (الف). نقشه‌ی VHI استان سال ۱۳۸۸ (ب) نقشه‌ی VHI استان، در سال ۱۳۹۳ (ج). نقشه‌ی VHI استان، در سال ۱۳۹۸



شکل ۱۰- (الف). نقشه‌ی اختلافات شاخص VHI و شدت خشکسالی استان از ۱۳۹۸ تا ۱۳۹۳ (ب). نقشه‌ی اختلافات شاخص VHI و شدت خشکسالی استان از ۱۳۹۳ تا ۱۳۸۸ (ج). نقشه‌ی اختلافات شاخص VHI و شدت خشکسالی استان از ۱۳۹۸ تا ۱۳۸۸

شکل ۱۱ تغییرات شاخص PDSI استان مرکزی را نشان می‌دهد. در سال ۱۳۸۸ مقادیر این شاخص منفی و خشکسالی اتفاق افتاده است. شمال شرق استان خشکسالی بسیار شدید و سایر نقاط به خصوص تفرش، کمیجان و شازند شدت خشکسالی عمدتاً پایین تر می‌باشد. در سال ۱۳۹۳ مقادیر شاخص تغییر نکرده است پس دامنه‌ی شدت خشکسالی ثابت است. اما بین غرب و شرق استان مقادیر شاخص تغییر و شرایط غرب و شرق استان عکس ۱۳۸۸ شده است. در این سال در نیمه‌ی غربی خشکسالی شدید و نیمه‌ی شرقی به جز تفرش شدت خشکسالی پایین تر بوده است. در سال ۱۳۹۸ مقادیر شاخص و شدت خشکسالی افزایش داشته است. در این سال برخلاف سال‌های قبل حداکثر مقدار شاخص منفی نمی‌باشد پس در برخی مناطق خشکسالی نداریم. در ۱۳۹۸ در اکثر مناطق به جز بخش‌هایی از شرق و نیمه‌ی شمالی استان شدت خشکسالی بسیار پایین و در جنوب غرب به ویژه شازند ترسالی اتفاق افتاده است. وقتی این

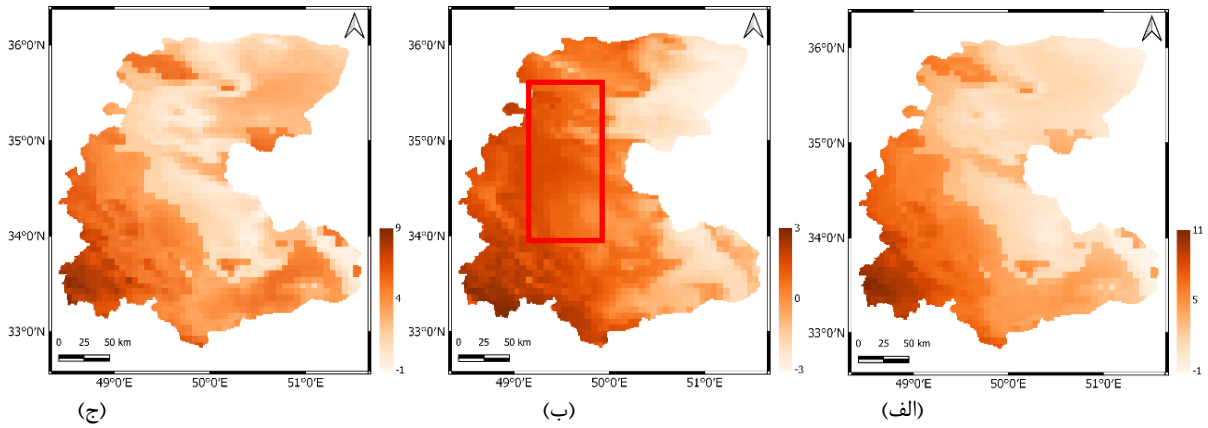
نقشه‌ها با شکل ۹ مقایسه شود نتیجه می‌شود که با وجود اینکه در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۳ در برخی از مناطق استان مقادیر شاخص VHI بالا و پوشش گیاهی مناسب است ولی مقادیر شاخص PDSI منفی و خشکسالی شدید می‌باشد پس پوشش گیاهی به دلایلی مانند مقاومت بالای آن با وجود شرایط خشکسالی از دست نرفته است. در سال ۱۳۸۸ در اکثر مناطق مقادیر شاخص VHI پایین و پوشش گیاهی نامناسب می‌باشد که متناسب با آن مقادیر شاخص PDSI منفی و خشکسالی شدید می‌باشد. در سال ۱۳۹۳ در نیمه‌ی غربی مقادیر شاخص VHI بالا است ولی مقادیر PDSI در شرق افزایش یافته است که به دلیل تفاوت عوامل مؤثر بر این دو شاخص می‌باشد ضمن اینکه دامنه مقادیر VHI بر خلاف PDSI ثابت نیست پس الزاماً این دو شاخص با هم یکسان عمل نمی‌کنند. در سال ۱۳۹۸ مقادیر PDSI افزایش و بیشتر مناطق از خشکسالی خارج شدند اما همانند سال ۱۳۸۸ در اکثر مناطق VHI پایین و پوشش گیاهی نامناسب می‌باشد.



شکل ۱۱- (الف). نقشه‌ی PDSI استان در ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۳ (ب). نقشه‌ی PDSI استان از ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۸ (ج). نقشه‌ی PDSI، ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸. (کادراهی) قرمز مشخص شده در شکل (ب) تغییرات مقادیر نسبت به دو شکل دیگر نشان می‌دهد

نقشه‌های شکل ۱۲، برای بررسی تغییرات چندساله خشکسالی تهیه شدند. از ۱۳۸۸-۱۳۹۳، به جز بخش‌هایی از غرب مانند شازند، خنداب و جنوب استان، شاخص بین ۵ تا ۱۱ بوده پس شدت خشکسالی پایین بوده است. همچنین در شازند، تغییرات شدت خشکسالی، بسیار شدید و خشکسالی وجود نداشته است. (شکل الف). باتوجه به شکل (ب)، به جز بخش‌هایی از شمال شرق و جنوب شرق استان، اختلاف PDSI حدود ۳ است پس

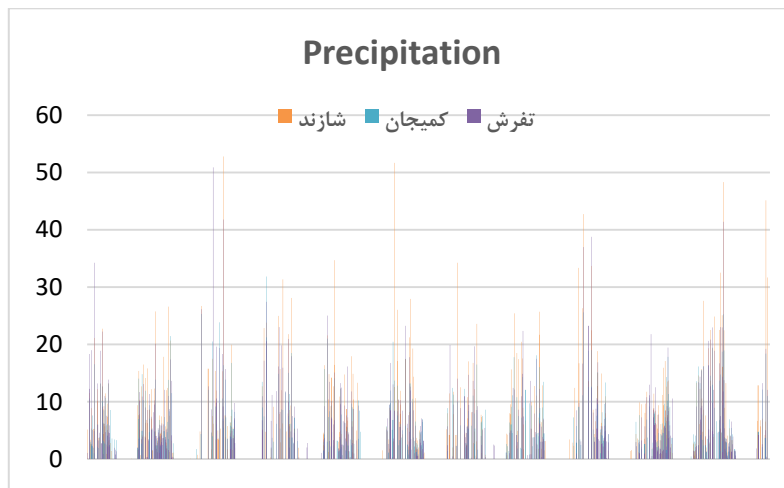
شدت خشکسالی ضعیف و تغییرات خشکسالی بالا بوده است ولی نسبت به ۵ سال قبل خود مقدار شاخص پایین تر و شدت و تغییرات خشکسالی هم پایین تر است. از ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸ شرایط مشابه ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۳ شده است پس تمام موارد ذکر شده در شکل (الف) نیز برای آن صدق می‌کند. با مقایسه‌ی این نقشه‌ها و اختلافات VHI نتیجه می‌شود که در بسیاری از مناطق این دو شاخص با هم یکسان عمل نمی‌کنند.



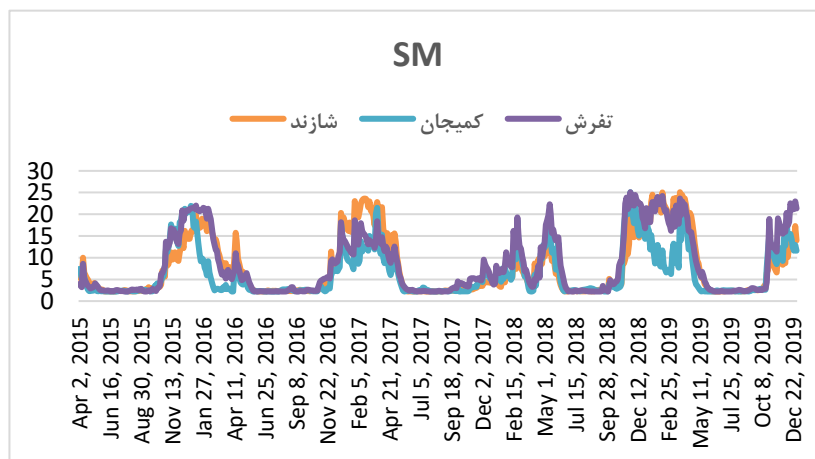
شکل ۱۲- (الف). نقشه‌ی اختلافات PDSI و شدت خشکسالی استان، ۱۳۸۸ از ۱۳۹۳ (ب). نقشه‌ی اختلافات PDSI و شدت خشکسالی استان، ۱۳۹۳ از ۱۳۹۸ (ج). نقشه‌ی اختلافات PDSI و شدت خشکسالی استان، ۱۳۸۸ از ۱۳۹۸

همان‌گونه که انتظار می‌رود شاخص PDSI شازند با توجه به رطوبت و بارش بالاتر، از همه بالاتر بوده است. با توجه به شکل ۱۶ در سال ۱۳۹۸، تفرش، کاهش ناگهانی در مقدار شاخص داشته است.

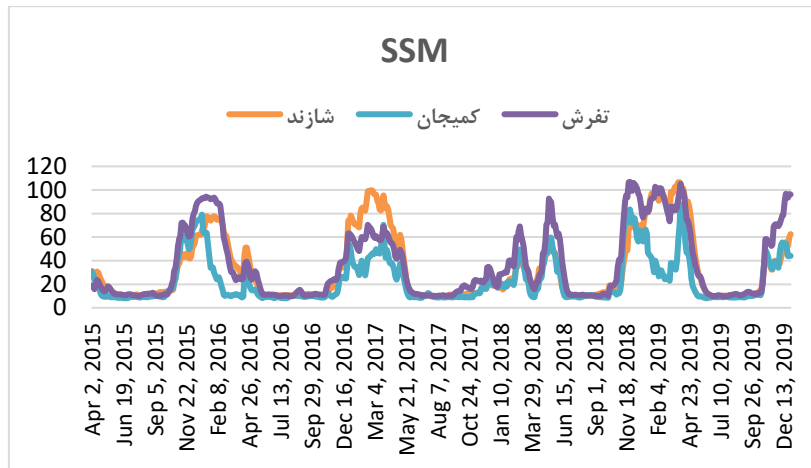
در شکل‌های ۱۳ تا ۱۵ مولفه‌های مؤثر بر PDSI در مناطق مطالعاتی تفرش، کمیجان و شازند نشان داده می‌شود. بر این اساس زمان‌هایی مانند فصل بهار که بارش افزایش داشته است، رطوبت سطح و زیر سطح خاک و شاخص PDSI افزایش داشته است. در بین این سه منطقه



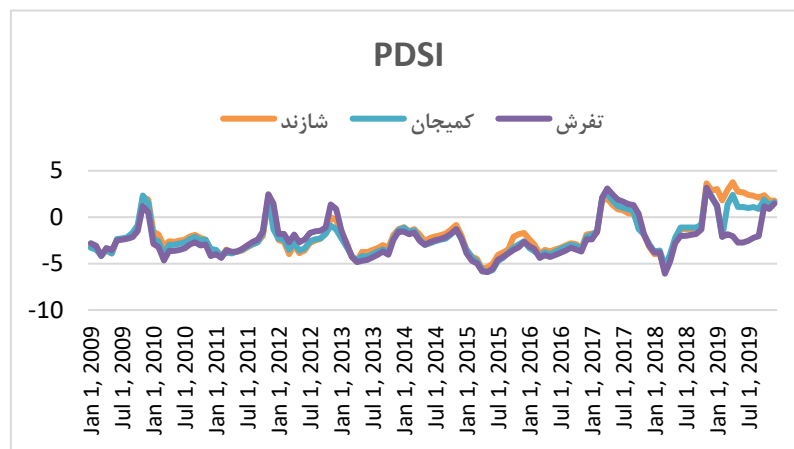
شکل ۱۳- نمودار تغییرات بارندگی (میلی متر) در شازند، کمیجان، تفرش از ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸



شکل ۱۴- نمودار تغییرات رطوبت خاک (میلی متر) در شازند، کمیجان، تفرش از ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۸



شکل ۱۵- نمودار تغییرات رطوبت زیر خاک (میلی متر) در شازند، کامیجان، تفرش از ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۸



شکل ۱۶- نمودار تغییرات PDSI در شازند، کامیجان، تفرش از ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۸

۵- نتیجه گیری

مؤلفه‌های مؤثر بر آنها متفاوت است. بارش، رطوبت سطح و زیرسطح خاک از مؤلفه‌های مؤثر بر شاخص PDSI هستند که با آن رابطه‌ی مستقیم دارند. با توجه به تغییرات تکرارشونده‌ی LST, NDVI, VHI, PDSI نتیجه می‌شود که بعد از گذشت چند سال، مجدداً خشکسالی به مناطق اولیه بازمی‌گردد به این معنی که در هر منطقه بعد از گذشت چند سال، شاخص VHI یا شاخص PDSI و شدت خشکسالی آن به حالت اول، تغییر می‌کند. پس از بررسی شاخص‌های VHI و PDSI در استان مرکزی، نتیجه می‌شود که در مناطق غربی استان به ویژه شازند و پس از آن کامیجان پوشش گیاهی مناسب تر و شدت خشکسالی پایین تر و در نیمه‌ی شرقی به جز تفرش شرایط برعکس می‌باشد. با توجه به این تحقیق برای پژوهش‌های بعدی پیشنهاد می‌شود، میزان عملکرد محصولات با شاخص‌های مذکور مقایسه شود و با بدست آوردن رابطه‌ای بین آنها، بر اساس آن شاخص در هر منطقه عملکرد محصولات را تخمین زد.

با توجه به نتایج حاصل از تغییرات LST, NDVI استان مرکزی، در سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۹۳، ۱۳۹۸ بین این دو مؤلفه رابطه معکوس وجود دارد. از آنجا که شاخص VHI هم به نوعی از ترکیب شاخص‌های VCI, TCI بدست می‌آید، بنابراین با LST, NDVI ارتباط دارد. نتایج نشان می‌دهد که شاخص VHI با LST رابطه‌ی عکس و با شاخص NDVI رابطه‌ی مستقیم داشته است. بر اساس بررسی‌های انجام شده در استان مرکزی، شاخص VHI با تغییرات مکانی شاخص PDSI در بسیاری از نقاط استان مرکزی هم‌هنگ و در برخی از نقاط هم متفاوت بوده است. از طرف دیگر مقادیر این دو شاخص، بایکدیگر همخوانی نداشته‌است که در نهایت نتیجه می‌شود شاخص‌های VHI و PDSI الزاماً با یکدیگر ارتباط ندارند و با یکدیگر تغییر نمی‌کنند، پس تنها شاخص VHI نشان دهنده‌ی وضعیت خشکسالی نمی‌باشد. ضمن اینکه

- [1] Cai, S., Zuo, D., Xu, Z., Han, X., and Gao, X. (2018). "Spatiotemporal variability and assessment of drought in the Wei River basin of China IAHS" Proc. IAHS . 379, pp.73–82.
- [2] Zhang, L., Jiao, W., Zhang, H., Huang, C., & Tong, Q. (2017). "Studying drought phenomena in the Continental United States in 2011 and 2012 using various drought indices" Remote Sensing of Environment. 190, pp. 96-106.
- [3] Szewczak, K., Łoś, H., Pudełko, R., Doroszewski, A., Gluba, Ł., Łukowski, M., Usowicz, B. (2020). "Agricultural Drought Monitoring by Modis Potential Evapotranspiration Remote Sensing Data Application" Remote Sens. Vol.12, No.20, 3411
- [4] Amalo, L. F., Hidayat, R., & Haris. (2017). "Comparison between remote-sensing-based drought indices in East Java" IOP Conf. Ser. : Earth Environ. Sci, 54, 012009.
- [6] Monteleone, B., Bonaccorso, B., & Martina, M. (2020). "A joint probabilistic index for objective drought identification: the case study of Haiti" Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol2. No.12, pp. 471–487.
- [7] I R Orimoloye , O O Ololade , S P Mazinyo , A M Kalumba , O Y Ekundayo , E T Busayo , A A Akinsanola , W Nel .(2019). "Spatial assessment of drought severity in Cape Town area, South Africa" Heliyon5, Vol.5, No.7, pp. 1-11.
- [8] Gomes, A. C. C., Bernardo, N., & Alcântara, E. (2017). Accessing the southeastern Brazil 2014 drought severity on the vegetation health by satellite image. Natural Hazards, Vol.3, No.89, pp.1401–1420..
- [9] Zarei, R, Sarajian, M, Bazgeer, S. (2013). "Monitoring Meteorological Drought in Iran Using Remote Sensing and Drought Indices" DESERT. Vol.18,pp. 89-97.
- [10] Dalezios, N , Blanta, A. , Spyropoulos, N.V Tarqui, A. (2014). "Risk identification of agricultural drought for sustainable Agroeco systems" Nat. Hazards Earth Syst. Sci, Vol2, No.4, pp.3097-3135.
- [11] Rezaei moghadam, M, Valizadeh Kamran, K, Rostamzadeh, H, Rezaei, A. (2014). "Assessing the Efficiency of Vegetation Indicators for Estimating Agricultural Drought Using MODIS Sensor Images (Case Study: Sharghi Azerbaijan Province)" International journal of Advanced Biological and Biomedical Research. Vol. 2, No.2 pp.399-407.
- [12] Skakun, S, Kussul, N, Shelesto, A, Kussul, O. (2016). "The use of satellite data for agriculture drought risk quantification in Ukraine, Geomatics" Natural Hazards and Risk. Vol.7, No.3, pp.901-917.
- [13] Parviz, L (2016). "determination of effective indices in the drought monitoring through analysis of satellite images" Agriculture & Forestry. Vol.62, pp.305-324.
- [14] Essa, Y. H. , Khalil, A. A. , M. , Abdel-Wahab. (2016). "Assessment of Agricultural Drought under Climate Change" Research Journal Of Fisheries And Hydrobiology. Vol.11, pp.1-11.
- [15] Damavandi, A, Rahimi, M, yazdani, M. R, Noroozi, A (2016). "The Spatial Monitoring of Drought in Arid Agriculture Geography by Vegetation Temperature Condition Index (VTCI) Using Modis Remotely Sensed Data (Case Study: Markazi Province)" Arid Regions Geography Studies. Vol. 6, No. 23. In Persian.
- [16] Sholihah, R. I., Trisasonko, B. H., Shiddiq, D., Iman, L. O. S., Kusdaryanto, S., Manijo, & Panuju, D. R. (2016). "Identification of agricultural drought extent based on vegetation health indices of Landsat data: case of Subang and Karawang, Indonesia" The 2nd International Symposium on LAPAN-IPB Satellite for Food Security and Environmental Monitoring 2015, LISAT-FSEM 2015. Vol.33, pp.14-20.
- [17] Hamzeh, S, Farahani, Z, Mahdavi, SH, Chatrabgon, O, Gholamnia, M.(2017). "Temporal and spatial monitoring of agricultural drought using remote sensing data: Central Province of Iran" Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazard. Vol.4, No.3, PP. 53-70. In Persian.
- [18] Andujar, E., Krakauer, N. Y., Yi, C., & Kogan, F. (2017). "Ecosystem Drought Response Timescales from Thermal Emission versus Shortwave Remote Sensing, Advances in Meteorology" 8434020, pp.1-10 .
- [19] Möllmann, J., Buchholz, M., & Musshoff, O. (2019). "Comparing the Hedging Effectiveness of Weather Derivatives Based on Remotely Sensed Vegetation Health Indices and Meteorological Indices" Weather, Climate, and Society, Vol.1, No.11, pp.33–48.
- [20] Kamruzzaman, M, Min-Won, J, Syewoonc-, H, Taeild, J. (2018). "Evaluating the Agricultural Drought for Pre-Kharif Season in Bangladesh using MODIS Vegetation Health Index" Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers. Vol.60, No.6, pp.55-63.
- [21] Bento, V. A., Gouveia, C. M., DaCamara, C. C., & Trigo, I. F.(2018). "A climatological assessment of drought impact on vegetation health index" Agricultural and Forest Meteorology. Vol.259, pp.286-295.

- [22] Dalezios, N, Dercas, N, Eslamian, S. (2018). "Water scarcity management: part 2: satellite based composite drought analysis" *Int. J. Global Environmental Issues*. Vol.17, No.2, pp.262-294.
- [23] Gidey, E, Dikinya, O, Sebege, R, Segosebe, E, Zenebe, A (2018). "Earth Systems and Environment Using Drought Indices to Model the Statistical Relationships Between Meteorological and Agricultural Drought in Raya and Its Environs" *Earth Systems and Environment Northern Ethiopia*. Vol.2, No.6.
- [24] Carolyn, Qu, Hao, X, J. Qu, J. (2019). "Monitoring Extreme Agricultural Drought over the Horn of Africa (HOA) Using Remote Sensing Measurements" *Remote Sens*. Vol.11, No.8,902.
- [25] Pourkhosravani, M, karimi, S, Mehrabi, A, Kermani, A. (2018). "Spatial monitoring of drought in the Khatun Abad basin using SPI and remote sensing technique" *Desert Ecosystem Engineering Journal*. Vol.2, pp.31-44. In Persian.
- [26] Badamassi, M, El-Aboudi, A, Gerard, G. (2020). "A New Agricultural Drought Index to Better Detect and Monitor Millet Crop by Remote Sensing in West Africa: Case of Niger" *Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems*. Vol.11, No.11, pp.1023-1033.
- [27] Kirana, AP, Ririd, A, Ariyanto, R, Amalia, E. (2020). "Spatiotemporal Pattern Distribution of Drought Area using MODIS Vegetation Health Index. Case Study: Paddy Field in East Java, Indonesia: IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.
- [28] Navabi, N, Moghaddasi, M, Ganji, N. (2021). "Assessment of Agricultural Drought Monitoring Using Various Indices based on Ground-based and Remote Sensing Data (Case Study: Lake Urima Basin)" *Journal of Watershed Engineering and Management*. Vol.13, pp.1-12. . In Persian.
- [29] WWW.eoportal.org
- [30] Jahangir khan, Wang, P, Xie, Y, Wang, L, Li, L. (2018). "Mapping MODIS LST NDVI Imagery for Drought Monitoring in Punjab Pakistan" *IEEE*. Vol.6, pp.19898-19991.
- [31] Zhou, X, Wang, P, Tansey, K, Ghent, D, Zhang, SH, Li, H, Wang, L. (2020). "Drought Monitoring Using the Sentinel-3-Based Multiyear Vegetation Temperature Condition Index in the Guanzhong Plain, China" *IEEE journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing*. Vol.13, pp.129-142.
- [32] Hu, X, Ren, H, Tansey, K, Zheng, Y, Ghent, D, Liu, X, Yan, L. (2019). "Agricultural drought monitoring using European Space Agency Sentinel 3 Land surface temperature and normalized difference vegetation index Imageries" *Agricultural and Forest Meteorology*. Vol.279, pp.107707, 9.