

نشریه مدیریت بیابان

www.isadmc.ir

تعیین ارتباط روند تغییرات خشکسالی با عناصر اقلیمی در دشت یزد-اردکان

احمدعلی دهقانی تفتی^۱، محمد زارع^{۲*}، سید زین‌العابدین حسینی^۳، فهیمه عربی علی‌آباد^۴

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
 ۲. استادیار، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
 ۳. استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
 ۴. دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
- * نویسنده مسئول mzernani@yazd.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۱۴

چکیده

پایش و ارزیابی خشکسالی به کمک روش‌های سنتی امری مشکل و هزینه‌بر است. سنجش از دور روشی کاربردی برای پایش خشکی در مقیاس وسیع است. در این پژوهش، روند خشکسالی دشت یزد-اردکان به کمک شاخص‌های TVDI و NDVI و با بهره‌گیری از تصاویر سنجنده مودیس تعیین و ارتباط آن با برخی عناصر اقلیمی (بارش و دما) بررسی شد. مقدار همبستگی TVDI با شاخص خشکسالی SPI؛ ۶ و ۱۲ ماهه به ترتیب ۰/۶۸ و ۰/۷۱ است. مقدار همبستگی NDVI با SPI، ۶ و ۱۲ ماهه به ترتیب ۰/۴۹ و ۰/۵۱ است. بررسی نقطه‌ای- یا به عبارت دیگر- ایستگاه به ایستگاه، نشان داد که شاخص TVDI با SPI ۶ ماهه برای سال ۱۳۸۳ به عنوان سال نرمال، ۱۳۸۶ خشک و ۱۳۹۱ سال مرطوب، به ترتیب ۰/۶۴، ۰/۷۸ و ۰/۶۷ و با SPI ۱۲ ماهه برای سال‌های یادشده به ترتیب ۰/۶۵، ۰/۷۹ و ۰/۶۹ است. عملکرد TVDI در سال ۱۳۸۶ بهتر از دو سال دیگر بوده است. همچنین همبستگی NDVI با SPI ۶ ماهه در سال ۱۳۸۳، ۱۳۸۶ و ۱۳۹۱ به ترتیب ۰/۴۱، ۰/۵ و ۰/۵۶ و با SPI ۱۲ ماهه به ترتیب ۰/۵۲، ۰/۵۷ و ۰/۵۹ است. شاخص TVDI که با بهره‌گیری از باندهای حرارتی، انعکاسی و رطوبت خاک محاسبه می‌شود، نسبت به NDVI دقت بیشتری داشته‌است. ارتباط بین پوشش گیاهی و دما، معکوس و ارتباط بین پوشش گیاهی و بارش، مستقیم است. نتایج مبین این است که بهره‌گیری از شاخص خشکی - دمایی TDVI می‌تواند نواقص شاخص پوشش گیاهی NDVI را جبران کند و به‌عنوان شاخص مناسب برای شناسایی و پایش خشکسالی استفاده شود.

واژگان کلیدی: سنجش از دور؛ شاخص پوشش گیاهی؛ شاخص دمایی؛ مناطق خشک؛ یزد

■ مقدمه

در گذشته رویکرد مرسوم پایش خشکسالی بر پایه مشاهدات اقلیمی هواشناسی و بهره گیری از شاخص‌های اقلیمی بوده است. پراکندگی ایستگاه‌ها به‌ویژه در مناطق خشک ایران، نبود آمار درازمدت در بسیاری از ایستگاه‌ها، نبود ایستگاه‌های سینوپتیک با دوره آماری طولانی و همچنین نقطه‌ای بودن روش‌های مبتنی بر آمار اقلیمی محدودیت‌هایی را در بررسی خشکسالی به وجود آورده است. در چند دهه اخیر، تصاویر ماهواره‌ای دید جامعی از نظر زمانی و مکانی از سطح زمین فراهم آورده و به پژوهشگران در زمینه‌های مختلف پژوهشی کمک شایانی کرده است.

فناوری سنجش از دور روشی عملی و کاربردی برای پایش خشکی در یک مقیاس وسیع است (۲۱). این فناوری به دو دسته تقسیم‌بندی می‌شود. نوع اول بر پایه شاخص‌های گیاهی، همچون شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی NDVI^۱ است (۱۶). نوع دوم بر پایه دما و رویکردهایی، مانند اینرسی حرارتی و برآورد تبخیر و تعرق و مدل جامع آماری رطوبت چندزمانه خاک است (۱۳ و ۲۲).

به دلیل پوشش گیاهی پراکنده در مناطق خشک، کارایی بهره‌گیری از دمای خاک برای به دست آوردن رطوبت خاک محدود است (۹). از طرفی، بهره‌گیری از شاخص‌های گیاهی برای به دست آوردن رطوبت خاک موجب کندی کار می‌شود (۱۷). برای چیره شدن بر این مسئله محققان شاخص خشکی دمایی-پوشش گیاهی TVDI^۲ را پیشنهاد کردند (۲۰). این شاخص ارتباط بین پوشش گیاهی و دمای سطحی خاک را نشان می‌دهد. به دلیل مفهوم فیزیکی مشخص و نیاز اندک به قدرت تفکیک داده‌های مکانی سنجش از دور، TVDI یک شاخص گسترده و بسیار کاربردی در پایش خشکی است (۲۰، ۲۴).

نتایج بهره‌گیری از تصاویر سنجنده‌های AVHRR NOAA در ایالت گجرات هندوستان و محاسبه شاخص NDVI و مقایسه آن با شاخص خشکسالی SPI^۳ نشان داد

که این دو شاخص نسبت به هم ارتباط نزدیکی در حالت SPI سه ماهه دارند (۲).

خشکی و وضعیت رطوبت خاک با بهره‌گیری از شاخص خشکی دمایی-پوشش گیاهی TVDI در منطقه اوتارپرادش هند مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور محصولات ۱۶ روزه شاخص پوشش گیاهی MOD13A2 و ۸ روزه درجه حرارت MOD11A2 به کار گرفته شد. الگوهای زمانی-مکانی شاخص TVDI نشان داد که مناطق شمالی از سطح رطوبت بیشتری نسبت به مناطق جنوبی برخوردارند. همچنین رابطه‌ای قوی و منفی بین TVDI و رطوبت خاک وجود دارد، به‌ویژه هنگامی که پوشش گیاهی نادر است (۱۲).

نتایج مقایسه بین شاخص‌های NDVI حاصل از AVHRR، MODIS Terra، SPOT VGT و GIMMS با داده‌های مشاهداتی نشان داد که هر سه ماهواره در مقایسه با داده‌های مشاهداتی عملکرد بالایی دارند و تنها تفاوت آن‌ها در روند تغییرات شاخص NDVI در مناطق مرطوب و خشک است (۳). با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM، مقادیر دمای سطح زمین LST^۴ و شاخص NDVI محاسبه گردید و نتایج نشان داد شاخص TVDI به خوبی توانسته شرایط خشکی و کمبود بارش را نشان دهد (۴).

با بهره‌گیری از شاخص TVDI، پراکنش مکانی و زمانی خشکسالی در چین بررسی شد (۲۴). از داده‌های سنجنده MODIS و داده‌های زمینی ۱۳ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی استفاده گردید و مقایسه بین دو شاخص NDVI و شاخص SPI نشان داد که بهترین ارتباط میان شاخص استاندارد بارش ۱۲ ماهه و شاخص NDVI دیده می‌شود (۲۴).

در مطالعه‌ای، سه شاخص خشکی گیاهی VDI^۵، TVDI و TVDI بهبودیافته iTVDI برای تشخیص شرایط خشکی در منطقه نیمه‌خشک همدان محاسبه و نتایج با مقادیر بارش ماهانه مقایسه شد. نتایج نشان داد که رابطه معنی‌داری بین VDI و بارندگی یا رطوبت خاک وجود ندارد. هرچند شاخص iTVDI، که با داده‌های دمای هوا و

¹ Normalized difference vegetation index

² Temperature Vegetation Dryness Index

³ Standardized Precipitation Index

⁴ Land Surface Temperature

⁵ Vegetation Dryness Index

۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه، استفاده شد. سپس روند تغییرات شاخص‌های PDI، MPDI و TVDI با SPI بررسی و روابط همبستگی آن‌ها در ماه‌ها و سال‌های مختلف استخراج شد. برای صحت‌سنجی شاخص‌های مذکور، روابط آن‌ها با داده‌های رطوبتی خاک در دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی-متری از خاک بررسی شد. نتایج نشان داد که شاخص PDI و MPDI به ترتیب بیشترین همبستگی را با SPI شش ماهه منتهی به فوریه و سپتامبر و شاخص TVDI بیشترین ضریب همبستگی را با SPI سه ماهه منتهی به آوریل دارد (۲۶).

هدف از پژوهش حاضر، بررسی روند تغییرات خشکسالی و چگونگی ارتباط آن با عوامل جوی در دشت یزد-اردکان است.

■ مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت یزد-اردکان با مساحتی بالغ بر ۱۱۴۰۱۵۲ هکتار در جنوب غربی استان یزد و در مختصات جغرافیایی ۴۳۴۰۰۰۰ تا ۳۶۰۰۰۰۰ طول شرقی و ۷۴۰۰۰۰ تا ۸۶۰۰۰۰ عرض شمالی و زون ۴۰ (UTM) قرار گرفته است. این دشت از جهت غرب و جنوب غرب به کوه‌های شیرکوه و از سمت شرق به کوه‌های خرانق منتهی می‌شود (شکل ۱). نمودار جریان‌ی مراحل پژوهش حاضر در شکل ۲ نشان داده شده است.

داده‌های هواشناسی

در پژوهش حاضر برای محاسبه شاخص بارش استاندارد SPI از داده‌های ایستگاه‌های زمینی ۱۱ ایستگاه سینوپتیک و ۱۲ ایستگاه اقلیم‌شناسی متعلق به سازمان هواشناسی در دوره آماری ۱۳۹۳-۱۳۷۵ استفاده شد. شاخص SPI برای دوره‌های زمانی ۳ ماهه و ۱۲ ماهه به‌طور جداگانه محاسبه شدند. پس از مرتب‌سازی داده‌ها، میانگین داده‌های جوی و بارندگی برای هر فصل محاسبه شدند. با تعیین سال‌های آبی نرمال و خشک و ترسالی در ایستگاه‌های هواشناسی و سینوپتیک منطقه، آن سال‌ها برای پیش خشکسالی انتخاب و شاخص‌های NDVI و TVDI محاسبه شدند.

مدل رقومی ارتفاع DEM^۱ ترکیب شده و بهبود یافته است، بهتر از سایر شاخص‌ها می‌تواند خشکی را پیش‌نماید. از آنجاکه شاخص NDVI زود اشباع شده، به‌خوبی قادر به جداسازی مقادیر متراکم پوشش گیاهی نیست و تحت تاثیر شرایط جوی است و خاک پس‌زمینه گیاه نیز اثر زیادی روی آن می‌گذارد، پژوهشگران به دنبال شاخص گیاهی مناسب دیگری هستند تا جایگزین NDVI شود و ضعف‌های ناشی از آن را کاهش دهد (۱۵).

در پژوهشی با بهره‌گیری از دو شاخص TVDI و خشکی دمایی-پوشش گیاهی اصلاح‌شده MTVDI و همچنین با به‌کارگیری شاخص دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی سنجنده مودیس به بررسی خشکسالی در استان خراسان شمالی در دو سال خشک؛ سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۶ و نرمال؛ سال آبی ۱۳۸۳-۱۳۸۲، پرداخته شد و کارایی دو شاخص مذکور را مورد سنجش قرار گرفت.

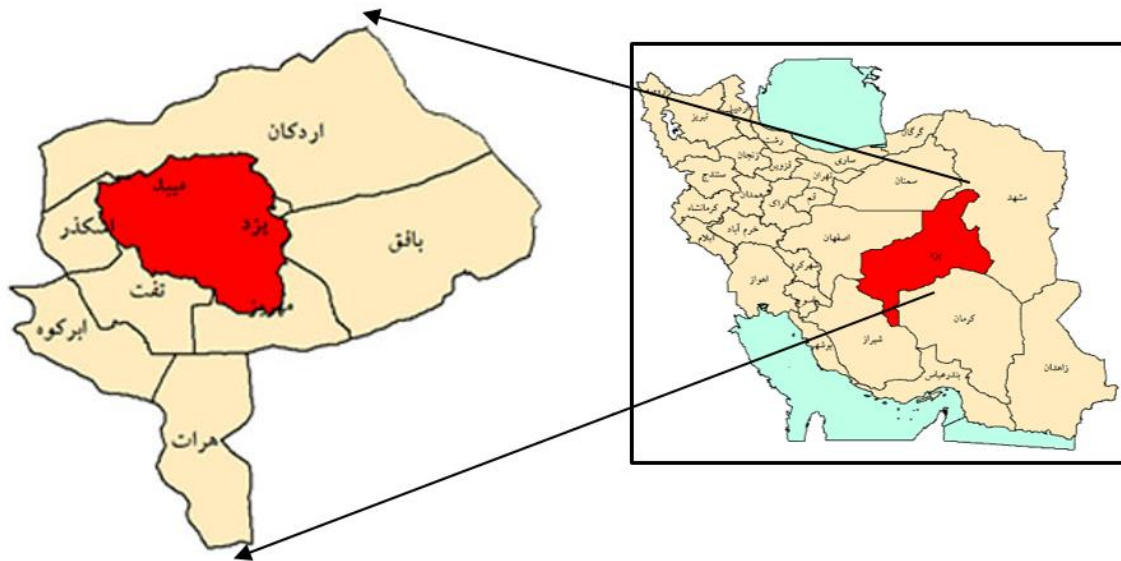
نتایج نشان داد که شاخص MTVDI نسبت به شاخص TVDI، دوره‌های خشکی را بهتر پیش‌می‌کند. نتایج همبستگی خطی بین شاخص‌های خشکسالی و مقادیر بارش تجمعی ۱۶ روز طی دوره تصویر، ۱۶ روز پیش از تصویر و ۱، ۲، ۳، ۵ و ۷ ماه قبل از تصویر نشان داد که همبستگی شاخص‌ها به‌ویژه شاخص MTVDI با بارش تجمعی ۱ ماه قبل از تصویر نسبت به بارش در سایر بازه‌های زمانی بیشتر است. این امر به دلیل پاسخ همراه با تأخیر پوشش گیاهی به بارندگی است (۱۰).

به کمک شاخص‌های خشکسالی عمودی PDI^۲، شاخص خشکسالی عمودی اصلاح‌شده MPDI^۳ و شاخص TVDI و مقایسه آن با شاخص اقلیمی بارش استاندارد شده SPI، خشکسالی در استان خراسان رضوی پیش‌شد. به این منظور به بهره‌گیری از داده‌های سنجنده مودیس سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳، شاخص‌های PDI، MPDI و TVDI برای همه تصاویر محاسبه شد. داده‌های بارندگی ماهانه ۴۲ ایستگاه در دوره ۳۰ ساله برای محاسبه شاخص SPI و پهنه‌بندی آن به روش کریجینگ، در پنج مقیاس زمانی ۱،

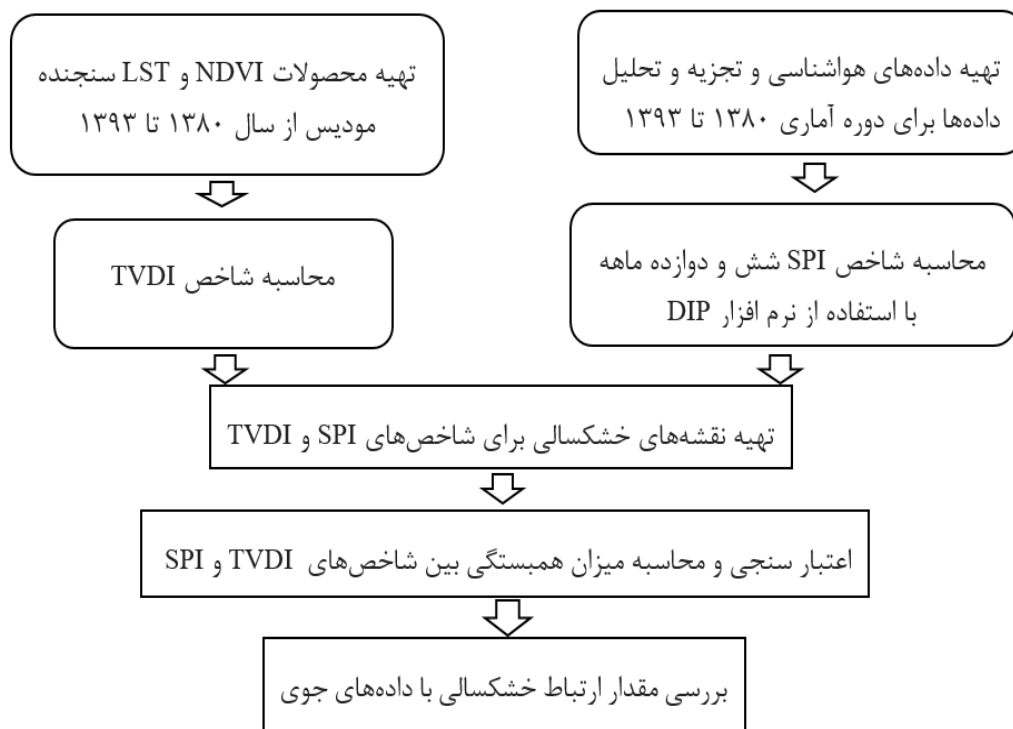
¹ Digital elevation model

² Palmer drought index

³ Modified perpendicular drought index



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان یزد



شکل ۲. روندنمای کلی مراحل پژوهش و داده‌های مورد استفاده

تفکیک مکانی یک کیلومتر هستند. نظر به اینکه بیشترین مقدار پوشش گیاهی در منطقه در فصل بهار می‌روید بدین جهت تصاویر تاریخ ۱۵ اردیبهشت در سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۳ از پایگاه ماهواره مودیس (<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov>) دریافت شد و ۱۳ تصویر مورد بررسی قرار گرفت (۲۵).

داده‌های ماهواره‌ای

در پژوهش حاضر از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس مستقر بر روی ماهواره ترا استفاده شد. این تصاویر، محصولات ترکیبی ۸ روزه دمای سطح زمین و ۱۶ روزه شاخص‌های پوشش گیاهی به ترتیب به نام‌های MOD11A2 (باند ۳۱ و ۳۲) و MOD13A2 با قدرت

شاخص‌های خشکسالی

شاخص خشکی دمایی-گیاهی (TVDI)

شاخص خشکی دمایی-گیاهی TVDI یکی از شاخص‌های مناسب در تعیین مقدار خشکسالی و ترسالی با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای است. به منظور محاسبه شاخص خشکی دمایی-گیاهی TVDI نیاز به دو شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی NDVI و دمای سطح زمین LST است. در این شاخص، فرض بر این است که شکل نمودار پراکندگی NDVI-LST نزدیک به شکل مثلث است. ساندوهولت و همکاران (۱۸) شاخص TVDI را به صورت رابطه ۱ ارائه کردند:

$$TVDI = \frac{T_s - (a_2 + bNDVI_2)}{(a_1 + bNDVI_1) - (a_2 + bNDVI_2)} \quad (1)$$

که در آن:

T_s : دمای سطحی مشاهده‌شده در هر پیکسل؛

a_1, b_1 و a_2, b_2 : ضرایب معادلات خطی لبه‌های خشک

و مرطوب است که با بهره‌گیری از لبه‌های خشک و مرطوب محاسبه شدند. مقادیر شاخص TVDI بین صفر و یک متغیر است (۱). مقدار صفر نشان‌دهنده شرایط مرطوب، بیشترین مقدار تبخیر و تعرق و مقدار یک نشانگر نزدیکی به لبه خشک و معرف شرایط خشکی است.

شاخص پوشش گیاهی (NDVI)

شاخص NDVI از معروف‌ترین، ساده‌ترین و کاربردی‌ترین شاخص‌هایی است که در زمینه مطالعات پوشش گیاهی شناخته شده است (۶). این شاخص بیشترین حساسیت را به تغییرات پوشش گیاهی داشته و در مقابل اثرات جوی و زمینه خاک، بجز در مواردی که پوشش گیاهی اندک باشد، حساسیت کمتری دارد. شاخص NDVI با بهره‌گیری از رابطه ۲ محاسبه شد (۷):

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (2)$$

که در آن:

NIR: مقدار ارزش رقومی ثبت‌شده در محدوده مادون قرمز نزدیک، RED: مقدار ارزش رقومی باند قرمز برای هر پیکسل.

شاخص دمای سطح زمین (LST)

نخستین گام در محاسبه میزان دمای سطح زمین تبدیل مقادیر ارزش هر پیکسل باند حرارتی تصاویر به مقادیر تابشی طیفی است. مقدار تابش هر تصویر به کمک رابطه ۳ محاسبه شد (۱۰).

(۳)

$$L\lambda = \left(\frac{LMAX\lambda - LMIN\lambda}{QCALMAX - QCALMIN} \right) * (QCAL - QCALMIN) + LMIN\lambda$$

که در آن:

$Lmax\lambda$ و $Lmin\lambda$: اعداد ثابت مقدار تابش کمینه

و بیشینه تابش طیفی (جدول ۱)

QCALMAX و QCALMIN: بیشترین و کمترین

ارزش‌های رقومی پیکسل (مقدار بیشینه و کمینه واسنجی تصویر) (جدول ۲).

شاخص SPI

این نمایه برپایه برآزش استاندارد بر محاسبات احتمالات وقوع بارندگی برای هر مقیاس زمانی استوار است (رابطه ۴). نمایه SPI تنها از داده‌های بارندگی ماهانه استفاده می‌کند و برای تشخیص کمبود مقدار بارندگی در مقیاس‌های زمان‌های چندگانه (۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماه) طراحی شده است (۲۶).

$$SPI = (P_i - \bar{p}) / \delta_i \quad (4)$$

که در آن:

δ_i : انحراف معیار داده‌های i مین ایستگاه،

P_i : مقادیر بارندگی برای i مین ایستگاه، و

\bar{p} : متوسط بارندگی ایستگاه i ام است (۱۰).

پس از بررسی نرمال بودن اطلاعات، با بهره‌گیری از نرم-

افزار DIP شاخص خشکسالی بدست آمد.

جدول ۱. ارزش‌های L_{max} و L_{min} تابش طیفی لندست برای باندهای حرارتی (۱۰، ۱۸)

نوع لندست / باند	حداقل تابش طیفی	حداکثر تابش طیفی
لندست ۴-۵ (باند ۶)	۱/۲۳۸	۱۵/۳۰۳
لندست ۷ (باند ۶)	۰	۱۷/۰۴۰
لندست ۸ (باند ۱۰ و ۱۱)	۰/۱۰۰۳۳	۲۲/۰۰۱۸۰

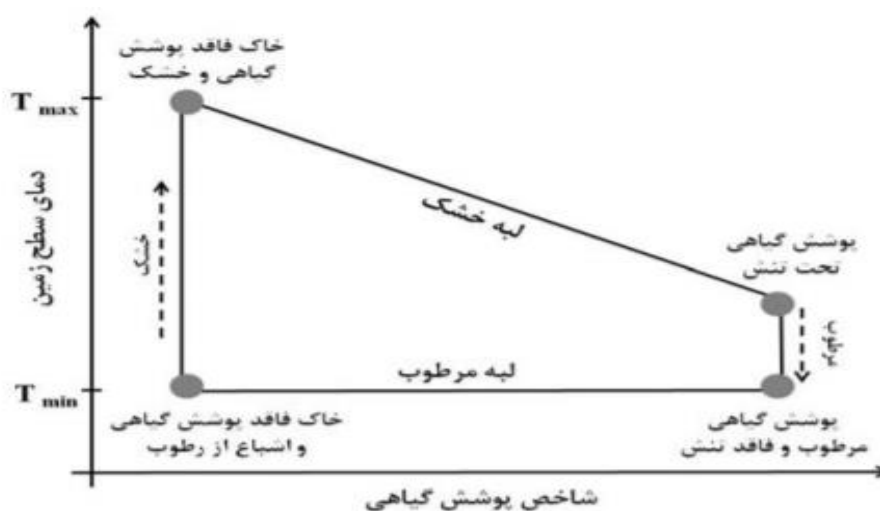
جدول ۲. ارزش‌های پیکسل مقدار بیشینه و کمینه واسنجی تصویر (QCALMAX, QCALMIN) (۱۸، ۱۰)

نوع لندست / باند	حداقل تابش طیفی	حداکثر تابش طیفی
لندست ۴-۵ (باند ۶)	۱	۲۵۵
لندست ۷ (باند ۶)	۱	۲۵۵
لندست ۸ (باند ۱۰ و ۱۱)	۱	۶۵۵۳۵

نتایج و بحث

تحلیل فضایی NDVI/LST و محاسبه شاخص TVDI نمودارهای پراکنش مربوط به ارتباط پوشش گیاهی و دمای سطح زمین در شکل ۳ نشان داده شده است. مقادیر زیاد در لبه خشک نماینده مناطق بدون پوشش گیاهی است. با افزایش مقادیر پوشش گیاهی (NDVI)، مقادیر زیاد لبه خشک به دلیل تبخیر و تعرق زیاد گیاهان کاهش می‌یابد.

از آنجاکه در این نمودار مقدار پوشش گیاهی با میزان دمای سطح زمین همبستگی منفی دارد، می‌توان با بهره‌گیری از رگرسیون خطی ساده مؤلفه‌های شیب و عرض از مبدا را برای لبه‌های خشک و مرطوب بدست آورد. معادله خطی رگرسیون مربوط به لبه‌های خشک و مرطوب برای سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۳ در جدول ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. نمودار شماتیک شاخص پوشش گیاهی NDVI در مقابل دمای سطح زمین LST

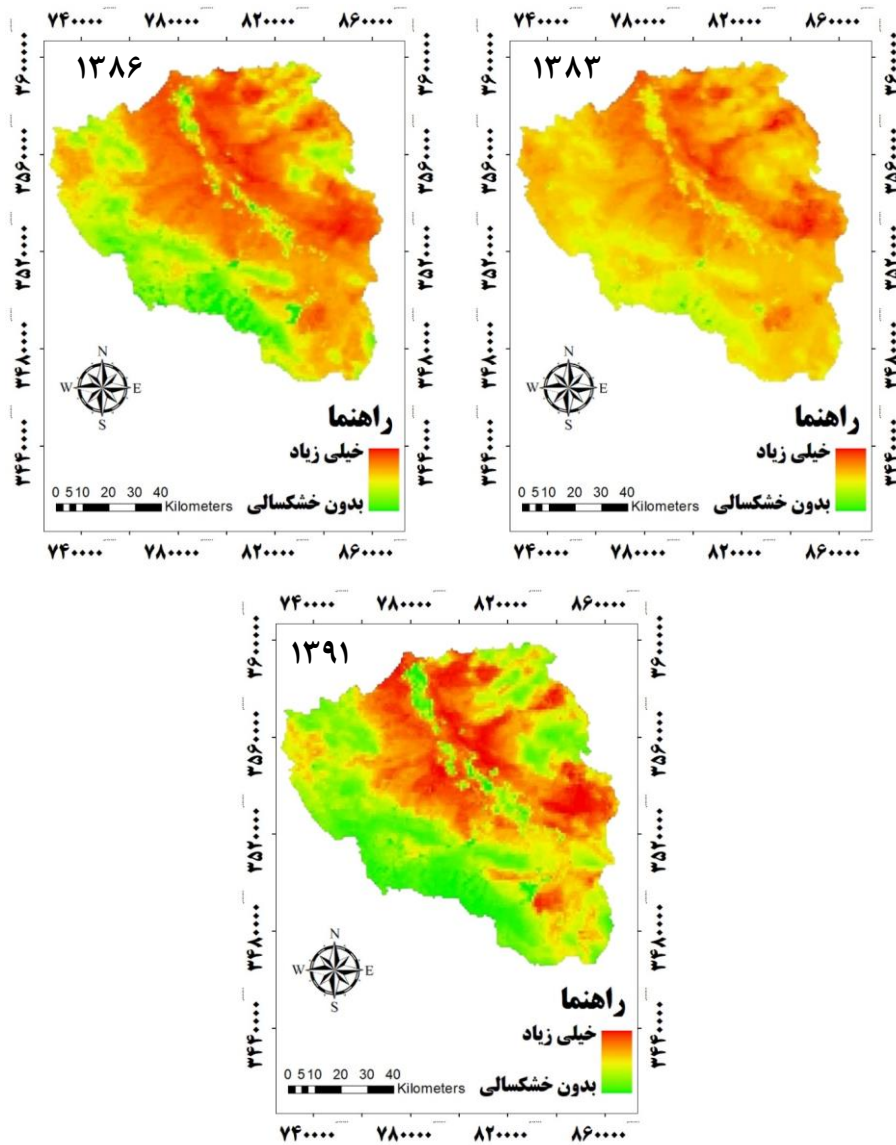
جدول ۳. مؤلفه‌های رگرسیون خطی لبه خشک و لبه مرطوب

تاریخ	لبه مرطوب	لبه خشک
۱۳۸۰	$LST_{Min}(NDVI) = -39/86NDVI + 46/24$	$LST_{Max}(NDVI) = -125/8NDVI + 55/6$
۱۳۸۱	$LST_{Min}(NDVI) = 12/48 NDVI+ 38/07$	$LST_{Max}(NDVI) = -118/19NDVI + 51/59$
۱۳۸۲	$LST_{Min}(NDVI) = 12/07 NDVI+ 37/85$	$LST_{Max}(NDVI) = -109/15NDVI + 50/98$
۱۳۸۳	$LST_{Min}(NDVI) = -45/26NDVI + 42/1$	$LST_{Max}(NDVI) = -159/86NDVI + 58/19$
۱۳۸۴	$LST_{Min}(NDVI) = -28/38NDVI + 45/26$	$LST_{Max}(NDVI) = -109/15NDVI + 52/68$
۱۳۸۵	$LST_{Min}(NDVI) = -93/45NDVI + 52/6$	$LST_{Max}(NDVI) = -87/18NDVI + 52/74$
۱۳۸۶	$LST_{Min}(NDVI) = -81/47NDVI + 49/52$	$LST_{Max}(NDVI) = -89/1NDVI + 52/56$
۱۳۸۷	$LST_{Min}(NDVI) = -47/55NDVI + 44/19$	$LST_{Max}(NDVI) = -46/24NDVI + 45/6$
۱۳۸۸	$LST_{Min}(NDVI) = -7/16NDVI + 32/66$	$LST_{Max}(NDVI) = -21/68NDVI + 36/04$
۱۳۸۹	$LST_{Min}(NDVI) = -98/82NDVI + 49/52$	$LST_{Max}(NDVI) = -131/17NDVI + 51/69$
۱۳۹۰	$LST_{Min}(NDVI) = -32/12NDVI + 43/91$	$LST_{Max}(NDVI) = -22/39NDVI + 40/27$
۱۳۹۱	$LST_{Min}(NDVI) = -37/17NDVI + 41/99$	$LST_{Max}(NDVI) = -140/79NDVI + 57/9$
۱۳۹۲	$LST_{Min}(NDVI) = -42/16NDVI + 43/19$	$LST_{Max}(NDVI) = -140/32NDVI + 54/48$
۱۳۹۳	$LST_{Min}(NDVI) = -32/38NDVI + 46/87$	$LST_{Max}(NDVI) = -115/08NDVI + 56/74$

تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های TVDI و NDVI

با تحلیل داده‌های اقلیمی، سه دوره نرمال، خشک و مرطوب شناسایی و تغییرات زمانی شاخص‌ها بررسی شد. سال آبی ۱۳۸۳ (۲۰۰۴ میلادی) به‌عنوان سال نرمال و سال آبی ۱۳۸۶ (۲۰۰۸ میلادی) به‌عنوان سال خشک و سال آبی ۱۳۹۱ (۲۰۱۲ میلادی) به‌عنوان سال مرطوب در نظر گرفته شد. تغییرات مکانی و زمانی شاخص‌های خشکسالی TVDI و NDVI در روز ۱۵ اردیبهشت در شکل ۴ نشان داده شده است. بررسی روند تغییرات شاخص TVDI در اردیبهشت سال ۱۳۸۳ نشان می‌دهد که مناطق مرکزی و جنوب شرقی دشت یزد-اردکان از خشک‌ترین نواحی است. در حالی که نواحی غرب و جنوب

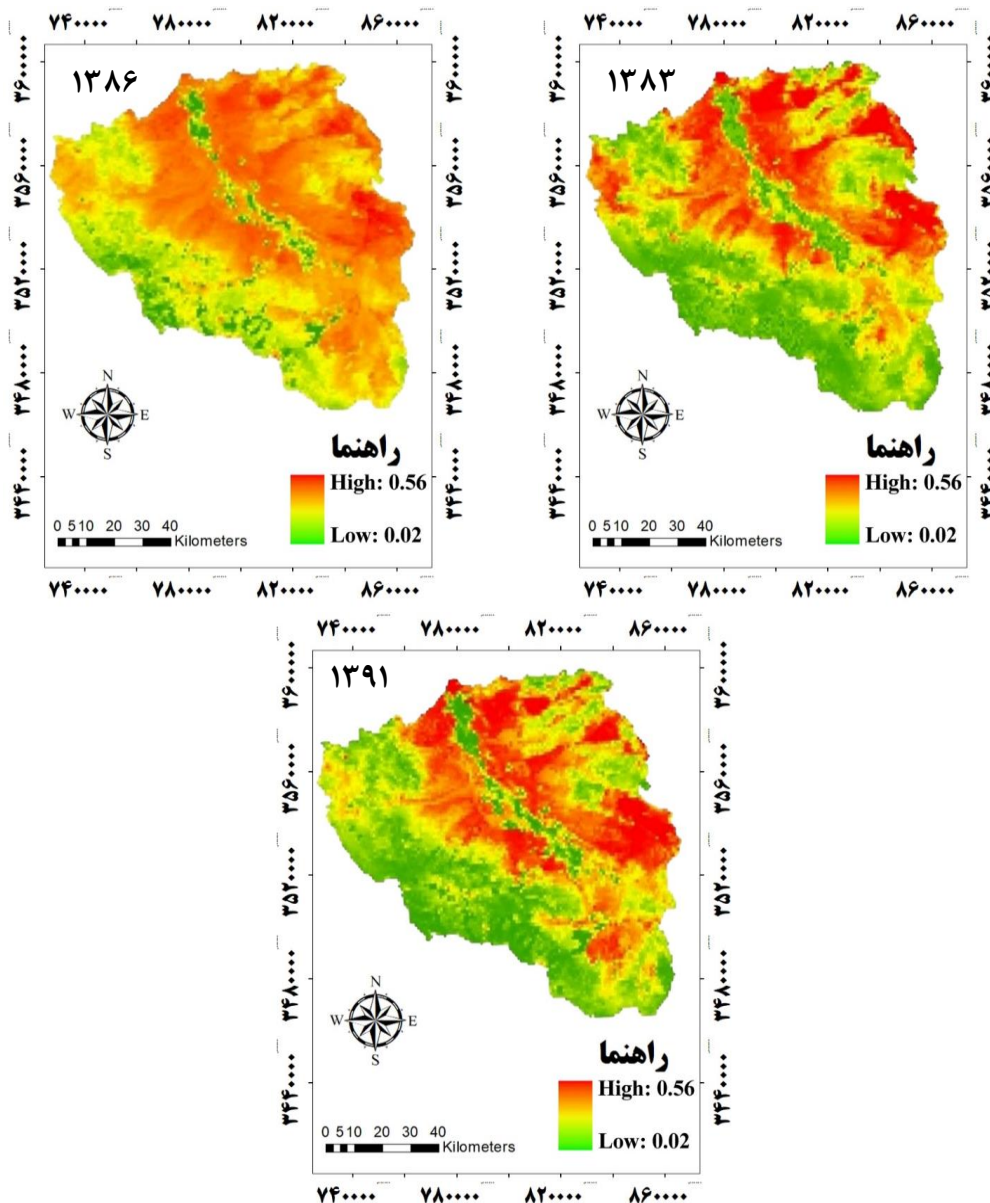
غربی از مقدار TVDI کمتری برخوردار است. بیشتر مناطق در سال ۱۳۸۶ دچار خشکی شده و این خشکی در قسمت‌های مرکزی و شرقی شدیدتر است. در سال ۱۳۹۱ - به‌عنوان سال مرطوب - قسمت‌های مرکزی و شرقی همچنان نسبت به سایر مناطق، TVDI بیشتر و وضعیت خشک‌تری را نشان می‌دهند. مقدار شاخص TVDI، در سال‌های یادشده به‌ترتیب ۰/۷۱، ۰/۸۹ و ۰/۴۲ است که نشان‌دهنده روند منطقی در افزایش و کاهش شاخص TVDI است. میانگین TVDI کل دشت در سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۸۶ و ۱۳۹۱ به عدد یک نزدیک‌تر شده و بیشتر مناطق دچار خشکسالی شده است.



شکل ۴. نقشه پراکنش خشکسالی بر پایه شاخص TVDI

بارش نسبت به سال‌های پیشین افزایش داشته است، مقدار پوشش گیاهی در منطقه نسبت به سال‌های قبل افزایش یافته است، هرچند مناطق مرکزی و شرقی همچنان دچار خشکسالی هستند. میانگین NDVI کل منطقه در سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۸۶ و ۱۳۹۱ به ترتیب ۰/۱۱، ۰/۰۸ و ۰/۱۳ است که نشان می‌دهد افزایش و کاهش NDVI روندی منطقی دارد. در سال ۱۳۸۶ این مقدار به عدد صفر نزدیک‌تر شده و بیشتر مناطق دچار خشکسالی شده و فاقد پوشش گیاهی‌اند.

تحلیل روند تغییرات شاخص پوشش گیاهی NDVI در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۶ و ۱۳۹۱ نشان می‌دهد که الگویی تقریباً مشابه با شاخص TVDI دارد (شکل ۵). در سال ۱۳۸۳ به‌عنوان سال آبی عدی-مقدار NDVI در قسمت‌های مرکزی و شرقی دشت، بسیار کم و در قسمت شمال شرقی منطقه، نیز دچار خشکسالی است. مقدار پوشش گیاهی در منطقه در سال ۱۳۸۶، بسیار کاهش داشته و بیشتر منطقه بجز در قسمت‌های غرب و جنوب غربی دچار خشکسالی شده‌اند. در سال ۱۳۹۱ که مقدار



شکل ۵. نقشه پراکنش پوشش گیاهی (NDVI)

NDVI عملکرد بهتری در پهنه‌بندی خشکسالی دارد و می‌تواند در کنار شاخص SPI استفاده شود.

مقایسه نقطه‌ای شاخص‌های TVDI و NDVI با SPI به منظور ارزیابی بهتر نتایج، به جای بهره‌گیری از میانگین شاخص‌ها برای کل منطقه، از مقدار نقطه‌ای شاخص‌های NDVI و TVDI در محل هر یک از ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شد. برای نمونه، مقدار شاخص SPI شش ماهه ایستگاه مهریز در اردیبهشت ۱۳۸۶ برابر با $-1/61$ و مقادیر شاخص‌های TVDI و NDVI به ترتیب $0/87$ و $0/1$

مقایسه شاخص‌های NDVI و TVDI با شاخص SPI مقایسه میانگین سطحی شاخص‌های NDVI و TVDI با شاخص SPI

ضریب رگرسیون پیرسون بین مقادیر شاخص‌های NDVI و TVDI با مقدار شاخص SPI محاسبه شد. مقدار همبستگی شاخص TVDI با SPI شش و دوازده ماهه به ترتیب $0/68$ و $0/71$ است. بهترین همبستگی میان این دو شاخص، در شاخص SPI ۱۲ ماهه بدست آمد. مقادیر همبستگی NDVI با SPI شش و دوازده ماهه در سطح معنی‌داری $0/05$ به ترتیب $0/49$ و $0/51$ است. نتایج نشان‌دهنده این است که شاخص TVDI نسبت به

ارتباط بین پوشش گیاهی و بارش به صورت مستقیم یا همبستگی مثبت است (شکل ۶ ب و ج). خشکسالی، به-عنوان پدیده‌ای تأثیرگذار بر پوشش گیاهی، ارتباط مستقیم با بارندگی و ارتباط معکوس با دما دارد. به عبارت دیگر، با افزایش دما و کاهش بارندگی، باید انتظار شدیدتر شدن تأثیر خشکسالی بر پوشش گیاهی منطقه را داشت.

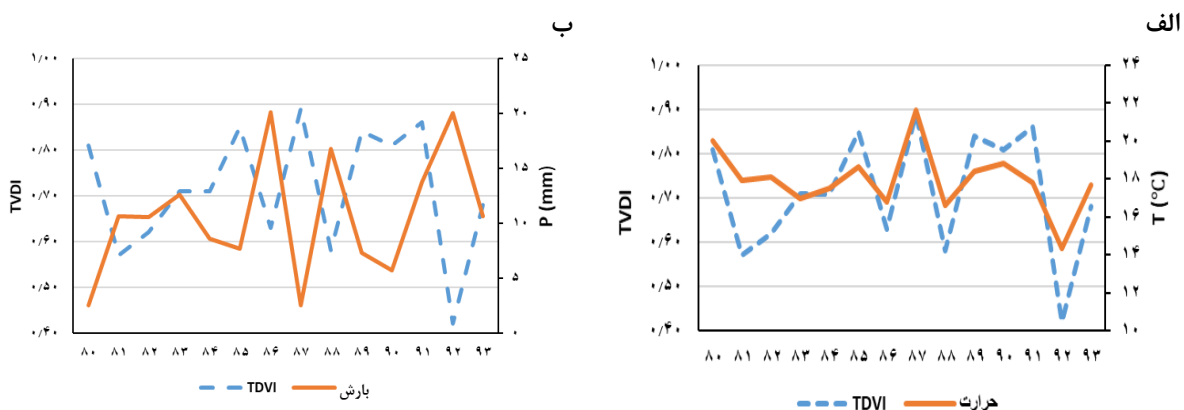
اثر بارش بر خشکسالی و پوشش گیاهی زمان‌بر است. پس از بررسی ارتباط میان شاخص‌های مورد نظر با بارش و میانگین دمای اردیبهشت و فروردین سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۳ نتایج نشان داد که شاخص TVDI با میانگین بارش همبستگی معکوس $-0/54$ و با میانگین دما همبستگی مستقیم $0/64$ دارد. شاخص NDVI با میانگین بارش همبستگی مستقیم $0/54$ و با میانگین دما همبستگی معکوس $-0/6$ دارد. از نظر ارتباط با عناصر اقلیمی مقدار بارش و دما در منطقه برای هر دو شاخص عملکرد یکسانی دارند (شکل ۶).

نتایج پژوهش حاضر با مطالعات متعددی تطابق دارد (۲۶، ۴، ۱۱). با توجه به نتایج، می‌توان چنین نتیجه گرفت که شاخص خشکی-دمایی TDVI می‌تواند نواقص شاخص پوشش گیاهی NDVI را جبران کند و به‌عنوان شاخصی مناسب برای شناسایی و پایش خشکسالی استفاده شود.

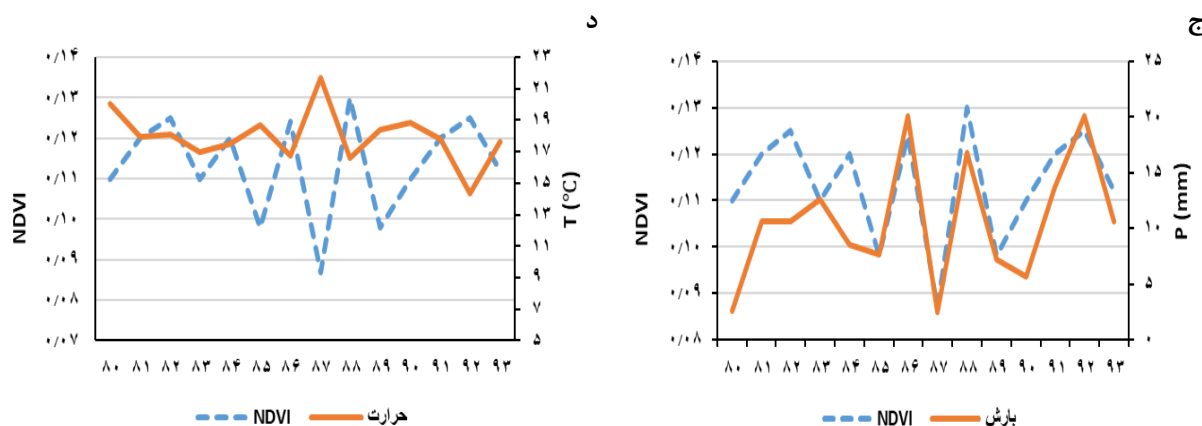
محاسبه شد. مقدار همبستگی شاخص TVDI با SPI شش ماهه در سطح معنی‌داری $0/05$ برای سال ۱۳۸۳، ۱۳۸۶ و ۱۳۹۱ به ترتیب $0/64$ ، $0/78$ و $0/67$ و با شاخص SPI دوازده ماهه به ترتیب $0/65$ ، $0/79$ و $0/69$ بدست آمد که نشان‌دهنده این است که عملکرد شاخص TVDI در سال ۱۳۸۶ بهتر از دو سال دیگر است. همچنین مقدار همبستگی شاخص NDVI با SPI شش ماهه در سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۸۶ و ۱۳۹۱ به ترتیب $0/41$ ، $0/5$ و $0/56$ و با SPI دوازده ماهه به ترتیب $0/52$ ، $0/57$ و $0/59$ است. مقدار بیشتر این شاخص در سال ۱۳۹۱ به دلیل افزایش پوشش گیاهی منطقه و افزایش بارش است. شاخص TVDI در پایش و پهنه‌بندی خشکسالی در منطقه نسبت به شاخص NDVI دقت بالاتری داشته و مقادیر آن به شاخص SPI نزدیک‌تر است.

ارتباط شاخص‌های خشکسالی با عناصر اقلیمی

از نظر اقلیمی، منطقه مورد مطالعه، به‌عنوان منطقه‌ای گرم و خشک طبقه‌بندی می‌شود. بنابراین، مهم‌ترین عناصر اقلیمی تأثیرگذار در این منطقه دما و بارندگی است. این امر به کمک ضرایب ارائه‌شده در ماتریس همبستگی نیز قابل درک است. ماتریس همبستگی نشان می‌دهد که ارتباط بین پوشش گیاهی و دما (شکل ۶ الف و د) به صورت عکس یا همبستگی منفی است.



شکل ۶. روند تغییرات شاخص‌های NDVI و TVDI با میانگین بارش و دمای دو ماهه



ادامه شکل ۶. روند تغییرات شاخص‌های NDVI و TVDI با میانگین بارش و دمای دو ماهه

عنوان شاخصی مناسب برای پایش و پهنه‌بندی خشکسالی در این منطقه فراخشک معرفی و قابلیت‌های آن تایید شد.

با توجه به بررسی منابع، لازمه بهره‌گیری از شاخص TVDI در پایش خشکسالی، انتخاب منطقه بزرگی است که همه شرایط رطوبتی اعم از شرایط خشک تحت تنش و شرایط مرطوب فاقد تنش را در بر داشته باشد. با توجه به توانایی و قابلیت شاخص دمایی خشکی-پوشش گیاهی TVDI از این شاخص می‌توان برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خشکسالی و روندیابی آن به منظور مدیریت خشکسالی و کاهش تاثیرات منفی آن استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر از محصولات دما و پوشش گیاهی سنجنده مودیس به منظور بررسی خشکسالی در دشت یزد-اردکان به کمک شاخص‌های NDVI و TVDI استفاده شد. بررسی زمانی و مکانی شاخص‌های مذکور نشان می‌دهد که با تغییر در مقدار بارش، مقادیر شاخص‌ها نیز دچار تغییر می‌شود. مقادیر هر دو شاخص در سال خشک ۱۳۸۶، نسبت به سال نرمال ۱۳۸۳ و سال نسبتاً مرطوب ۱۳۹۱ بالاتر بوده که نشان‌دهنده وجود خشکی بیشتر در سال ۱۳۸۶ است. شاخص TVDI به دلیل همبستگی بالا با شاخص SPI شش و دوازده ماهه به-

References

- Bannari, A., Asalhi, H., & Teillet, P. M. (2002). Transformed difference vegetation index (TDVI) for vegetation cover mapping. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002. IGARSS'02. 2002 IEEE International*, 5, 3053-3055.
- Chopra, P., (2006) Drought risk assessment using remote sensing and GIS, A case study in Gujarat, M. Sc. Thesis, Dept. of Geo-information Science and Earth Observation, ITC, Netherlands.
- Fensholt, R., Rasmussen, K., Nielsen, T. T., & Mbow, C. (2009). Evaluation of earth observation based long term vegetation trends—Inter comparing NDVI time series trend analysis consistency of Sahel from AVHRR GIMMS, Terra MODIS and SPOT VGT data. *Remote Sensing of Environment*, 113(9), 1886-1898.
- Gao, Z., Gao, W., & Chang, N. B. (2011). Integrating temperature vegetation dryness index (TVDI) and regional water stress index (RWSI) for drought assessment with the aid of LANDSAT TM/ETM+ images. *Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(3), 495-503.
- Han-Qiu, X. U. (2005). A Study on Information Extraction of Water Body with the Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI). *Remote Sensing*, 5, 589-595.
- Kassa, A. (1999). *Drought risk monitoring for the Sudan using NDVI* (Doctoral dissertation). University College, London.

7. Rouse, J.W., Haas, R.H., Scheel, J.A., and Deering, D.W. (1974) 'Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS.' Proceedings, 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium, 1, 48-62.
8. McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183). Boston, MA: American Meteorological Society.
9. Moran, J. F., Becana, M., Iturbe-Ormaetxe, I., Frechilla, S., Klucas, R. V., & Aparicio-Tejo, P. (1994). Drought induces oxidative stress in pea plants. *Planta*, 194(3), 346-352.
10. NASA. (2013). Landsat 7 Science Data Users Handbook.
11. Noori, S., & Sanaei Nejad, S. H. (2013). Evaluation of Drought Using the Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) and the Modified Temperature Vegetation Dryness Index (MTVDI) and MODIS Satellite Images. *Water and Soil*, 27(4), 753-762.
12. Patel, N. R., Anapashsha, R., Kumar, S., Saha, S. K., & Dadhwal, V. K. (2009). Assessing potential of MODIS derived temperature/vegetation condition index (TVDI) to infer soil moisture status. *Remote Sensing*, 30(1), 23-39.
13. Price, A. H., & Hendry, G. A. F. (1991). Iron-catalysed oxygen radical formation and its possible contribution to drought damage in nine native grasses and three cereals. *Plant, Cell & Environment*, 14(5), 477-484.
14. Rahimzadeh Bajgiran, P, Gholami, N. (2012). Assessment Long-term sustainable biomass plants Rangelands using MODIS data and climate data (Case study: Northern desert rangelands of Golestan province) (MSc. thesis). Gorgan University (in Farsi).
15. Rahimzadeh-Bajgiran, P., Omasa, K., & Shimizu, Y. (2012). Comparative evaluation of the Vegetation Dryness Index (VDI), the Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) and the improved TVDI (iTVDI) for water stress detection in semi-arid regions of Iran. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 68, 1-12
16. Rouse Jr, J., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA special publication*. Pp., 309-351.
17. Sandholt, I., Rasmussen, K., & Andersen, J. (2002). A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing of environment*, 79(2), 213-224.
18. USGS. 2015. Landsat 8 Data Users Handbook. Version 1.0. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.
19. Williamson, S. N., Hik, D. S., Gamon, J. A., Kavanaugh, J. L., & Flowers, G. E. (2014). Estimating temperature fields from MODIS land surface temperature and air temperature observations in a sub-arctic alpine environment. *Remote Sensing*, 6(2), 946-963.
20. Sun, H., Sun, X., Wang, H., Li, Y., & Li, X. (2012). Automatic target detection in high-resolution remote sensing images using spatial sparse coding bag-of-words model. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 9(1), 109-113.
21. Wu, Q., Li, H. Q., Wang, R. S., Paulussen, J., He, Y., Wang, M., ... & Wang, Z. (2006). Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS. *Landscape and urban planning*, 78(4), 322-333.
22. Xiao, B., Huang, Y., Tang, N., & Xiong, L. (2007). Over-expression of a LEA gene in rice improves drought resistance under the field conditions. *Theoretical and Applied Genetics*, 115(1), 35-46.
23. Yazdanpanah, H., Momeny, M., Momeny, M., Movahedy, S., Dezfollian, H., Movahedy, S., Soleimanitabar, M. (2014). Drought monitoring of south of Khuzestan province, Iran using remote sensing and SPI. *Geography and Environmental Planning*, 25(2), 85-98 (in Farsi).

24. Huang, X. Y., Chao, D. Y., Gao, J. P., Zhu, M. Z., Shi, M., & Lin, H. X. (2009). A previously unknown zinc finger protein, DST, regulates drought and salt tolerance in rice via stomatal aperture control. *Genes & Development*, 23(15), 1805-1817.
25. Zare Ernani, M. (2009). Biophysical assessment of desertification in the Yazd-Ardakan basin, Iran. Ghent University. Faculty of Bioscience Engineering, Ghent, Belgium.
26. Zurmand, S. (2012). Drought monitoring using remote sensing and climatic indicators in Khorasan Razavi province (MSc. thesis), Isfahan University of Technology, Faculty of Natural Resources, Isfahan, Iran (in Farsi).

Investigating the Trend of Drought Changes and Its Relation with Climatic Elements

A. A. Dehghani Tafti¹, M. Zare*², S. Z. Hosseini³, F. Arabi Aliabad⁴

1. MSc of Arid Lands Management, Faculty of Natural Resources and Eremology, Yazd University, Yazd, Iran.
2. Assistant Professor of Department of Arid Lands and Desert Management, Faculty of Natural Resources and Eremology, Yazd University, Yazd, Iran.
3. Assistant Professor of Department of Arid Lands and Desert Management, Faculty of Natural Resources and Eremology, Yazd University, Yazd, Iran.
4. Ph.D. Candidate, Combating Desertification, Faculty of Natural Resources and Eremology, Yazd University, , Yazd, Iran.

* Corresponding Author: mzernani@yazd.ac.ir

Received date: 01/12/2017

Accepted date: 04/06/2018

Abstract

Drought assessment and monitoring using traditional methods rely on rainfall data, which are limited in arid lands and often is very difficult to obtain near real time and costly. In contrast, remote sensing technology is a method for monitoring of large-scale drought. In this research, drought condition was analyzed using drought indices such as TVDI and NDVI from MODIS sensor data for the Yazd-Ardakan plain, Iran. First, relationship between the drought indices with climatic elements were detected. Coefficient of correlation between TVDI and SPI₆ and SPI₁₂ were 0.68 and 0.71, respectively. Correlation between NDVI and SPI₆ and SPI₁₂ were 0.49 and 0.51, respectively. Point correlation between TVDI and SPI₆ in 2004 (as a normal year), 2007 (dry) and 2012 (wet year), were 0.64, 0.78 and 0.67 and for the SPI₁₂ in the above-mentioned years were 0.65, 0.79 and 0.69, respectively. In other word, efficiency of the TVDI in 2007 is better than the other two years. Correlation of NDVI and SPI₆ in 2004, 2007 and 2012, were 0.41, 0.50 and 0.56, respectively. The correlation between NDVI and SPI₁₂ in 2004, 2007 and 2012, were 0.52, 0.57 and 0.59, respectively. TVDI which takes into account thermal and reflective bands, and soil moisture, is more accurate than the NDVI, which considers only amount of vegetation of the study area. Results showed that the relationship between vegetation and temperature is negative, while, the relationship between vegetation and precipitation is positive. Using of TDVI can compensate defects of the NDVI and used for identifying and monitoring drought.

Keywords: Arid Lands; Remote Sensing; Temperature Index; Vegetation Index; Yazd