

## تأثیر خشکسالی بر روند پوشش گیاهی حوضه‌ی آبخیز سد ملاصدرا، و کاربرد فنون سنجش از دور برای پایش آن

غلامعلی مظفری<sup>۱</sup>، مهدی نارنگی فرد<sup>۲\*</sup>

### چکیده

خشکسالی یک پدیده و خطر پیچیده‌ی طبیعی، ناشی از شکستن تراز آبی است، که تأثیر آن همیشه در حوزه‌های زیست محیطی مشهود می‌باشد. بدین منظور، به‌کارگیری فن‌آوری سنجش از دور در پایش خشکسالی، با توجه به کمبود ایستگاههای اندازه‌گیری عناصر آب‌وهوایی، بسیار پراهمیت است. در این پژوهش شاخصهای پوشش گیاهی NDVI، RVI، VCI، DSI، SAVI، VSWI، TCI و EVI حاصله از تصاویر سنجنده‌ی TM ماهواره‌ی LANDSAT به تاریخهای: ۲۰۱۰/۶/۱۳ و ۲۰۰۰/۵/۱۶ جهت پایش خشکسالی مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین، آمار بارندگی در بازه‌ی زمانی ۱۴ ساله (۱۹۹۸-۲۰۱۲) مستخرج از ماهواره‌ی TRMM با تفکیک مکانی  $0/25 \times 0/25$  درجه مشتمل بر ۱۵ نقطه دریافت گردیدند، سپس، با به‌کارگیری شاخصهای خشکسالی آزمون دنباله‌ها و شاخص معیار بارش سالانه (SIAP) سالهای تر و خشک مشخص گردیدند. نتایج بیانگر وجود پنج سال خشک (۲۰۱۱-۲۰۰۶)، چهار سال بهنجار و پنج سال تر می‌باشد. با بررسی شاخصهای NDVI و SAVI، شاهد افزایش مقادیر کمینه و بیشینه در سالهای تر می‌باشیم؛ همچنین، با توجه به این شرایط دمایی تأثیر بسزایی بر میزان خشکی دارد، با تلفیق شاخصهای پوشش گیاهی و دمای سطح زمین در شاخصهای VSWI - DSI میزان تفاوت مقادیر این شاخصها در سالهای تر و خشک به دست آمد.

**واژه‌های کلیدی:** پایش خشکسالی، شاخصهای پوشش گیاهی، ماهواره‌ی TRMM، حوضه‌ی آبخیز سد ملاصدرا

<sup>۱</sup> - دانشیار گروه جغرافیا طبیعی - آب و هواشناسی، دانشگاه یزد

<sup>۲</sup> - دانشجوی دوره دکترا جغرافیا طبیعی - آب و هواشناسی، دانشگاه یزد

\* - نویسنده مسوول مقاله: Mahdi.narangifard@gmail.com

## مقدمه

خشکسالی پدیده‌ای است که در طول تاریخ تمدنهای بشری را به خود مشغول کرده است (Richard and Heim, 2002). خشکسالی یکی از بلاهای طبیعی است که به‌طور بالقوه تحت هر وضعیت بارشی و دمایی امکان‌پذیر است. این رخداد در بین بلاهای طبیعی معمولاً به آهستگی، و گاه به سرعت، آثار خود را آشکار می‌سازد (مظفوری، ۱۳۸۵: ۱۷۴). این پدیده، اثرات منفی بزرگی بر منابع آب و محیطهای وابسته به آن گذاشته، و در برخی سالها زیانهای جبران‌ناپذیری را به دنبال دارد (نسیمی و محمدی، ۱۳۹۳: ۸۰). آنچه امروزه در مدیریت خشکسالی مدنظر است، انتقال مدیریت بحران به مدیریت خطر کردن می‌باشند. در همین راستا، پایش در زمان واقعی<sup>۱</sup> از ابزارهای کارآمد تحقق این نوع مدیریت است. سامانه‌های پایش که بر اطلاعات بارندگی تکیه می‌کنند، با محدودیت مواجهند، چه، اطلاعاتی که تأمین آنها در وسعت زیاد با مشکلاتی همراه است (جلیلی و همکاران، ۱۳۸۷). دقت در پایش و پراکنش فضایی و زمانی، و شدت خشکسالی ابزاری سودمند برای کاهش زیانها به شمار می‌آید. بدین منظور، پایش و گردآوری داده‌های مربوط به پدیده‌های سطح زمین، سپس پردازش این داده‌ها به وسیله‌ی فن‌آوری سنجش از دور به عنوان تنها راهکار پایش پیوسته محیط طبیعی جهت پژوهشهای گوناگون امروزه بسیار کارآمد می‌باشد؛ بدین جهت، پایش وضعیت خشکسالی در یک منطقه با استفاده از امواج منعکس شده‌ی طیف الکترومغناطیسی در بخش بازتابی، دمایی و کلان موج از سطح زمین، وضعیت پوشش گیاهی، رطوبت و دمای خاک را می‌توان مورد ارزیابی قرار داد. در حال حاضر، عملیات پایش پوشش گیاهی به وسیله‌ی فن‌آوری سنجش از راه دور، شامل استفاده از شاخص پوشش گیاهی، که در بسیاری از آنها با توابعی از بازتاب نوار طیفی قرمز و فروسرخ نزدیک، که به لحاظ نظری بر اساس یک شبیه ساده تاج پوشش گیاهی، معرفی شده است، صورت می‌گیرد. (Gilaber et al., 2002). شاخصهای گوناگون پوشش گیاهی، جهت برآورد میزان پوشش گیاهی از جمله: PDI, MPDI, VSWI, SAVI2, TCI, DEV, VCI, NDVI

، VTCI, DSI, VHI و NDWI مورد توجه پژوهشگران مختلف قرار گرفته‌اند. در این میان دو<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۳)، با به‌کارگیری شاخصهای خشکسالی (SDI<sup>۳</sup>)، (VCI)، (TCI) و با ادغام داده‌های ماهواره MODIS و TRMM، به پایش خشکسالی در استان شاندونگ چین از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۱ پرداختند. ژانگ<sup>۴</sup> و جیا (۲۰۱۳) هم با استفاده از داده‌های ماهواره TRMM به ارزیابی توانایی شاخصهای خشکسالی MIDI و SPI برای فصلهای رشد (آوریل تا اکتبر) سالهای ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ اقدام کردند. از دیگر پژوهشها در زمینه‌ی پایش خشکسالی با استفاده از داده‌های ماهواره TRMM می‌توان به پژوهشهای Ezzine و همکاران (۲۰۱۲)، Son و همکاران (۲۰۱۱)، Froking و همکاران (۲۰۱۴)، و عرفانیان و همکاران (۱۳۹۳) اشاره کرد. افزون بر آن احترامیان و همکاران، (۱۳۸۹)، باعقیده و همکاران (۱۳۹۰)، ثنایی‌نژاد و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از شاخص NDVI در، استان اصفهان و دشت مشهد، جلیلی و همکاران (۱۳۸۷) شاخصهای NDVI, VCI و DEV در استان تهران؛ شمسی‌پور و همکاران (۱۳۸۹)، شاخصهای NDVI, VCI, TCI و VHI<sup>۵</sup> در منطقه‌ی کاشان مستخرج از گروه داده‌های سنجنده AVHRR ماهواره‌ی NOAA؛ پرویز و همکاران (۱۳۹۰)، شاخصهای NDWI, VTCI, NDVI و DSI حاصل از تصاویر سنجنده‌ی MODIS در حوضه‌ی آبخیز سفید رود؛ ابراهیمی و همکاران (۱۳۸۹)، نیز با استفاده از شاخص PDI, MPDI و VSWI به دست آمده از سنجنده‌ی ETM+ ماهواره‌ی LANDSAT در منطقه‌ی شیرکوه یزد؛ پورمحمدی و همکاران (۱۳۹۱)، با استفاده از نمایه‌ی خشکسالی IDI و شاخص SAVI با کاربرد سنجنده MODIS در دشت یزد - اردکان، وضعیت خشکسالی را بررسی کردند.

بررسی نتایج پژوهشهای مختلف مرتبط با پدیده‌ی خشکسالی نشان می‌دهد که این پدیده با شرایط و میزان تاثیرگذاری متفاوتی در مناطق مختلف مواجه است. در این رابطه، روشهای آماری، همدیدی و سنجش از دوری

<sup>۲</sup> - Du

<sup>۳</sup> - synthesized drought index

<sup>۴</sup> - Zhang

<sup>۵</sup> - Vegetation Healthy Index

<sup>۱</sup> - near real-time

در این پژوهش، نخست به جهت آن منطقه‌ی مورد مطالعه فاقد ایستگاه همدید و بارانسنجی موثر با دوره‌ی مشترک آماری بلند مدت بوده، و آن جا که هدف از این پژوهش بررسی به کارگیری داده‌ها و فنون سنجش از دور در پایش خشکسالی است، از داده‌های بارش فراهم گردیده به وسیله‌ی ماهواره TRMM استفاده شد. به همین دلیل، داده‌های بارشی استخراج شده از ماهواره‌ی TRMM در قالب داده‌های سالانه در دوره‌ی زمانی ۱۵ ساله (۱۹۹۸-۲۰۱۲) با تفکیک مکانی  $0.25 \times 0.25$  درجه، مشتمل بر ۱۵ نقطه دریافت گردیدند (شکل ۲)، سپس بر اساس این داده‌ها و شاخصهای خشکسالی آزمون دنباله‌ها، Z بهنجار، و شاخص معیار بارش سالانه (SIAP)، سالهای مرطوب و خشک مشخص، و پهنه‌های بارشی در محیط نرم‌افزار ArcGIS ترسیم گردیدند. دومین داده‌ی مورد بررسی تصاویر ماهواره LANDSAT سنجنده‌ی TM (جدول ۱) با شماره ردیف<sup>۱</sup> و گذر<sup>۲</sup> ۳۹ - ۱۶۳ در سامانه‌ی جهانی WRS تعریف شود. به منظور استخراج شاخصهای پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گرفتند؛ که از آن میان (جدول ۲) شاخصهای NDVI، RVI، VCI، DSI، VSWI، SAVI، TCI و EVI در محیط نرم‌افزار ERDAS IMAGING با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استخراج گردیدند.

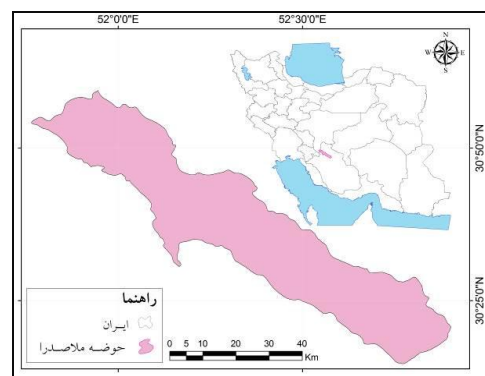
جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای LANDSAT سنجنده TM استفاده شده در پژوهش

ردیف	تاریخ برداشت میلاهی	تاریخ برداشت خورشیدی	ردیف و گذر	نوع سنجنده
۱	۲۰۰۰/۵/۱۶	۱۳۷۹/۳/۳۷	۱۶۳-۳۹	TM
۲	۲۰۱۰/۶/۱۳	۱۳۸۹/۳/۳۳	۱۶۳-۳۹	TM

گونگونی همواره جهت پایش خشکسالی مورد استفاده پژوهشگران بوده است، که هر کدام از این روشها دارای ویژگیهای خاص خود بوده، و در این زمینه استفاده‌ی تلفیقی از داده‌های سنجش از دور و آماری می‌تواند به بررسی اثرات خشکسالی، در مناطقی که دسترسی به داده‌های زمینی محدودند کمک بسزایی به نماید؛ بنابراین، با توجه به کارهای انجام شده، هدف این پژوهش استفاده-ی همزمان و ادغام داده‌های سنجش از دور، شامل داده‌های بارشی استخراج شده از ماهواره‌ی TRMM و شاخصهای پوشش گیاهی حاصل تصاویر ماهواره‌ی LANDSAT، سنجنده‌ی TM، جهت پایش دوره‌های مرطوب و خشک، و ارزیابی تأثیر آن بر شاخصهای پوشش گیاهی حوضه‌ی آبخیز سد ملاصدرا در طول دو دهه‌ی گذشته است. همچنین، مقایسه‌ی پهنه‌های بارشی در سالهای مرطوب و خشک در منطقه‌ی مورد مطالعه مورد نظر است.

## مواد و روش‌ها

حوضه‌ی آبخیز سد ملاصدرا بین عرضهای جغرافیایی ۳۰ درجه ۱۰ دقیقه و ۳۱ درجه شمالی و ۵۱ درجه ۴۵ دقیقه و ۵۲ درجه و ۵۵ دقیقه خاوری قرار دارد. مساحت این پهنه بالغ بر ۲۲۴۷/۷ کیلومتر مربع می‌باشد. به لحاظ تقسیمات سیاسی، منطقه‌ی مورد مطالعه در شهرستان اقلید، در شمال استان فارس واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

<sup>1</sup> - Row

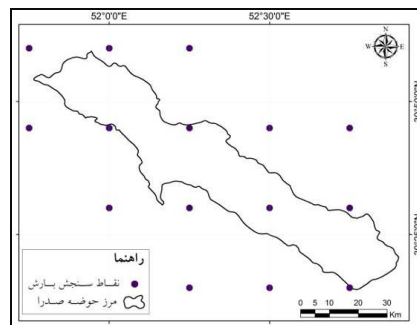
<sup>2</sup> - Path

### شاخص معیار بارش سالانه<sup>۱</sup>

شاخص معیار بارش سالانه از مجموع میانگین بارش و میانگین سال مفروض، و انحراف معیار داده‌ها بر اساس رابطه‌ی (۲) به دست می‌آید. همچنین، شدت شاخص با توجه به (جدول ۲) مشخص می‌گردد.

$$\text{SIAP} = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

$P_i$ : بارندگی سال  $i$  ام،  $\bar{P}$ : میانگین بارندگی در طول دوره‌ی آماری،  $SD$ : انحراف معیار گروه بارندگی می‌باشند.



شکل ۲- موقعیت داده‌های بارشی ماهواره TRMM مورد

استفاده در پژوهش

(Pearson & Miller, 1972; Rouse, Haas, Schell, Deering, & Harlan, 1974; Richardson & Wiegand, 1977; Baret & Guyot, 1991; Qi, Chehbouni, Huete, Kerr, & Sorooshian, 1994; Rondeaux, Steven, & Baret, 1996; Major et al., 1990; Kogan, 1995)

### شاخصهای خشکسالی

#### شاخص آزمون دنباله‌ها

در کاربرد این روش، سالهایی که بارندگی آنها کمتر از ۸۰ درصد میزان میانگین بارندگی طولانی مدت منطقه است به عنوان سال خشک در نظر گرفته می‌شوند (علیزاده، ۱۳۸۵: ۲۸۲).

$$X_0 = 0.8 \times P \quad \mapsto \quad (۱)$$

$$\begin{cases} X - X_0 < 0 & \text{خشکالی} \\ X - X_0 > 0 & \text{ترسالی} \end{cases}$$

که در آن  $P$ : میانگین بارندگی طولانی مدت منطقه، و  $X$ : بارندگی سالانه می‌باشد.

<sup>۱</sup> - standard index of annual precipitation (SIAP)

جدول ۲- طبقات شاخص SIAP (برنا و همکاران، ۱۳۸۹، ۸۱)

شاخص SIAP	$-0/25 < SIAP < 0/25$	$-0/52 < SIAP < -0/25$	$-0/84 < SIAP < -0/52$	$-1/28 < SIAP < -0/84$	$-1/28 > SIAP$
شدت خشکسالی	بهنجار	خشکسالی ضعیف	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	خشکسالی بسیار شدید

جدول ۳- شاخص پوشش گیاهی

ردیف	شاخص پوشش گیاهی	شاخص پوشش گیاهی
۱	$RVI = \frac{NIR}{R}$	$MSAVI = \frac{2NIR + 1 - \sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8(NIR - R)}}{2}$
۲	$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$	$OSAVI = \frac{NIR - R}{NIR + R + Y}$
۳	$PVI = \frac{NIR - BR - A}{\sqrt{1 + B^2}}$	$SAVI2 = \frac{R_{NIR}}{R_R + \frac{B}{\alpha}}$
۴	$TSAVI = \frac{B(NIR - BR - A)}{R + B(NIR - A) + X(1 + B^2)}$	$TCI = 100 \times \frac{BT_{max} - BT}{BT_{max} - BT_{min}}$

## شاخص بهنجار شده‌ی اختلاف پوشش گیاهی

NDVI<sup>۱</sup>

برای محاسبه‌ی NDVI از دو نوار قرمز و فروسرخ نزدیک استفاده گردید تا شاخص اختلاف گیاهی بهنجار شده از رابطه‌ی (۳) Rouse و همکاران (۱۹۷۴) معین گردد.

$$\text{رابطه‌ی (۳)} \quad NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

مقدار این شاخص در محدوده ۱- و ۱+ می‌باشد، که مقادیر آن برای پوشش گیاهی متراکم به سمت ۱ و برای پوشش تنک به سمت ۱- میل می‌کند.

شاخص DSI<sup>۲</sup>

این شاخص بر اساس اطلاعات حاصل از بازتاب طیفی و داده‌های حرارتی، از رابطه‌ی (۴) حاصل می‌شود:

$$\text{رابطه (۴)} \quad DSI = \Delta LST - \Delta NDVI$$

$\Delta LST = \frac{(LST - LST_0)}{\partial LST}$  &  $\Delta NDVI = \frac{(NDVI - NDVI_0)}{\partial NDVI}$   
 $LST$ : میانگین دمای سطح زمین و  $\partial LST$ : انحراف معیار دمای سطح زمین،  $\partial NDVI$ : انحراف معیار شاخص NDVI می‌باشد (Bayarjargal و همکاران، ۱۳۸۹).

## شاخص ذخیره‌ی آب سطحی (VSWI)

از این شاخص در سال ۱۹۹۴ به وسیله‌ی کارسون<sup>۳</sup> ارائه

شد و رابطه‌ی (۵) محاسبه می‌شود (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۸۹).

$$\text{رابطه‌ی (۵)} \quad VSWI = \frac{NDVI}{LST}$$

که در آن NDVI شاخص بهنجار شده‌ی پوشش گیاهی، و LST<sup>۴</sup> دمای سطح زمین می‌باشند.

شاخص پوشش گیاهی با تنظیم انعکاس خاک<sup>۵</sup>

شاخص SAVI نخستین بار به وسیله‌ی هیوت و همکاران (۱۹۹۷) ارائه گردید. از اهداف این شاخص به حداقل رساندن اثرات خاک پس زمینه بروی سیگنال‌های پوشش گیاهی با ترکیب کردن عامل تنظیم کننده‌ی خاک (L) و مخرج معادله‌ی NDVI می‌باشد. دلایل دیگر استفاده از این شاخص آن است که خطوط همپوش گیاهی موازی نبوده و بطور کامل یک نقطه را پوشش نمی‌دهند. شاخص پوشش گیاهی با تنظیم بازتاب خاک (SAVI) یک شاخص عالی گیاهی عالی برای محیطهایی با پوشش کم می‌باشد که از رابطه‌ی (۶) به دست می‌آید:

$$\text{رابطه‌ی (۶)} \quad SAVI = \frac{NIR - R(L+1)}{(NIR + R + L)}$$

که در آن L: عامل تعدیل کننده‌ی اثر خاک است که معمولاً با آزمون ولغزش برآورد می‌شود. اگر L صفر باشد، SAVI همانند NDVI است. برای مقادیر متوسط پوشش گیاهی، L در حدود ۰/۵ می‌باشد. فاکتور تضمین می‌کند

<sup>۴</sup> - land surface temperature

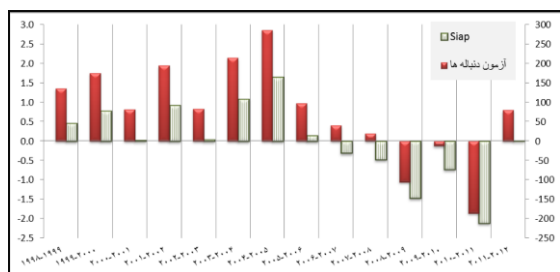
<sup>۵</sup> - soil adjusted vegetation index (SAVI)

<sup>۱</sup> - normalized difference vegetation index

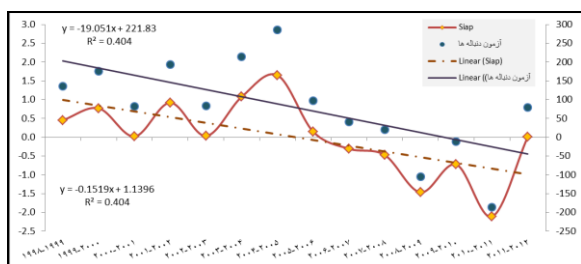
<sup>۲</sup> - drought severity index

<sup>۳</sup> - Clarson

دنباله‌ها و شاخص معیار بارش سالانه (SIAP) مورد تحلیل قرار گرفتند (شکل ۳). بر اساس این یافته‌ها، با توجه به آزمون دنباله‌ها، سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۹، ۲۰۰۹-۲۰۱۰ و ۲۰۱۰-۲۰۱۱ شاهد خشکسالی، و در بقیه‌ی سالها با ترسالی روبرو بوده ایم. بر پایه‌ی شاخص معیار بارش سالانه نیز، افزون بر سالهای ۲۰۰۸-۲۰۰۹، ۲۰۰۹-۲۰۱۰، که به ترتیب با خشکسالی بسیار شدید و متوسط و ۲۰۱۰-۲۰۱۱، با خشکسالی مصیبت‌بار همراه بوده است، سالهای آبی ۲۰۰۶-۲۰۰۷، ۲۰۰۷-۲۰۰۸ هم خشکسالی ضعیف رخ نموده است. بطور کلی، روند دوره‌های بارشی از سالهای مرطوب به سمت خشکی در بازه‌ی زمانی (۱۹۹۸-۲۰۱۲) متمایل است (شکل ۴).



شکل ۳- شاخص‌های خشکسالی آزمون دنباله‌ها و SIAP در منطقه مورد مطالعه



شکل ۴- روند شاخص‌های خشکسالی آزمون دنباله‌ها و SIAP در منطقه مورد مطالعه

پهنه‌بندی اندازه‌ی میانگین بارش سالانه‌ی حوضه، به همراه پهنه‌بندی سال آبی تر (سال ۲۰۰۴-۲۰۰۵) و سال آبی خشک (سال ۲۰۱۰-۲۰۱۱) به ترتیب به عنوان پرباثرترین و خشکترین سال آبی در بازه‌ی زمانی مورد مطالعه ترسیم گردید. همچنین، سال آبی (۱۹۹۹-۲۰۰۰) به عنوان ترسالی، که به نمایندگی دوره‌ی مرطوب در نظر

که دامنه‌ی SAVI همانند NDVI بین ۱- و ۱+ قرار می‌گیرد.

### کسر شاخص گیاهی ساده<sup>۱</sup>

کسر مزبور ساده‌ترین شاخص گیاهی می‌باشد که نخستین بار به وسیله‌ی جوردن<sup>۲</sup> در سال ۱۹۶۹ ارائه گردیده است. این شاخص شیب خطی است که ابتدا و انتهای پوشش گیاهی را در فضای قرمز تا مادون قرمز به هم متصل می‌کند. این شاخص با استفاده از رابطه‌ی (۷) محاسبه می‌گردد.

$$RVI = \frac{NIR}{R} \quad (7)$$

که در آن NIR و R به ترتیب مقادیر پیکسل در نوارهای مادون قرمز نزدیک و نوار قرمز می‌باشند. مقادیر این شاخص بین صفر و بینهایت است؛ محدوده‌ی تغییرات معمول برای پوشش گیاهی بین ۲ تا ۸ می‌باشد (رحمانی و همکاران، ۱۳۹۰).

### شاخص EVI<sup>۳</sup>

شاخص ارتقاء یافته‌ی پوشش گیاهی است، که در آن از سطح بازتاب ارزشهای فردی نوار (آبی، قرمز، و فروسرخ نزدیک) استفاده می‌گردد. این شاخص از رابطه‌ی (۸) به دست می‌آید: Huete، ۱۹۹۵؛ Huete و همکاران، ۱۹۹۷؛ Justice و همکاران، ۱۹۹۸)

$$EVI = G \times \frac{NIR - RED}{NIR + C_1 \times RED - C_2 \times BLUE + L} \quad (8)$$

که در آن  $G = 2/5$ ،  $L = 1$  و  $C_1$  و  $C_2$  به ترتیب، ۶ و ۷/۵ می‌باشد Xiao و همکاران، ۲۰۰۳؛ Ginciene و Bitencourt، ۲۰۱۱). سرانجام، از مجموع شاخصهای پوشش گیاهی ذکر شده، جهت محاسبه‌ی میزان تاثیر دوره‌های ترسالی و خشکسالی بر شاخصهای پوشش گیاهی از شاخصهای NDVI، RVI، VCI، DSI، VSWI، SAVI، TCI و EVI استفاده گردید.

### نتایج و بحث

داده‌های بارش با کاربرد شاخصهای خشکسالی آزمون

<sup>1</sup> - Ratio Vegetation Index (RVI)

<sup>2</sup> - Jordan

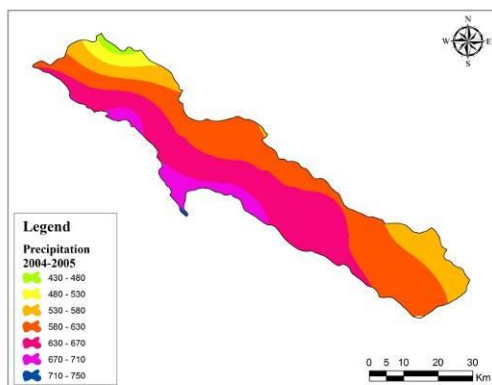
<sup>3</sup> - enhanced vegetation index

نشان داد که در سال مرطوب مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین NDVI به ترتیب ۰/۷۹، ۰/۱۴- و ۰/۶۸ (شکل ۱۰) در مقابل مقادیر این شاخص در سال خشک ۰/۷۴، ۰/۴- و ۰/۷۲ می‌باشند (شکل ۹). ارقام حاصله نشانگر کاهش ۰/۲۶ کمینه، و ۰/۰۵ بیشینه‌ی شاخص بهنجار شده پوشش گیاهی در خشکسالی است. شاخص SAVI نیز مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین در سال مرطوب به ترتیب ۰/۷۳، ۰/۴۳- و ۰/۱۶ (شکل ۱۲) و در سال خشک ۰/۶۸، ۰/۷۵- و ۰/۱۵ می‌باشد (شکل ۱۱). در این شاخص نیز ارقام حاصله نشان دهنده‌ی کاهش ۰/۳۲ کمینه و ۰/۰۵ بیشینه در خشکسالی است. شاخص ذخیره‌ی آب سطحی VSWI نیز در سال مرطوب از مقادیر بیشتری برای بیشینه و کمینه، نسبت به دوره‌ی خشک برخوردار است (شکل ۱۳). این میزان کاهش در بیشینه‌ی شاخص ۰/۰۲۹ و در کمینه‌ی آن ۰/۱۴۴ می‌باشند. همچنین، کمینه‌ی شاخص DSI نیز با کاهش ۰/۲ مواجه است (شکل ۱۶). کسر شاخص گیاهی (RVI). نیز از همین روند کاهشی تبعیت می‌کند؛ بدین ترتیب که در سال مرطوب نسبت به سال خشک، بیشینه‌ی شاخص به میزان ۱/۶۹ بیشتر است (شکل ۱۷ و ۱۸). بطور کلی، باید عنوان شود که در تمام پنج شاخص مورد بررسی به جز شاخص DSI، مقدار بیشینه‌ی شاخصها با کاهش مواجه بوده است. همچنین، مقادیر کمینه نیز در همه‌ی شاخصها با کاهش روبه رو بوده است.

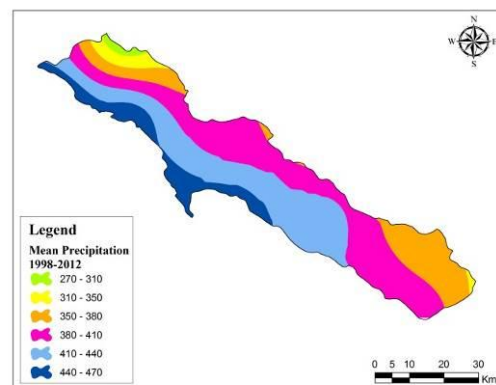
گرفته شده است، ترسیم شد. نقشه‌ی پهنه‌بندی میانگین بارش حوضه‌ی در بازه‌ی زمانی ۱۵ ساله نشان می‌دهد که نحوه‌ی توزیع بارش از جنوب به شمال از روند کاهشی پیروی نموده، و در مناطق شمالی با دامنه‌ی بارشی (۲۷۰-۳۱۰) میلی‌متر کمترین آن بوده، و در حاشیه‌ی جنوبی نیز با دامنه‌ی بارشی (۴۴۰-۴۷۰) میلی‌متر به بیشینه‌ی مقدار خود می‌رسد (شکل ۵). این روند در مرطوبترین سال (۲۰۰۴-۲۰۰۵) نیز صادق است، با این تفاوت که دامنه‌ی بارشی (۶۷۰-۷۱۰) و (۴۳۰-۴۸۰) میلی‌متر به ترتیب بیشترین و کمترین دامنه در منطقه‌ی مطالعاتی می‌باشد (شکل ۶). در مقایسه، دو سال نماینده نشان می‌دهند که کمینه‌ی دامنه‌ی بارشی در خشکسالی (۲۰۱۰-۲۰۱۱) خشکسالی و (۱۹۹۹-۲۰۰۰) ترسالی به (۷۸-۹۱)، و بیشینه‌ی آن (۱۶۰-۱۷۰) میلی‌متر کاهش یافته (شکل ۷)، و در مقابل، در سال مرطوب این دامنه‌ی بارشی کمینه به (۳۲۰-۳۷۰) و بیشینه‌ی آن تا (۵۵۰-۵۹۰) میلی‌متر افزایش یافته است (شکل ۸).

سپس با در نظر گرفتن داده‌های موجود در بررسی شدت تأثیر گذاری خشکسالی و ترسالی بر شاخصهای پوشش گیاهی با به‌کارگیری شاخصهای NDVI، RVI، VCI، DSI، VSWI، SAVI، TCI و EVI نقشه‌های مربوطه در سالهای ۲۰۱۰ (خشکسالی) و ۲۰۰۰ (ترسالی) ترسیم گردیدند.

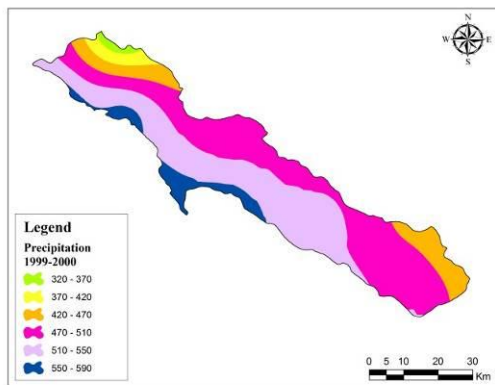
در این پژوهش، بهره‌وری از دو تصویر ماهواره‌ی لندست در سال کم باران و مرطوب در منطقه‌ی مورد مطالعه



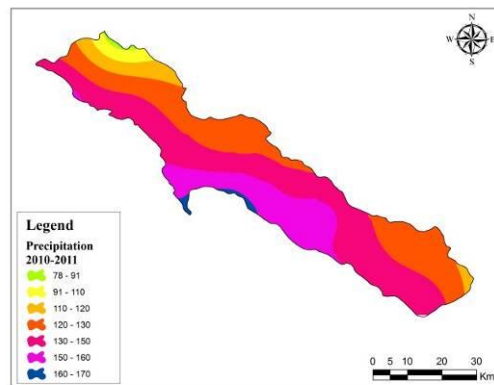
شکل ۶- پهنه بندی بارش در سال آبی ۲۰۰۴-۲۰۰۵



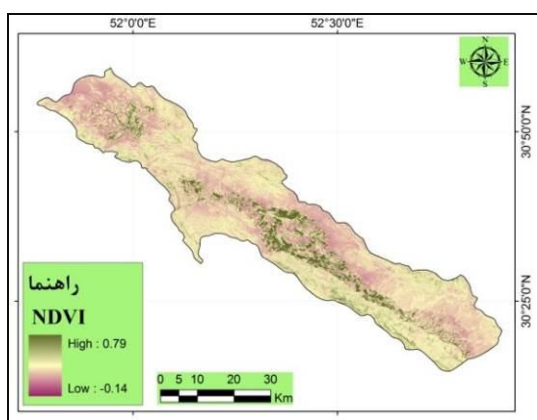
شکل ۵- پهنه بندی میانگین بارش ۱۹۹۸-۲۰۱۲



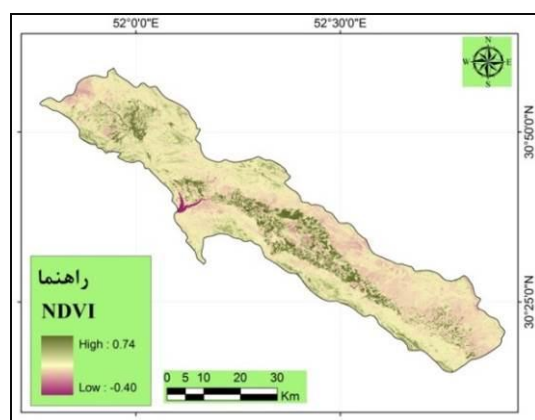
شکل ۸ - پهنه بندی بارش در سال آبی ۱۹۹۹-۲۰۰۰



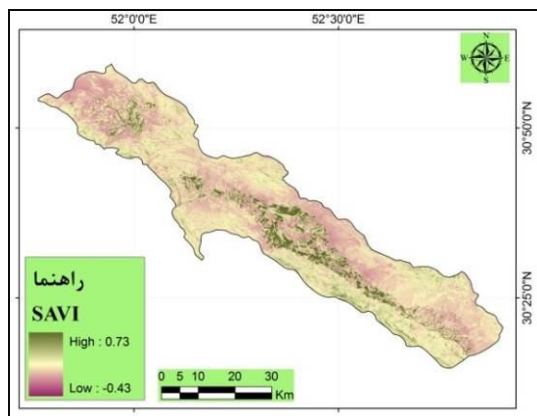
شکل ۷ - پهنه بندی بارش در سال آبی ۲۰۱۰-۲۰۱۱



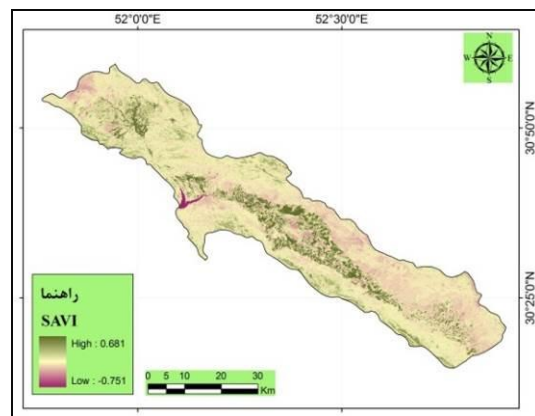
شکل ۱۰ - شاخص NDVI سال ۲۰۰۰ (ترسالی)



شکل ۹ - شاخص NDVI سال ۲۰۱۰ (خشکسالی)

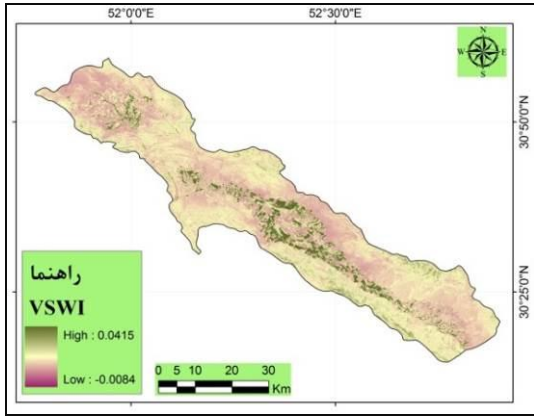


شکل ۱۲ - شاخص SAVI سال ۲۰۰۰ (ترسالی)

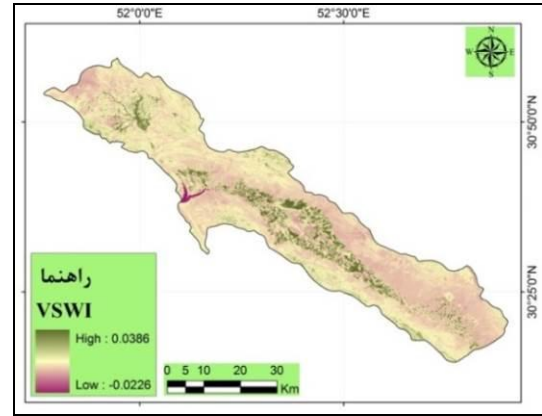


شکل ۱۱ - شاخص SAVI سال ۲۰۱۰ (خشکسالی)

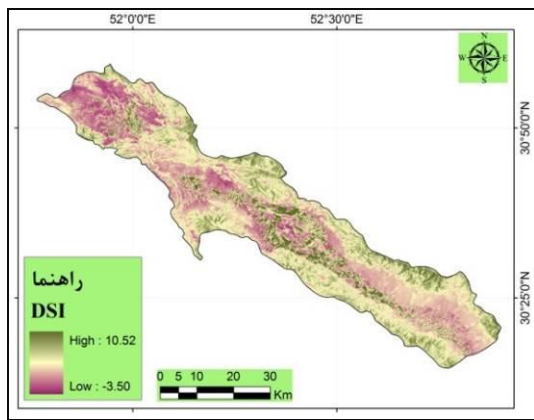




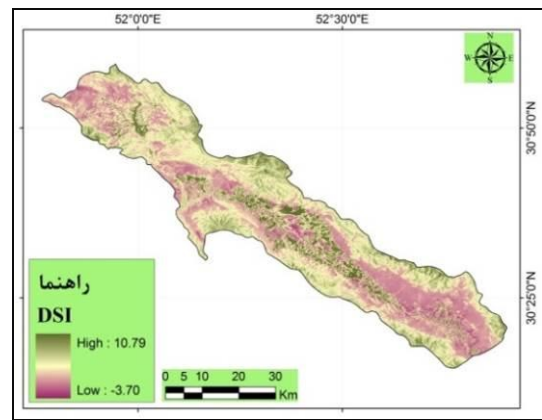
شکل ۱۴- شاخص VSWI سال ۲۰۰۰ (ترسالی)



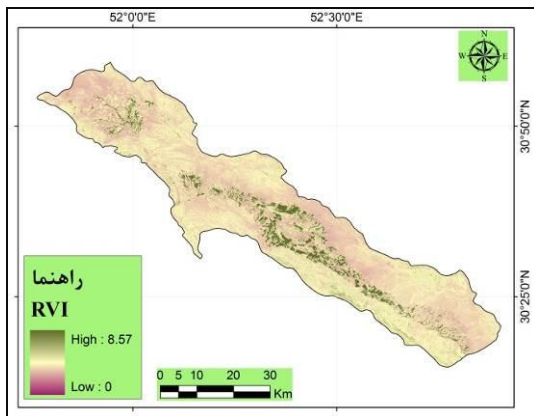
شکل ۱۳- شاخص VSWI سال ۲۰۱۰ (خشکسالی)



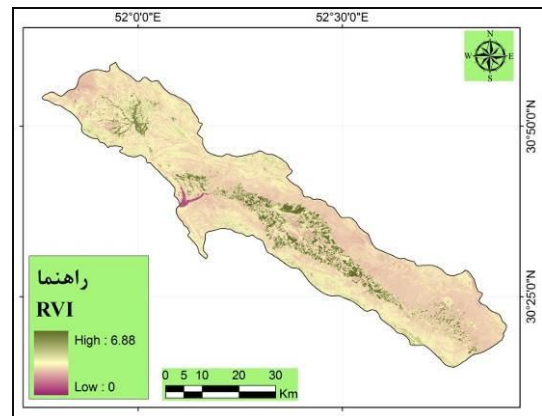
شکل ۱۶- شاخص DSI سال ۲۰۰۰ (ترسالی)



شکل ۱۵- شاخص DSI سال ۲۰۱۰ (خشکسالی)



شکل ۱۸- شاخص RVI سال ۲۰۰۰ (ترسالی)



شکل ۱۷- شاخص RVI سال ۲۰۱۰ (خشکسالی)

## نتیجه‌گیری

میانگین بارش حوضه‌ی در سال آبی تر (۲۰۰۴-۲۰۰۵) و سال آبی خشک (۲۰۱۰-۲۰۱۱) تفاوتی حدود ۵۰۰ میلی‌متر را دامنه‌های بارشی نشان می‌دهند. نقشه‌ی شدت خشکسالی میزان بیشتری را در مناطق شمالی حوضه عرضه نماید، در حالی که بخشهای جنوبی این حوضه حساسیت کمتری را نسبت به اثرات خشکسالی دارند. همچنین، نتایج حاصله از مدت خشکی در دوره‌های مختلف نشان دادند که خشکسالی در مناطق شمال از شدت بالاتر و مدت زمان طولانی‌تری نسبت به مناطق دیگر برخوردار است. همچنین در این پژوهش با استفاده از نوارهای دمایی و بازتابی از شاخصهای خشکسالی NDVI، RVI، DSI، VSWI و SAVI استفاده گردید. با توجه به این که افزایش دمای سطح زمین (LST) زودتر از کاهش پوشش گیاهی اتفاق می‌افتد، در شرایط خشک، افزایش دمای برگ می‌تواند نماد خوبی برای تنش رطوبت گیاه باشد (پرویز و همکاران، ۱۳۹۰). بدین جهت، کوشش شد با به‌کارگیری شاخصهای VSWI و DSI با تلفیق پوشش گیاهی و دمای سطح زمین نتایج مناسبتری حاصل گردند؛ این در حالی است که در پژوهش باعقیده و همکاران (۱۳۹۰) نتایج بیانگر ارتباط معنی داری بین شاخص خشکسالی (SPI) و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) در استان اصفهان می‌باشد. در پژوهشی دیگر، یزدانپناه و همکاران (۱۳۹۳) نیز بالاترین میزان همبستگی میان شاخصهای (SPI) و (NDVI) دوازده ماهه را نشان می‌دهند. کاهش ۰/۲۶ کمینه‌ی مقادیر شاخصهای NDVI، ۰/۳۲ شاخص SAVI، ۰/۲ شاخص DSI و ۰/۱۴۴ شاخص VSWI در مقابل کاهش ۱/۶۹ بیشینه‌ی مقادیر شاخصهای RVI، ۰/۰۲۹، VSWI، ۰/۰۵، SAVI و NDVI در دوره‌ی خشک نسبت به دوره‌ی مرطوب مقدار کاهش بیشتری را نشان می‌دهند، به عبارت دیگر میزان تاثیر پذیری مقادیر کمینه بیش از مقادیر بیشینه است.

با توجه به این به‌کارگیری داده‌های سنجش از دور با تلفیق داده‌های دو ماهواره‌ی TRMM و LANDSAT جهت پایش دوره‌های مرطوب و خشک، بویژه در مناطقی که فاقد ایستگاههای سنجش بارش (همدید و بارانسنجی) با دوره‌ی آماری مشترک کوتاه مدت می‌باشند، ضروری به نظر می‌رسد. اعتبارسنجی داده‌های بارشی نسخه‌ی ۷ ماهواره‌ی TRMM (3B43 V7) در پژوهشهای شیروانی و فخری‌زاده شیرازی، (۱۳۹۳)، احمدی و همکاران (۱۳۹۳)، و عرفانیان و همکاران (۱۳۹۳)، بیانگر کارایی و تطابق مناسب آنها با داده‌های زمینی است؛ بدین جهت، استفاده از داده‌های بارشی ماهواره‌ی TRMM، بویژه در زمینه‌ی پهنه‌بندی بارش و پایش خشکسالی، می‌تواند بسیار سودمند باشد. بدین منظور با در نظر گرفتن ویژگیهای جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه، با استفاده از ۱۵ نقطه‌ی بارشی با تفکیک مکانی مناسب (۰/۲۵ × ۰/۲۵ درجه)، سالهای همراه با تر و خشک استخراج گردیدند؛ سپس میزان تغییرات پوشش گیاهی در سالهای مرطوب و خشک با استفاده از پنج شاخص پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفت.

مقایسه‌ی دو شاخص آزمون دنباله‌ها و شاخص معیار بارش سالانه (SIAP) نشان داد که آزمون (SIAP) سالهای همراه با خشکسالی بیشتری را نشان می‌دهد. با توجه به این آزمونها از میان ۱۴ سال آماری مورد مطالعه، پنج سال همراه با خشکی است، که در سال آبی (۲۰۱۱-۲۰۱۰) با شدت مصیبت‌بار در سال (۲۰۰۹-۲۰۰۸) با شدت زیاد، سالهای ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸ با شدت ملایم؛ و سال (۲۰۱۰-۲۰۰۹) با شدت متوسط همراه بوده است. بطور کلی می‌توان گفت که ۲۰۰۶ شروع دوره‌ی خشکسالی است، که در سال ۲۰۱۱ به شدیدترین میزان خود می‌رسد. روند دوره‌های بارشی نیز تمایل سالهای مرطوب به سمت خشکی را در بازه‌ی زمانی (۱۹۹۸-۲۰۱۲) نشان می‌دهد.

با توجه به این فراسنجهای آب و هوایی مهمترین عوامل تأثیرگذار بر شرایط پوشش گیاهی به شمار می‌آیند، که در این میان مهمترین آن میزان بارش می‌باشد، بدین جهت نقشه‌های پهنه‌بندی میانگین بارش در بازه‌ی زمانی و سالهای تر و خشک ترسیم شد؛ نقشه‌های پهنه‌بندی

## منابع

۱. ابراهیمی خوسفی، م، ر، درویش‌زاده، ع. متکان، و د. عاشورلو. ۱۳۸۹. بررسی خشکسالی در مناطق خشک مرکزی ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با تکیه بر شاخص‌های گیاهی (مطالعه موردی: شیرکوه یزد). علوم محیطی. ۷ (۴): ۵۲-۷۹.
۲. احترامیان، ک، ع، شهاب‌فر، م، ناظم‌السادات، ۱۳۸۹. پیش‌بینی شرایط خشکسالی با استفاده از شاخص بهنجار شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI) در ایران، همایش ژئوماتیک.
۳. احمدی، م، م، نارنگی‌فرد، م، فنودی، ۱۳۹۳. اعتبار سنجی داده‌های بارشی ماهواره TRMM بر اساس داده‌های زمین‌مبنا در استان فارس، دوازدهمین کنگره جغرافیدانان ایران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد.
۴. باعقیده، م، ب. علیجانی، و پ ضیائیان. ۱۳۹۰. بررسی امکان استفاده از شاخص پوشش گیاهی NDVI در تحلیل خشکسالی‌های استان اصفهان. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک ۴: ۱-۱۶.
۵. برنا، ر، ف، عظیمی، ن، سعیدی دهکی، ۱۳۸۹. مقایسه شاخص‌های SIAP، PN و RAI در بررسی خشکسالی‌های استان خوزستان با تاکید بر ایستگاه‌های آبادان و دزفول. جغرافیا طبیعی ۹: ۷۷-۸۸.
۶. پرویز، ل، م، خلقی، خ، ولیزاده، ش. عراقی‌نژاد، و پ. ایران‌نژاد، ۱۳۹۰. بررسی کارایی شاخص‌های منتج از فن‌آوری سنجش از دور در ارزیابی خشکسالی هواشناسی؛ مطالعه موردی: حوضه‌ی آبخیز سفیدرود. جغرافیا و توسعه ۲۲: ۱۴۷-۱۶۴.
۷. پورمحمدی، س، م، رحیمیان، م. کلانتر، و س. پورمحمدی، ۱۳۹۱. پهنه‌بندی تأثیر خشکسالی بر پوشش گیاهی به وسیله‌ی سنجش از دور در دشت یزد-اردکان. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی ۴۴: ۲: ۱۲۵-۱۴۰.
۸. ثنائی‌نژاد، ح، ک. داوری، و ع. عابدی. ۱۳۸۶. پایش خشکسالی کشاورزی در دشت مشهد با استفاده از نمایه NDVI و معرفی نمایه جدید APVI. مجله علوم و صنایع کشاورزی (آب و خاک). ۱: ۸۹-۹۱.
۹. جلیلی، ش، س، مرید، پ، ضیائیان فیروزآبادی، ۱۳۸۷. مقایسه عملکرد شاخص‌های ماهواره‌ای و هواشناسی در پایش خشکسالی. تحقیقات آب و خاک ایران ۱: ۱۳۹-۱۴۹.
۱۰. رحمانی، ن، ک، شاهدی، م، میریعقوب‌زاده، ۱۳۹۰. ارزیابی شاخص‌های پوشش گیاهی مورد استفاده در سنجش از دور (مطالعه موردی: حوضه‌ی هرسیک). همایش ژئوماتیک.
۱۱. شمسی پور، ع، ک، علوی‌پناه، ح، محمدی، ۱۳۸۹. بررسی کارایی شاخص‌های گیاهی و حرارتی ماهواره NOAA-AVHRR در تحلیل خشکسالی منطقه کاشان. فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران ۳: ۴۴۵-۴۶۵.
۱۲. شیروانی، ا، ا، فخاری‌زاده شیرازی، ۱۳۹۳. مقایسه مقادیر مشاهداتی بارش و برآوردهای ماهواره TRMM در استان فارس، نشریه هواشناسی کشاورزی ۲(۲): ۱-۱۵.
۱۳. عرفانیان، م، ن، وفايي، م، رضایان‌زاده، ۱۳۹۳. ارائه‌ی یک روش نوین برای ارزیابی ریسک خشکسالی استان فارس با تلفیق داده‌های ماهانه بارندگی ماهواره TRMM و داده‌های شاخص پوشش گیاهی NDVI سنجنده Terra/MODIS. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی ۴۶: ۱: ۹۳-۱۰۸.
۱۴. علیزاده، ا، ۱۳۸۵. اصول هیدرولوژی کاربردی. مشهد. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
۱۵. فرج‌زاده، م، ا، فتح‌نیا، ب، علیجانی، پ، ضیائیان، ۱۳۹۰. ارزیابی تأثیر عوامل اقلیمی بر رشد پوشش گیاهی در مراتع متراکم ایران با استفاده از تصاویر AVHRR. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی ۷۵: ۱-۱۴.
۱۶. مظفری، غ، ۱۳۸۵. عدم تطابق خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژی در دو حوضه‌ی آبخیز همجوار در دامنه شمالی شیرکوه یزد. فصلنامه مدرس علوم انسانی ۱۷۴-۱۹۰.
۱۷. نسیمی، ع، ض، محمدی، ۱۳۹۳. ارزیابی آسیب‌پذیری استان یزد در برابر خشکسالی با استفاده از شاخص بارش معیار و روش‌های زمین‌آماری،

27. Justice, C. O., E., Vermote, J. R. G., Townshend, R., Defries, D. P., Roy, D. K., Hall, V. V., Salomonson, J. L., Privette, G., Riggs, A., Strahler, W., Lucht, R. B., Myneni, Y., Knyazikhin, S. W., Running, R. R., Nemani, Z., Wan, A. R., Huete, W., van Leeuwen, R. E., Wolfe, L., Giglio, J. P., Muller, P., Lewis, & M. J. Barnsley, 1998. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. *IEEE Trans Geosci Remote Sens.* 36: 1228–1249.
28. Kogan, F. N. 1995. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection, *Adv Space Res.* 15: 91–100.
29. Liu, Q., and A. Huete, 1995. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise, *IEEE Trans Geosci. Remote Sens.* 33: 457–465.
30. Major, D. J., F., Baret, and G. Guyot, 1990. A ratio vegetation index adjusted for soil brightness. *Int. J Remote Sens.* 11: 727-740.
31. Pearson, R. L., and L. D. Miller, 1972. Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie, Pawnee National Grasslands, Colorado, (II): 1355–1379. In *Proc. of the 8th Int Symp. Remote Sens Environ.*
32. Qi, J., Al., Chehbouni, A. R., Huete, Y. H., Kerr, and S. A. Sorooshian, 1994. Modified soil adjusted vegetation index (MSAVI). *Remote Sens Environ.* 48: 119–126.
33. Heim Jr., R. R. 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bull Am Meteorol. Soc.* 83: 1149-1165.
34. Richardson, A. J., and C. L. Wiegand, 1977. Distinguishing vegetation from soil background information. *مهندسی منابع آب* ۷: ۲۰-۲۹.
۱۸. یزدانپناه، ح، م، مومنی، ح. حسینقلی‌نژاد دزفولی، و م. سلیمانی تبار. ۱۳۹۳. مقایسه شاخص‌های پوشش گیاهی سنجش از دور در پایش خشکسالی (مطالعه موردی مراتع نیمه شمال استان خوزستان)، *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی* ۲۵: ۸۵-۹۸.
19. Du, L., Q., Tian, T. Yu, , Q., Meng, T., Jancso, P., Udvardy, Y. Huang. 2013. A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data. *Int J Appl Earth Observ Geoinform.* 23: 245-253.
20. Ezzine, H., A., Bouziane, D.Ouazar, 2014. Seasonal comparisons of meteorological and agricultural drought indices in Morocco using open short time-series data. *Int J Appl Earth Observ Geoinform.* 26: 36-48.
21. Froking, S., T., Milliman, M.,Palace, D., Wisser, R., Lammers, Fahnestock, M. 2011. Tropical forest backscatter anomaly evident in Sea Winds scatter meter morning overpass data during 2005 drought in Amazonia. *Remote Sensing of Environ.* 115: 897-907.
22. Gilabert, M.A., J., Gonza'lez-Piqueras, F.J., Garcı'a-Haro, J. Melia, 2002. A generalized soil-adjusted vegetation index. *Remote Sens Environ.* 82: 303–310.
23. Ginciene, B., M. D. Bitencourt, 2011. Utilização do EVI (Enhanced Vegetation Index) para maior sensibilidade na detecção de mudanças temporais em fragmentos de floresta estacional semidecidual. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.* 1620-1627.
24. <http://disc2.nascom.nasa.gov>
25. <http://earthexplorer.usgs.gov>
26. Huete, A. R., H. Q., Liu, K., Batchily, & W. J. D. A. Van Leeuwen, 1997. A Comparison of vegetation indices over a Global Set of TM Images for EOS-MODIS, *Remote Sens Environ.* 59: 440-451.

- and land surface temperature data. *Int J Appl. Earth Observ Geoinform.* 18: 417-427.
38. Xiao, X., B., Braswell, Q., Zhang, S., Boles, S., Frohling, B, Moore, 2003. Sensitivity of vegetation indices to atmospheric aerosols: continental-scale observations in Northern Asia. *Remote Sens Environ.* 84: 385–392.
39. Zhang, A., and G. Jia, 2013. Monitoring meteorological drought in semiarid regions using multi-sensor microwave remote sensing data, *Remote Sen Environ.* 134: 12-23.
- Photogram Eng. Remote Sens. 43: 1541–1552.
35. Rondeaux, G., M., Steven, and F. Baret, 1996. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sens. Environ.* 55: 95–107.
36. Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, and D.W. Deering. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symp. NASA SP-351: 309-317.
37. Son, N.T. C.F. Chen, C.R. Chen, L.Y. Chang, V.Q. Minh, 2012. Monitoring agricultural drought in the Lower Mekong Basin using MODIS NDVI

