

ارزیابی کارایی شاخص MTVDI در برآورد منطقه‌ای خشک‌سالی (مطالعه موردی: استان فارس و استان زنجان)

سمیرا شریفی^{۱*}، علی فتح زاده^۲، وحید موسوی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه اردکان، ssr.sharifi@gmail.com

۲- دانشیار، دانشگاه اردکان، afathzadeh@gmail.com

۳- دانش آموخته دانشگاه یزد، moosavi_v66@yahoo.com

چکیده

از آنجایی که اکثر روش‌های ارزیابی وضعیت خشک‌سالی که تاکنون استفاده شده، خشک‌سالی را بر اساس داده‌های ایستگاهی در یک نقطه برآورد می‌کنند به همین دلیل پژوهشگران به دنبال روشی بودند تا مدیریت خسارت‌های ناشی از این پدیده را به صورت منطقه‌ای انجام دهند. اخیراً سنجش‌ازدور و تکنیک‌های تولیدشده بر اساس تصاویر ماهواره‌ای توانسته‌اند برآوردهای مناسبی از وضعیت خشک‌سالی در مقیاس منطقه‌ای ارائه دهند. شاخص MTVDI خشک‌سالی را می‌تواند به صورت منطقه‌ای بررسی کند. در این مقاله سعی بر این است تا با استفاده از شاخص MTVDI و همچنین به‌کارگیری محصولات دمایی (LST) و پوشش گیاهی (EVI) سنجنده MODIS به بررسی تغییرات مکانی شاخص MTVDI و بررسی خشک‌سالی در دو استان فارس و زنجان پرداخته و کارایی این شاخص موردسنجش قرار گیرد. نتایج نشان داد که شاخص MTVDI در استان فارس تقریباً دو برابر استان زنجان بوده و همچنین با توجه به این شاخص خشک‌سالی در استان فارس شدیدتر از استان زنجان بوده و در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که این شاخص در مکان‌های مختلف متفاوت بوده و جاهایی که خشک‌سالی شدیدتر باشد عدد این شاخص به یک نزدیک‌تر می‌باشد.

واژه های کلیدی: MTVDI، MODIS، LST، EVI، خشک‌سالی، سنجش‌ازدور

مقدمه

خشکسالی پدیده‌ای است که شدت آن به شرایط آب و هوایی منطقه و وضعیت تعادل آب و انرژی بستگی دارد. خشکسالی را می‌توان به‌عنوان یک دوره آب و هوایی خشک غیرطبیعی تعریف کرد که نتایج آن بیشتر منجر به تغییر پوشش گیاهی می‌گردد (Heim, 2002). خشکسالی یکی از بلاهای طبیعی است که به دلیل تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای که روی بخش کشاورزی و اقتصاد دارد، زندگی انسان‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. خشکسالی زمانی رخ می‌دهد که کاهش چشم‌گیر آب، هم در مکان و هم در زمان ویژه‌ای رخ می‌دهد (رضایی بنفشه و همکاران، ۱۳۹۴). خشکسالی اغلب به چهار دسته خشکسالی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اقتصادی-اجتماعی طبقه‌بندی می‌شود (Wilhite, 2005).^۱ خشکسالی کشاورزی، خشکی در لایه‌های سطحی خاک (منطقه ریشه)، در یک دوره بحرانی طی فصل رشد روی می‌دهد که باعث کاهش محصول می‌شود، اگرچه ممکن است لایه‌های ژرف‌تر خاک اشباع باشد. فشار خشکسالی نخستین علت کاهش محصول در سرتاسر جهان است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۲). خشکسالی پدیده‌ای پیچیده با اثرات متفاوت است، تاکنون روش‌های متعددی برای کمی کردن خشکسالی ارائه شده است؛ اما اکثر این روش‌ها، خشکسالی را به صورت نقطه‌ای برآورد می‌کنند؛ و امکان پایش دقیق خشکسالی به صورت منطقه‌ای امکان‌ناپذیر نمی‌باشد (نوری و ثنایی نژاد، ۱۳۹۲)، زیرا در گذشته، رویکرد مرسوم پایش خشکسالی بر پایه مشاهدات اقلیمی هواشناسی و استفاده از شاخص‌های آب و هوایی بوده است که این روش‌ها به علت استفاده از آمار ایستگاه‌های هواشناسی به صورت نقطه‌ای بوده و از طرفی پراکندگی ایستگاه‌ها به‌ویژه در مناطق خشک محدودیت‌هایی را در بررسی خشکسالی به وجود آورده است و همچنین ممکن است پس از شروع بارندگی بازهم اثرات خشکسالی وجود داشته باشد. عدم وجود ابزار و روش‌های مناسب برای بررسی چگونگی تغییرات دما، پوشش گیاهی و بارش در سطح منطقه نیز مانع از بررسی‌های تلفیقی عوامل مؤثر بر خشکسالی به صورت همزمان شده است. (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۸۹). در دهه اخیر سنجش‌ازدور ابزار پایش خشکسالی را به صورت وسیع و گسترده فراهم آورده و مدل‌های پایش خشکسالی زیادی ارائه شده است، با فراهم شدن داده‌های ماهواره‌ای متفاوت و فراگیر شدن استفاده از آن‌ها، امکان مطالعه خشکسالی با استفاده از روش‌های سنجش‌ازدور فراهم شد. از آنجاکه تغییر پوشش گیاهی نسبت به بارندگی دارای تأخیر زمانی می‌باشد و تعیین درصد پوشش گیاهی در بررسی پدیده خشکسالی، خطر آتش‌سوزی و سایر پدیده‌های مؤثر بر سطح زمین و جوامع انسانی بسیار ضروری است (درویش زاده و همکاران، ۱۳۹۱)، با استفاده از دانش سنجش‌ازدور می‌توان خشکسالی را از طریق اثراتی که بر روی گیاهان دارد، مطالعه و به نتایج دقیق‌تر و مؤثرتری برای ارزیابی خشکسالی دست‌یافت (Heim, 2002). از طرفی امتیاز دیگر تصاویر ماهواره‌ای قابلیت ورود مستقیم آن‌ها به سامانه‌هایی پردازشی است که بازنگری و هنگام سازی سریع آن‌ها را ممکن می‌سازد (باعقیده و همکاران، ۱۳۹۰). استفاده از شاخص‌های گیاهی چنین بهره‌گیری را ممکن می‌سازد که بتوان تجزیه و تحلیل‌های ریاضی را بر داده‌ها اعمال کنیم (خواجه‌الدین، ۱۳۷۵). در بین شاخص‌ها، شاخص TVDI^۱ به‌عنوان شاخص معتبر و پرکاربرد در سنجش‌ازدور محسوب می‌شود که رابطه بین دمای سطح زمین، پوشش گیاهی و رطوبت خاک را به نحوی مطلوب مدل می‌کند (Sandholt و همکاران، ۲۰۰۲). شاخص TVDI و شاخص MTVDI^۲ از لحاظ مفهومی و محاسباتی شاخص مناسبی هستند و تنها نیاز به داده‌های ماهواره‌ای دارند. محققین بسیاری کارایی این شاخص‌ها را با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای بررسی نموده‌اند. نتایج اکثر تحقیقات بیانگر این است که استفاده از شاخص‌های TVDI و MTVDI می‌توانند در بررسی رطوبت لایه سطحی خاک و خشکسالی بسیار مؤثر می‌باشند (هان و همکاران، ۲۰۱۰).

در ادامه نمونه‌هایی از پژوهش‌های انجام‌گرفته در ایران و جهان معرفی خواهند شد.

1. Temperature Vegetation Dryness Index
2. Modify Temperature Vegetation Dryness Index

(چایچی و همکاران، ۱۳۸۷) وضعیت پوشش گیاهی و به دنبال آن خشکسالی کشاورزی استان سیستان و بلوچستان با استفاده از تصاویر نوآ سنجنده AVHRR مورد تحلیل و ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که بررسی وضعیت پوشش گیاهی روش کارآمدی در ارزیابی خشکسالی کشاورزی به وجود می‌آورد؛ بنابراین شاخص دما - خشکی پوشش گیاهی (TVDI) معیار مناسبی در ارزیابی خشکسالی می‌باشد.

(احمدی و همکاران، ۱۳۹۰) به بررسی رطوبت سطحی خاک با استفاده از شاخص TVDI و تصاویر سنجنده MODIS^۲ در استان کرمانشاه پرداختند. نتایج نشان داد که در نقشه به دست آمده از شاخص TVDI برای تاریخ ۱۰ خرداد قسمت اعظم استان دارای وضعیت خشک می‌باشد؛ اما وضعیت خیلی خشک بیشتر در قسمت غرب و به طور پراکنده در شرق استان مشاهده می‌شود.

(رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۱) کارایی داده‌های سنجنده MODIS در برآورد خشکسالی حوضه آبریز ارومیه را مورد ارزیابی قرار دادند و در این پژوهش از شاخص‌های TCI^۳، SPI^۴ و VCI^۵ استفاده شده است. با توجه به نتایج شاخص VCI و سنجنده MODIS می‌توانند جایگزین مناسبی برای شاخص‌های هواشناسی در ارزیابی خشکسالی باشد.

(نوری و ثنایی‌نژاد، ۱۳۹۲) به بررسی خشکسالی با استفاده از شاخص‌های خشکی دما - گیاه (TVDI) و دما - گیاه اصلاح شده MTVDI و تصاویر سنجنده مودیس در استان خراسان شمالی پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص MTVDI نسبت به شاخص TVDI، دوره‌های خشکی را بهتر پایش می‌کند.

(نیازی و همکاران، ۱۳۹۲) به پایش زمانی و مکانی خشکسالی با استفاده از تکنیک سنجش از دور و شاخص TVDI در حوزه سد ایلام پرداختند. ارزیابی نشان داد که دمای سطح زمین (LST^۶) و شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) ارتباط منفی باهم دارند، کمبود آب در سال ۲۰۰۱ شدیدتر از سال ۱۹۸۸ بوده است.

(احمدی و همکاران، ۱۳۹۳) به پایش تأثیر تغییرات میزان بارش بر شاخص پوشش گیاهی در حوضه آبریز سروستان پرداختند. در این پژوهش شاخص به‌هنگار شده پوشش گیاهی NDVI^۷ حاصله از تصاویر سنجنده TM ماهواره LANDSAT مورد استفاده قرار گرفت که مقادیر شاخص NDVI به دست آمده از تصاویر نشان داد که کاهش این شاخص در سال ۲۰۰۹ همزمان با رخداد خشکسالی می‌باشد.

(Owringi و همکاران، ۲۰۱۱) به برآورد خشکسالی در استان فارس ایران با استفاده از تصاویر سنجنده AVHRR و مقایسه با تصاویر ماهواره SPOT پرداختند. در این پژوهش از شاخص‌های VCI, TCI و VHI^۸ استفاده گردیده است. نتایج نشان داد که این روش‌ها برای آگاهی از خشکسالی اولیه مناسب بوده و می‌توانند برای مدیریت خشکسالی استفاده شوند.

(Zhu, Wenbin و همکاران، ۲۰۱۷) به توسعه و ارزیابی شاخص MTVDI برای نظارت رطوبت خاک در منطقه جنوب گریت پلینس ایالت متحده پرداختند. تجزیه و تحلیل اثربخشی شاخص MTVDI را در نظارت بر الگوی فضایی و تنوع فصلی رطوبت خاک را تأیید کرد و همچنین نشان داد که دمای ماکسیمم تنها پارامتر اثرگذار بر شرایط تنش رطوبت خاک می‌باشد بنابراین می‌توان MTVDI را به راحتی از لبه خشک اجرا کرد که به طور قابل توجه بهبود یافته است.

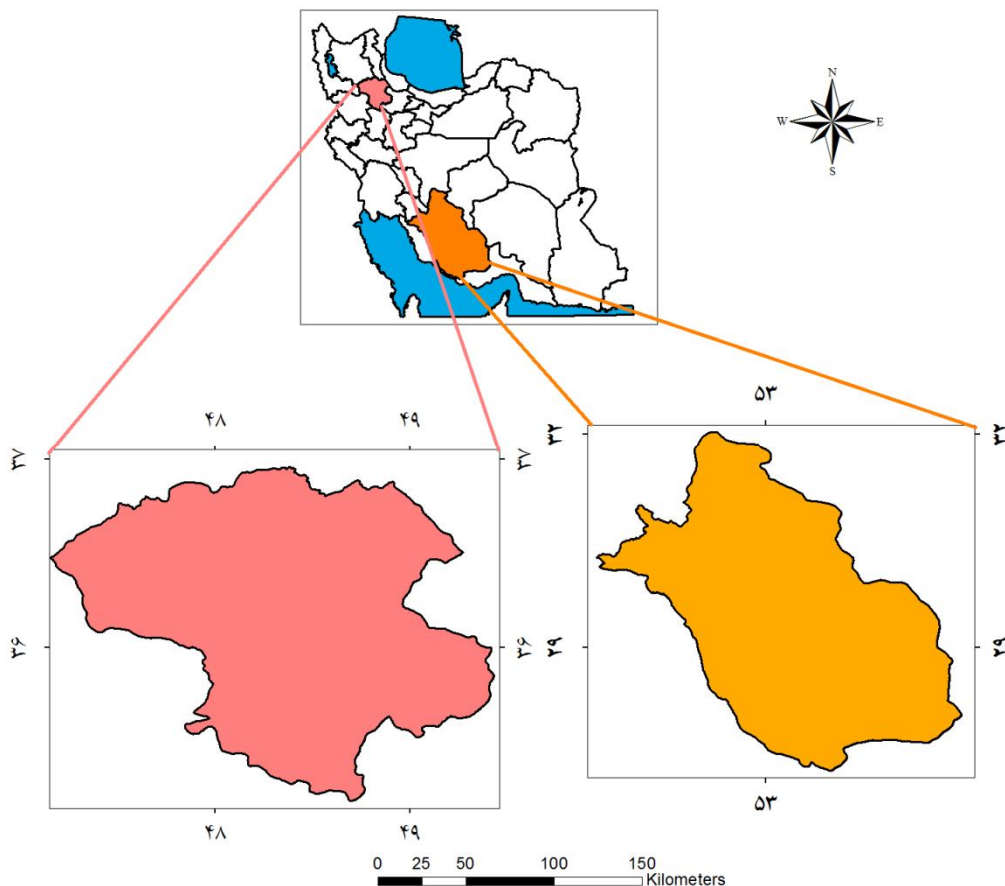
(Liang و همکاران، ۲۰۱۷) به ارزیابی درازمدت خشکسالی با استفاده از شاخص دمای - گیاهی (MTVDI) بر اساس دمای روشنایی AMSR-E پرداختند ارزیابی خشکسالی در سرتاسر چین از سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ نشان داد که روند شاخص MTVDI نسبت به شاخص TVDI می‌تواند سطوح خشکسالی را در سطوح متفاوت بررسی کند.

- 3- Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer
- 4- Temperature Condition Index
- 5- Standardized Precipitation Index
- 6- Vegetation condition indices
- 7- land surface temperature
- 8- Normalized difference vegetation index
- 9- Vegetation Healthy Index

روش کار

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه استان فارس می باشد که بین طول های جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۳ دقیقه باختری تا ۳۳ درجه و ۵۳ دقیقه خاوری و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳ دقیقه و ۵۸ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی واقع شده است. استان فارس با وسعت ۸۳۳۳۸۲ کیلومترمربع حدود ۷.۵ درصد مساحت کشور را دربرمی گیرد. این استان با جمعیتی بالغ بر ۴,۸۵۱,۲۷۴ حدود ۷ درصد جمعیت ایران را شامل می شود؛ و دیگری استان زنجان با مساحت ۲۲۱۶۴ کیلومترمربع و بین ۴۷ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۹۰ درجه و ۲۶ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی، در شمال غرب ایران قرار دارد؛ و از بزرگ ترین شهرهای شمال غرب ایران است. این استان دارای ۱۰۵۷۴۶۱ نفر جمعیت می باشد که حدود ۴۵ درصد از جمعیت ایران را شامل می شود و از سطح دریا ۱۶۶۳ متر ارتفاع دارد (شکل ۱).



شکل ۱- محدوده منطقه مورد مطالعه (استان فارس و استان زنجان)

در این تحقیق از دو تصویر LST و EVI حاصل از محصولات سنجنده MODIS مربوط به ماهواره ترا در دو منطقه مورد مطالعه استفاده شد. تصاویر EVI از محصولات MOD13A3 و LST از محصولات MOD11A2 از سایت <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov> دانلود شد که تصویر EVI با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر به صورت ماهانه و تصویر LST با قدرت تفکیک ۱۰۰۰ متر به صورت هشت روزه دانلود شدند.

لازم به ذکر است قبل از محاسبه شاخص MTVDI به منظور تطابق مقیاس زمانی داده های LST با داده های EVI، داده های ۸ روزه دمای سطح زمین با میانگین گیری به مقادیر ماهانه تبدیل و سیستم مختصات هردو سری داده از سینوسی به UTM تغییر یافت. شاخص EVI دیگر شاخص هایی است که توسط Huete و همکارانش، به منظور برطرف نمودن محدودیت های شاخص NDVI توسعه داده شده است؛ که برای محاسبه شاخص اصلاح شده خشکی دمایی - گیاهی (MTVDI) استفاده شده است. تصاویر EVI و LST بر اساس مرز هر استان برش داده (شکل ۲) و (شکل ۳) و با فرمت tiff ذخیره شده و در نهایت شاخص MTVDI در نرم افزار MATLAB محاسبه شده و نتایج و میزان خشک سالی در هر دو استان مقایسه شد.

شاخص اصلاح شده خشکی دمایی - گیاهی (MTVDI)

چنانچه پوشش گیاهی در منطقه، از خاک فاقد پوشش گیاهی تا خاک دارای پوشش گیاهی کامل تغییر کند، از طرفی رطوبت خاک نیز از شرایط خشک تا کاملاً مرطوب در منطقه وجود داشته باشد؛ که این رطوبت تحت تأثیر دمای سطح زمین است. این شاخص به عنوان شاخص معتبر و پر کاربرد در سنجش از دور محسوب می شود. که از فرمول زیر محاسبه می شود.

$$MTVDI = \frac{LST_{EVIi} - LST_{min}(EVIi)}{LST_{max}(EVIi) - LST_{min}(EVIi)} \quad \text{رابطه ۱}$$

که مقادیر $LST_{min}(EVIi)$ و $LST_{max}(EVIi)$ از طریق معادلات ذیل محاسبه می شوند.

$$LST_{min}(EVIi) = a_2 + b_2 EVIi \quad \text{رابطه ۲}$$

$$LST_{max}(EVIi) = a_1 + b_1 EVIi \quad \text{رابطه ۳}$$

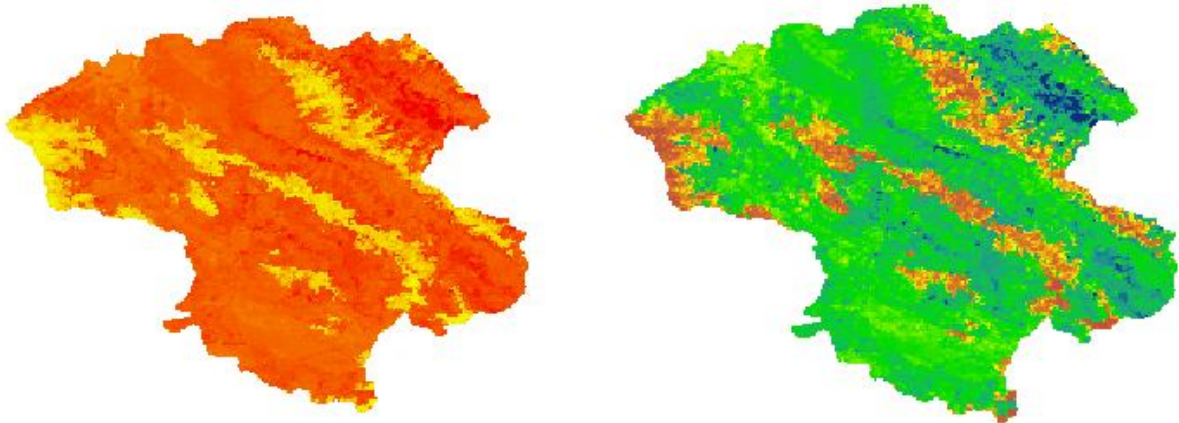
که در رابطه های ۲ و ۳،

LST_{EVI} دمای سطح زمین مربوط به هر پیکسل تصویر،

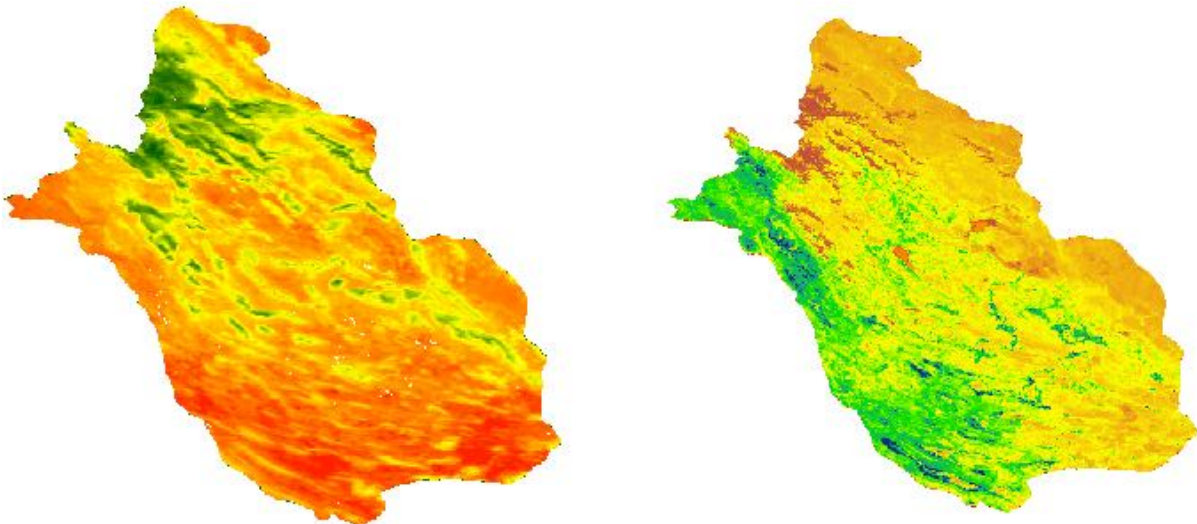
$LST_{min}(EVIi)$ ، $LST_{max}(EVIi)$ به ترتیب حداقل و حداکثر دمای سطح زمین مربوط به هر پیکسل می باشند که به لبه های خشک و مرطوب معروف هستند. a_1 ، b_1 ، a_2 و b_2 نیز ضرایب معادلات خطی لبه های خشک و مرطوب هستند. با توجه به معادلات ۱ مقادیر شاخص MTVDI بین صفر و یک متغیر خواهد بود که مقدار صفر معرف شرایط مرطوب، بیشترین میزان تبخیر و تعرق و عدم محدودیت منابع آب و مقدار یک معرف شرایط خشک می باشد.

جدول ۱- درجه بندی خشک سالی براساس شاخص MTVDI

شاخص MTVDI	درجه خشک سالی
$0 \leq MTVDI \leq 0.2$	بدون خشک سالی
$0.2 \leq MTVDI \leq 0.4$	مرطوب
$0.4 \leq MTVDI \leq 0.6$	معمولی
$0.6 \leq MTVDI \leq 0.8$	خشک سالی ضعیف
$0.8 \leq MTVDI \leq 1$	خشک سالی شدید



شکل ۲- نقشه تغییرات شاخص های LST و EVI استان زنجان



شکل ۳- نقشه تغییرات شاخص های LST و EVI استان فارس

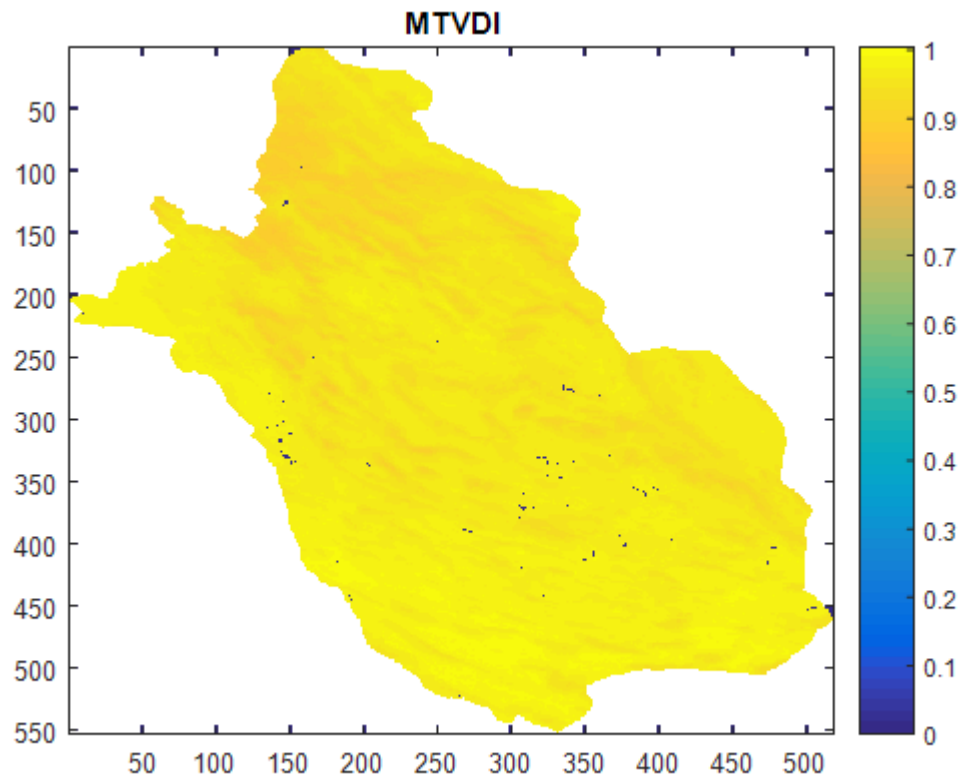
بحث و نتایج

تغییرات مکانی شاخص MTVDI در یک سال در دو استان فارس و زنجان مورد بررسی قرار گرفت که از تحلیل کلی شاخص می توان نتیجه گرفت در هر دو استان خشکسالی رخ داده است. مشخصات آماری این شاخص در (جدول ۱) ارائه شده با توجه به اینکه میانگین شاخص MTVDI در استان فارس بیشتر از استان زنجان بوده و تقریباً میانگین این شاخص در استان فارس دو برابر استان زنجان بوده با توجه به تحلیل میانگین شاخص، استان فارس دارای خشکسالی شدید و استان زنجان بدون خشکسالی بوده و همچنین با توجه به بیشینه شاخص MTVDI، استان فارس دارای خشکسالی شدید و استان زنجان دارای خشکسالی بوده و طبق کمینه این شاخص، استان فارس دارای خشکسالی ضعیف و استان زنجان بدون خشکسالی بوده است.

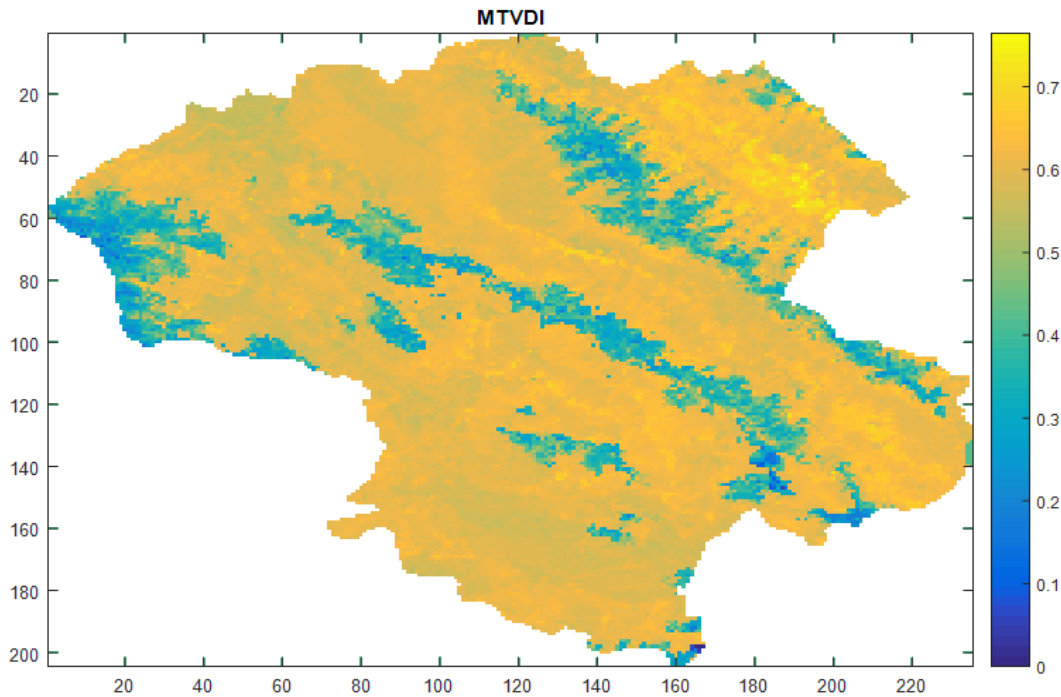
جدول ۲- مشخصات آماری شاخص MTVDI در استان های فارس و زنجان

استان	بیشینه	کمینه	میانگین
فارس	۱	۰/۸۷	۰/۹۵
زنجان	۰/۷۶	۰/۰۱	۰/۵۰

روند تغییرات این شاخص در هرکدام از استان ها در (شکل ۴ و ۵) نشان داده شده است که همان طور که در شکل ها قابل رویت است تغییرات این شاخص، تغییرات خشکسالی را در سطح دو استان نشان می دهد. همان طور که در شکل پیداست بیشتر سطح استان فارس را خشکسالی شدید در بر گرفته است اما در استان زنجان بیشتر سطح استان دارای خشکسالی ضعیف و یا معمولی می باشد پس می توان نتیجه گرفت که ارزش شاخص MTVDI در مکان های مختلف متفاوت می باشد و با توجه به اینکه شاخص MTVDI از شاخص EVI در محاسبات خشکی استفاده می نماید توانسته است خشکی را در این مناطق به خوبی برآورد کند.



شکل ۴- نقشه تغییرات شاخص MTVDI استان فارس



شکل ۵- نقشه تغییرات شاخص MTVDI استان زنجان

نتیجه گیری

رطوبت خاک و پوشش گیاهی از جمله مهم ترین عوامل تأثیرگذار در خشکسالی می باشند؛ بنابراین بررسی رطوبت خاک که تحت تأثیر دمای سطح زمین می باشد و درصد پوشش گیاهی در برآورد خشکسالی امری ضروری است؛ که شاخص MTVDI می این دو عامل را شامل می شود. در این تحقیق از محصولات دما (LST) و محصولات پوشش گیاهی (EVI) سنجنده MODIS به منظور محاسبه شاخص MTVDI و بررسی تغییرات مکانی این شاخص در دو استان فارس و زنجان و همچنین مقایسه خشکسالی در این دو استان استفاده شد؛ که بررسی نشان داد که میزان این شاخص در مکان های مختلف متفاوت بوده و در جاهایی که خشکسالی شدیدتر باشد این شاخص به عدد یک نزدیک تر می باشد. در نهایت با توجه به نتایج این تحقیق می توان نتیجه گرفت که شاخص MTVDI در استان فارس تقریباً دو برابر استان زنجان بوده و خشکسالی در استان فارس شدیدتر از استان زنجان می باشد. نتیجه این پژوهش با مطالعات (نوری و ثنایی نژاد، ۱۳۹۲) در ایران و (Gao و همکاران، ۲۰۱۱) در خارج از ایران همخوانی داشته و همگی توانایی این شاخص در بررسی خشکسالی را تایید کردند.

منابع

- احمدی، ا، بیات، ب، عبدی نژاد، پ، ۱۳۹۰، بررسی وضعیت رطوبت سطحی خاک با استفاده از شاخص TVDI و تصاویر سنجنده MODIS، مطالعه موردی استان کرمانشاه، همایش ژئوماتیک ۹۰.
- ابراهیمی خوسفی، م، درویش زاده، روش، متکان، ع، عاشورلو، د، (۱۳۸۹)، بررسی خشکسالی در مناطق خشک مرکزی ایران با استفاده از تصاویر ماهواره ای با تکیه بر شاخص های گیاهی مطالعه موردی: شیرکوه یزد علوم محیطی، سال هفتم شماره ۴ تهران: صفحه ۵۹-۷۲.

- احمدی، م، نارنگی فرد، م، فخاری واحد، م، (۱۳۹۳)، پایش تاثیر تغییرات میزان بارش بر شاخص پوشش گیاهی، مطالعه موردی: حوضه آبریز سروستان، همایش ملی تغییرات اقلیم و مهندسی توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی.
- باعقیده، م، علیجانی، ب، ضیائی، ب، (۱۳۹۰)، بررسی امکان استفاده از شاخص پوشش گیاهی NDVI در تحلیل خشک سالی استان اصفهان مطالعات جغرافیایی مناطق خشک سال اول شماره ۴ سبزوار: صفحه ۱-۱۶.
- چایچی، م، شهبابی فر، م، عمادی، ب، (۱۳۸۷)، کاربرد دمای سطح زمین در ارزیابی خشک سالی کشاورزی استان سیستان و بلوچستان، اولین کنفرانس بین المللی بحران آب.
- خواجه الدین، ج، (۱۳۷۵)، استفاده از داده های ماهواره MSS5 landsat در بررسی جوامع گیاهی و تعیین اراضی شور منطقه جازموریان مجموعه مقالات دومین همایش ملی بیابان زایی و روش های مختلف بیابان زایی صفحه ۴۱-۴۷.
- درویش زاده، ر، متکان، ع، حسینی اصل، ا، ابراهیمی خوسفی، م، (۱۳۹۱)، تخمین درصد پوشش گیاهی منطقه خشک ایران مرکزی با استفاده از تصاویر ماهواره ای مطالعه موردی: حوزه شیطان، بافق دو فصلنامه علمی - پژوهشی خشک بوم، جلد ۲ شماره ۱ یزد صفحه ۲۵-۳۷.
- رضایی مقدم، م، ولی زاده، ک، رستم زاده، ه، رضایی، ع، (۱۳۹۱)، ارزیابی کارایی داده های سجنده ی MODIS در برآورد خشک سالی (مطالعه ی موردی: حوضه ی آبریز دریاچه ارومیه)، مجله جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۳، صفحه های ۱ تا ۱۶.
- رضایی، م، علی رضایی، ب، فرید پور، م، (۱۳۹۴)، تحلیل خشک سالی کشاورزی آذربایجان شرقی با تاکید بر سنجش از دور و شاخص وضعیت پوشش گیاهی. ۱۳۹۴، نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۵ شماره یک صفحه ۱۱۳-۱۲۳.
- نوری، س، ثنایی نژاد، ح، (۱۳۹۲)، بررسی خشک سالی با استفاده از شاخص های خشکی، دما- گیاه (TVDI) و دما - گیاه اصلاح شده (MTVDI) و تصاویر سجنده مدیس، نشریه آب و خاک، جلد ۲۷، شماره ۴ صفحه ۷۵۳-۷۶۲.
- نیازی، یعقوب، طالبی، علی، مختاری، محمدحسین، (۱۳۹۲)، پایش زمانی و مکانی خشک سالی با استفاده از تکنیک سنجش از دور و شاخص TVDI در حوزه سد ایلام، نهمین همایش ملی علوم مهندسی آبخیزداری ایران، دانشگاه یزد.
- Gao, Z., Gao W., and Chang N.B. 2011. Integrating temperature vegetation dryness index (TVDI) and regional waterstress index (RWSI) for drought assessment with the aid of LANDSAT TM/ETM+ images, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13:495-503.
- Han, Y., Wang, Y., Yunsheng, Z. (2010). Estimating Soil Moisture Conditions of the Greater Changbai Mountains by Land Surface Temperature and NDVI. *IEEE Transaction On Geoscience and Remote sensing*, Vol. 48, No. 6.
- Heim, Richard (2002); «A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States», *B. Am. Meteorol. Soc.* 83 (8), pp:1149-1165.
- Liang, L., ZHAO, S.H., QIN, Z.H., HE, K.X., Chong, C.H.E.N., LUO, Y.X. and ZHOU, X.D., 2017. Drought change trend using MODIS MTVDI and its relationship with climate factors in China from 2003 to 2010. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(7), pp.1501-1508
- Owringi MA, Adamowski J, Rahnemaei N, Mohammadzadeh A and Afshin Sharifan R, 2011. Drought monitoring methodology based on AVHRR image and SPOT vegetation maps. *Journal of Water Resources and Protection* 3: 325-334.
- Sandholt, L., K. Rasmussen and J. Andersen (2002). A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing of Environment*, 79 (2-3): 213-224.
- Wilhite, D.A (2005); »Drought as hazard: Understanding the natural and social context«. In D. A. Wilhite (Ed.), *Drought and Water Crisis: Science, Technology, and Management Issues*, pp: 5-10.
- Zhu, W., Lv, A., Jia, S. and Sun, L., 2017. Development and evaluation of the MTVDI for soil moisture monitoring. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(11), pp.5533-5555.