

ارزیابی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و شاخص‌های خشکسالی مبتنی بر داده‌های سنجش از دور

محبوبه ملک ثابت*، کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی، مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه یزد، ایران
محمد زارع، استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، ایران
محمدحسین مختاری، استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، ایران
محمدرضا کوثری، دانشجوی دکترای مهندسی منابع طبیعی مرتع و آبخیزداری، دانشگاه یزد، ایران

چکیده

خشکسالی به عنوان پدیده‌ای طبیعی واجتناب‌ناپذیر، در مناطق مختلف اقلیمی، به ویژه مناطق خشک به فراوانی رخ می‌دهد. برای تعیین شدت و وسعت خشکسالی از شاخص‌های خشکسالی استفاده می‌شود که به طور مستقیم از داده‌های هواشناسی از جمله بارندگی محاسبه می‌شوند. در نبود داده‌های مذکور، فنآوری سنجش از دور، ابزاری مفید در پایش خشکسالی به شمار می‌رود. استان یزد با قرار گرفتن در فلات مرکزی ایران و محاصره شدن به وسیله کویرها و بیابان‌های مرکزی، تأثیر زیادییر تشدید و وقوع خشکسالی در این منطقه دارد. در این تحقیق بر اساس داده‌های ۲۵ ایستگاه سینوپتیک استان یزد طی دوره آماری ۲۰ ساله (۱۹۹۰-۲۰۱۰) به محاسبه شاخص‌های هواشناسی SPI و RDI در سری زمانی ۳، ۶ و ۱۸ ماهه و با کمک تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس که از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ دریافت شد. به محاسبه شاخص‌های سنجش از دوری VCI و LST پرداخته شد و پس از درونیابی شاخص‌های هواشناسی به بررسی همبستگی بین آن‌ها پرداخته شد. نتایج نشان‌دهنده همبستگی نسبتاً پایین شاخص‌ها بود به تکرار محاسبه همبستگی با کمک داده‌های نقطه‌ای ایستگاه‌ها پرداخته شد که نتایج نهایی حاکی از همبستگی مناسب بین شاخص‌هاست، به طوری که SPI و VCI در حدود ۰/۵ تا ۶۱/۳ درصد و LST و RDI بین ۲۵/۷ تا ۸۲/۱ به دست آمد. بر اساس نتایج به دست آمده شاخص‌های سنجش از دوری جایگزین مناسبی برای شاخص‌های هواشناسی در مطالعات مربوط به خشکسالی هستند.

کلمات کلیدی: مناطق خشک، خشکسالی، تصاویر ماهواره‌ای، مودیس، یزد

مقدمه

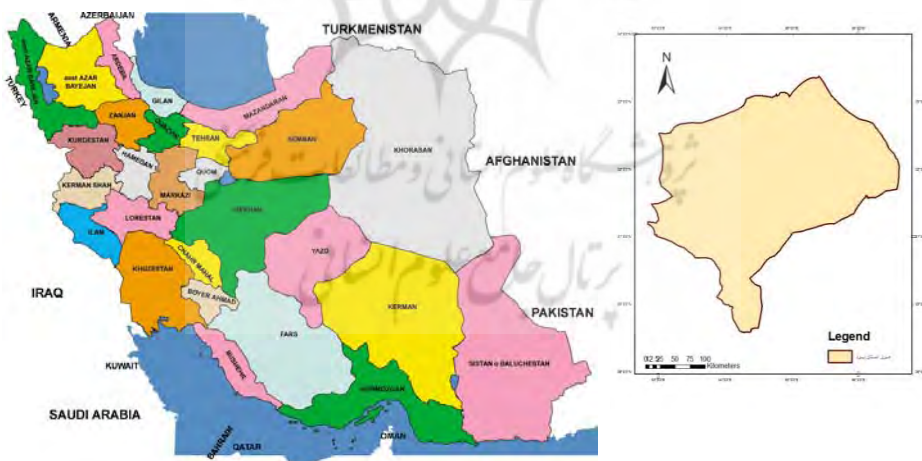
خشکسالی عبارت است از یک رویداد شدید منطقه‌ای و پایدار که طی آن دسترسی به منابع آب زیر شرایط متوسط قرار دارد (Tallaksen & Vanlane, 2004). تاکنون تعاریف زیادی از خشکسالی ارائه شده است، ولی هر یک از دیدگاه خاصی به آن نگاه کرده‌اند. به هر حال نبود یک تعریف جامع و دقیق از خشکسالی و متفاوت بودن معنی آن از دیدگاه‌های مختلف، مانع از درک مفهوم خشکسالی می‌شود. از آنجایی که خشکسالی بر همه جنبه‌های زندگی و بخش‌های مختلف جامعه به خصوص تغییر محیط طبیعی، تأثیر مستقیم و غیرمستقیم دارد، درک نادرست و ناقص مفهوم آن موجب تردید و رکود در بخش‌های مختلف اقتصادی، مدیریتی و سیاست‌گذاری می‌شود. شاخص‌های خشکسالی که اغلب به صورت عدد بیان می‌شوند، به منظور استفاده بیشتر از داده‌های خام جهت قابل فهم بودن و ایجاد قدرت تصمیم‌گیری برای طراحان و برنامه‌ریزان ساخته شده‌اند. شاخص‌های خشکسالی هواشناسی از داده‌های کوتاه مدت بارش، برف، روان آب، دما، ذخایر آبی و غیره برای تبدیل شدن به یک نمونه بزرگ قابل فهم ساخته می‌شوند. بعضی از شاخص‌های خشکسالی، میزان یک دوره زمانی معین مقدار بارش را که به لحاظ تاریخی نسبت به مقدار هنجار آن انحراف دارند، اندازه‌گیری می‌کنند. اگر چه هیچ شاخصی از نظر کمی و کیفی بالاتر از بقیه نیست، ولی برخی از شاخص‌ها ممکن است برای بعضی از کاربران مفیدتر و کارآمدتر باشند. با فراهم شدن داده‌های ماهواره‌ای متفاوت و فراگیر شدن استفاده از آنها، امکان مطالعه خشکسالی با استفاده از این فن آوری فراهم شده است. با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور می‌توان خشکسالی را از طریق آثاری که بر گیاهان و کشاورزی دارد، مطالعه کرد و به نتایج دقیق‌تر و موثرتری برای خشکسالی دریافت (Heim, 2002). این در حالی است که تصاویر سنجش از دور، دارای مزایای دیگری از جمله، تعداد نقاط نمونه برداری بیشتر، سطح پوشش وسیع‌تر، قدرت تفکیک زمانی بالاتر و هزینه کم‌تر هستند (Wilhite, 2000). تاکنون مطالعات زیادی در این زمینه صورت گرفته که به بیان

تعدادی از آن‌ها بسنده می‌کنیم. در مطالعه‌ای که به بررسی اثر خشکسالی بر روی پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در استان کردستان پرداخته شد، به نتیجه همبستگی بالای ۷۷ درصد بین دو شاخص SPI^2 و $NDVI$ دارند، رسیدند (Hoseini, et al (2013). مطالعه ارزیابی کارایی داده‌های سنجنده مودیس در برآورد خشکسالی در حوضه آبریز ارومیه نشان داد که همبستگی VCI^3 با SPI حدود ۰/۷ است و شاخص‌های سنجنش از دوری جایگزین مناسبی برای شاخص‌های هواشناسی در ارزیابی خشکسالی هستند (RezayiMoghadam, et al. (2013). همچنین مطالعه پایش خشکسالی در کشت‌های غیر آبی با استفاده از تکنیک سنجنش از دور نشان داد که همبستگی VCI با SPI در بازه زمانی سه و شش ماهه به ترتیب ۰/۰۴ تا ۰/۸ و ۰/۰۱ تا ۰/۶۶ هستند (Moazenzadeh, et al. (2013). مقایسه عملکرد شاخص‌های ماهواره‌ای VCI ، DEV ، $NDVI$ و شاخص‌های خشکسالی EDI ، SPI در پایش خشکسالی در محدوده تهران، با کمک سنجنده $AVHRR$ ماهواره $NOAA$ نشان دهنده وجود همبستگی بالای بین $NDVI$ و SPI طی دوره سه ماهه است (Jalili, et al. (2009). در این تحقیق با استفاده از نمایه‌های خشکسالی SPI و RDI^4 در سری‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۸ ماهه به بررسی رابطه و همبستگی بین این دو شاخص و سپس با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ به تهیه نقشه‌های سطحی این دو شاخص پرداخته شد. سپس به محاسبه شاخص گیاهی VCI و شاخص دمای سطحی LST^5 حاصل از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس و به تهیه نقشه‌های مذکور و در نهایت به بررسی همبستگی بین این شاخص‌های سنجنش از دوری و هواشناسی در این استان با این فرض که شاخص‌های هواشناسی درون‌یابی شده، SPI و RDI دارای بالاترین ضریب همبستگی هستند و شاخص‌های هواشناسی و سنجنش از دوری دارای همبستگی مناسبی اند، پرداخته شد.

-
- 1- Standardized Percipitation Index
 - 3-Vegetation Condition Index
 - 3- Reclamation Drought Index
 - 5- Land Surface Temperature

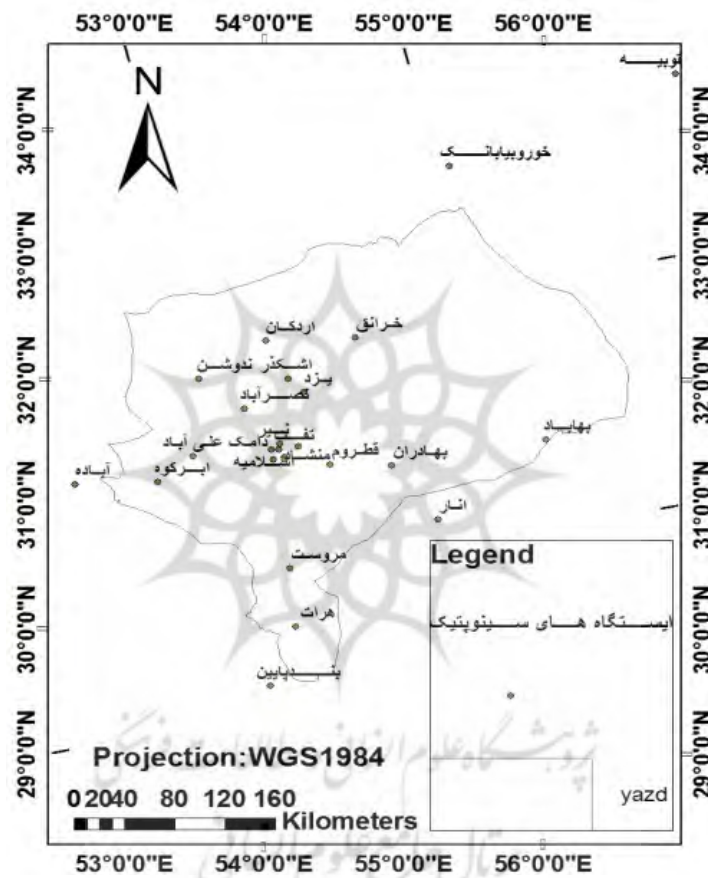
داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: استان یزد در مرکز ایران در قلمرو سلسله جبال مرکزی ایران بین عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی از نصف النهار مبدأ قرار گرفته است. این استان از شمال و غرب به استان اصفهان، از شمال شرقی به استان خراسان، از جنوب غربی به استان فارس و از جنوب شرقی به استان کرمان محدود می‌شود (شکل ۱). ریزش‌های اندک جوی همراه با تبخیر شدید، رطوبت نسبی بسیار ناچیز همراه با گرمای زیاد و نوسانات شدید دما، استان یزد را به عنوان یکی از مناطق فرا خشک معرفی کرده است (Habibipour, 2011). نوسانات درجه حرارت در زمستان و تابستان و حتی در شب و روز بسیار شدید است. میانگین درجه حرارت در شهر یزد $19/3^{\circ}\text{C}$ می‌باشد. حد اکثر و حداقل مطلق دما در شهر یزد به ترتیب $45/9^{\circ}\text{C}$ و $-16/8^{\circ}\text{C}$ ثبت شده است. سردترین ماه در استان یزد دی و گرم‌ترین ماه تیر ماه است. رطوبت نسبی سالانه استان به طور متوسط بین ۲۵ تا ۳۰ درصد است.



شکل ۱. موقعیت استان یزد در کشور

داده‌های هواشناسی: به دلیل نیاز به آمارهای مربوط به بارش و دمای ماهانه برای محاسبه شاخص‌های خشکسالی هواشناسی از دوره آماری ۲۰ ساله (۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰) ایستگاه‌های سینوپتیک با پراکندگی مناسب استفاده شد. نقشه پراکندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است:



شکل ۲. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

داده‌های ماهواره‌ای: تصاویر مورد استفاده در این تحقیق با توجه به گستردگی منطقه مورد مطالعه برای بررسی احتمال وقوع خشکسالی، از سنجنده مودیس مربوط به ماهواره ترا با قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتر انتخاب شد. که با توجه به سری زمانی

سه، شش و هیجده ماهه شاخص‌های هواشناسی SPI و RDI و به دلیل عدم وجود این تصاویر قبل از سال ۲۰۰۰ به صورت هر سه ماه یک بار تصاویر ماهواره‌ای مذکور از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ استفاده شد.

شاخص بارش استاندارد (SPI): بسیاری از محققان خشکسالی، به قابلیت انعطاف پذیری SPI و کاربرد آن برای هر مقیاس زمانی اعتراف داشته‌اند (Hayes, 1999). شاخص SPI از بارندگی به عنوان تنها عامل تعیین کننده خشکسالی استفاده می‌کند. این شاخص پیچدگی کمتری دارد و می‌تواند برای هر منطقه‌ای به آسانی به کار برده شود. SPI، توزیع داده‌های بارندگی را از یک توزیع اریب به یک توزیع نرمال تبدیل می‌کند (Mckee, et al. (1996). مقادیر مثبت SPI، نشان دهنده بارندگی بیشتر از بارش متوسط و مقادیر منفی آن معنای عکس را دارد. مهم‌ترین امتیاز این شاخص سادگی آن است و مهم‌ترین نقص آن این است که برای توصیف خشکسالی فقط از یک متغیر (بارندگی) استفاده می‌کند. این شاخص برای دوره‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۳۶ ماهه قابل محاسبه بوده و انتخاب هر یک از این دوره‌های زمانی، بستگی به هدف مورد نظر از محاسبه SPI دارد. برای محاسبه این شاخص از رابطه ۱ استفاده می‌گردد:

$$SPI = \frac{(P - \bar{P})}{Sd} \quad (1)$$

که در آن: Pi متوسط بارش سال مورد نظر، P میانگین بارش بلند مدت ایستگاه و Sd انحراف معیار بارش ایستگاه است.

جدول ۱. طبقه بندی وضعیت خشکسالی و یا ترسالی شاخص SPI

شماره	کلاس	معیار
۱	بی نهایت مرطوب	۲ و بیشتر
۲	مرطوب شدید	بین ۱/۵ تا ۱/۹۹
۳	مرطوب متوسط	بین ۱/۴۹ تا ۱
۴	نزدیک به نرمال	بین ۰/۹۹- تا ۰/۹۹+
۵	خشکسالی متوسط	بین ۱- تا ۱/۴۹-
۶	خشکسالی شدید	بین ۱/۵- تا ۱/۹۹-
۷	خشکسالی بسیار شدید	۲- و کمتر

شاخص خشکسالی (RDI): شاخص خشکسالی RDI برای اولین بار در سال ۲۰۰۵ میلادی توسط ساگریس و همکارانش در یونان ارائه شد (Tsakris, et al. (2005). وی با برشمردن برخی از مزیت‌های شاخص SPI، بیان داشت که در مناطقی با دمای زیاد و تبخیر و تعرق بالا، بارندگی به تنهایی نمی‌تواند نشان دهنده وقوع خشکسالی باشد. وی با بهره‌گیری از مفاهیم و ساختار توسعه شاخص SPI، از مقادیر نسبت بارش به ET_0 ، شاخص جدید RDI را برای تعیین شدت، مدت و گستره مکانی خشکسالی در منطقه مدیترانه ارائه کرد. شاخص RDI، از برازش تابع توزیع لوگ نرمال بر مقادیر نسبت بارش به ET_0 و استاندارد کردن آن به دست می‌آید. بنابراین، شاخص RDI، از دو پارامتر بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل برای تعیین خشکسالی استفاده می‌کند. پیش بینی می‌شود که این شاخص از دقت و اطمینان بیشتری نسبت به شاخص‌هایی که فقط از متغیر بارندگی برای تعیین خشکسالی استفاده می‌کنند، برخوردار باشد.

$$\alpha_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n |E_i|} \quad (2)$$

که در آن: α_k : مقادیر اولیه شاخص RDI که می‌تواند برای هر ماه از سال یا یک سال کامل محاسبه شود؛ P_{ij} : بارندگی i امین سال از ماه j ام، PET_{ij} : تبخیر و تعرق گیاه مرجع i امین از سال j ام، N : تعداد سال‌های آماری. مقادیر RDI نرمال شده (RDI_n) با

استفاده از مقادیر $a_k^{(i)}$ محاسبه شده برای سال‌های مختلف درگام قبلی طبق رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$RDI_n^{(i)} = \frac{a_k^{(i)}}{\bar{a}_k} - 1 \quad (3)$$

RDI استاندارد شده همانند روش به کار رفته برای SPI طبق رابطه ۴ محاسبه می‌شود:

$$RDI_{st(k)}^{(i)} = \frac{y_k^{(i)} - \bar{y}_k}{\sigma_{yk}} \quad (4)$$

شاخص شرایط گیاه (VCI): شاخص شرایط گیاه با استفاده از شاخص تفاضل نرمال گیاه (NDVI) برای دوره کنونی و حداقل و حداکثر این شاخص برای کل دوره مورد بررسی با استفاده از رابطه ۵ محاسبه می‌گردد.

(۵)

$$VCI = \frac{100(NDVI_{now} - NDVI_{min})}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}$$

شاخص تفاضل نرمال گیاهی (NDVI): با استفاده از نسبت تفاضل باند فرورسرخ نزدیک (باند ۲) و باند قرمز (باند ۱) به حاصلجمع آن‌ها شاخص پوشش گیاهی حاصل می‌گردد. محدوده عددی این شاخص بین +۱ و -۱ است.

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} = \frac{(B2 - B1)}{(B2 + B1)} \quad (6)$$

شاخص گیاهی (LST): الگوریتم‌های زیادی برای محاسبه دمای سطحی زمین LST برای تصاویر ماهواره‌ای مختلف به خصوص سنجنده مودیس ارائه شده است. تعداد زیادی از ضرایب تنظیم برای SWT^1 مورد آزمایش قرار گرفت. برای محاسبه دمای سطحی زمین در مدل SEBS از رابطه (Sobrino & Raissouni, 2000) استفاده شد:

$$LST = btm2 + (1.97 + 0.2 \cdot W) (btm2 - btm1) - (0.26 - 0.08W) \sqrt{btm2 - btm1} + (0.02 - 0.67 W) + (64.5 - 7.35W) (1 - e) - (119 - 20.4W) de \quad (7)$$

در این رابطه، LST: دمای سطحی زمین (°K)، btm1 و btm2: دمای درخشایی که به ترتیب از باندهای ۳۱ و ۳۲ به دست می‌آید، W: مقدار بخار آب، E: انتشار سطح، De: اختلاف انتشار سطح است.

نتایج و بحث

مقایسه شاخص‌های SPI و RDI: در این بخش پس از درون‌یابی این دو شاخص با کمک روش کریجینگ، به عنوان بهترین روش پهنه‌بندی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی (Akhtari, R. et al. (2009)، به محاسبه ضریب همبستگی بین حالت‌های مختلف دو شاخص خشکسالی هواشناسی SPI و RDI در سری‌های زمانی مختلف با کمک روش پیرسون پرداخته شد (جدول‌های ۲ تا ۴). بر اساس جدول‌های مذکور با افزایش سری زمانی، این دو شاخص با هم همبستگی بیشتری دارند. به طوری که میانگین همبستگی بین این دو شاخص در سری‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۸ ماهه به ترتیب ۸۹، ۹۷ و ۹۸ درصد است.

جدول ۲. ضریب همبستگی شاخص حالت‌های مختلف دو شاخص

هواشناسی SPI و RDI در دوره زمانی ۳ ماهه

D(SPI3)/D(RDI3)	0.862**
ND(SPI3)/ND(RDI3)	0.867**
NW(SPI3)/NW(RDI3)	0.867**
W(SPI3)/W(RDI3)	0.975**

** : معنی دار بودن در سطح ۱٪

جدول ۳. ضریب همبستگی شاخص حالت‌های مختلف دو شاخص

هواشناسی SPI و RDI در دوره زمانی ۶ ماهه

D(SPI6)/D(RDI6)	0.992**
ND(SPI6)/ND(RDI6)	0.974**
NW(SPI6)/NW(RDI6)	0.946**
W(SPI6)/W(RDI6)	0.99**

** معنی دار بودن در سطح ۱٪

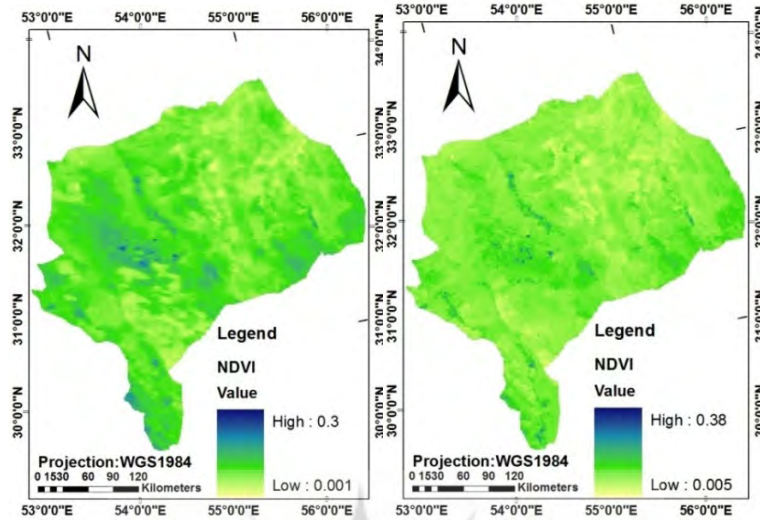
جدول ۴. ضریب همبستگی شاخص حالت‌های مختلف دو شاخص

هواشناسی SPI و RDI در دوره زمانی ۱۸ ماهه

D(SPI18)/D(RDI18)	0.993**
ND(SPI18)/ND(RDI18)	0.982**
NW(SPI18)/NW(RDI18)	0.968**
W(SPI18)/W(RDI18)	0.993**

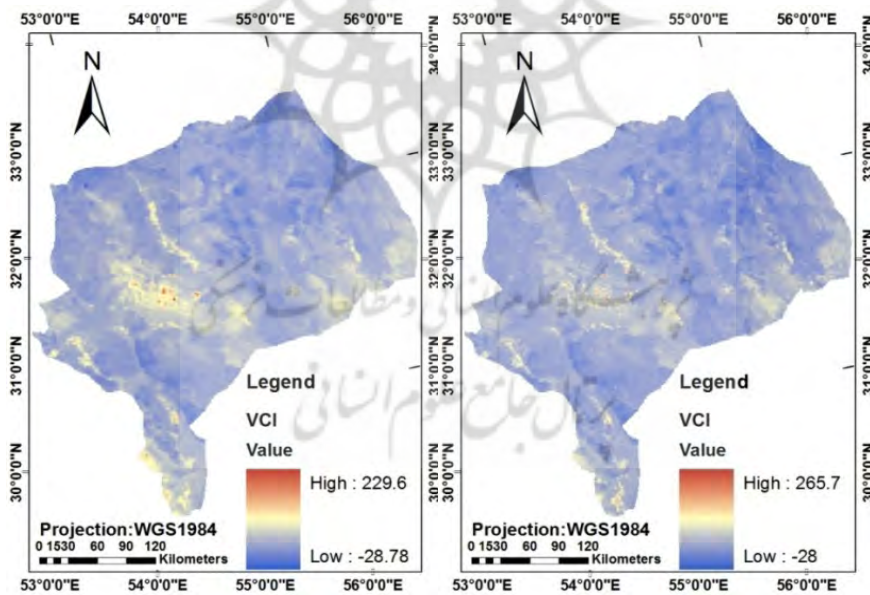
نقشه‌های NDVI: شکل‌های ۳ و ۴، نقشه‌های تهیه شده مربوط به شاخص پوشش گیاهی NDVI استان یزد را به عنوان نمونه نشان می‌دهد. در این نقشه‌ها، مناطق دارای بیشترین میزان پوشش با رنگ آبی و با کم شدن میزان پوشش با رنگ روشن‌تر مشخص شده است.

نقشه‌های شاخص VCI: شکل‌های ۵ و ۶، نیز به عنوان تعدادی از نقشه‌های تهیه شده از شاخص پوشش گیاهی VCI استان یزد را نشان می‌دهند که مناطق دارای بیشترین پوشش با رنگ قرمز مشخص شده است.



شکل ۳. نقشه NDVI مربوط به جولای سال ۲۰۰۳

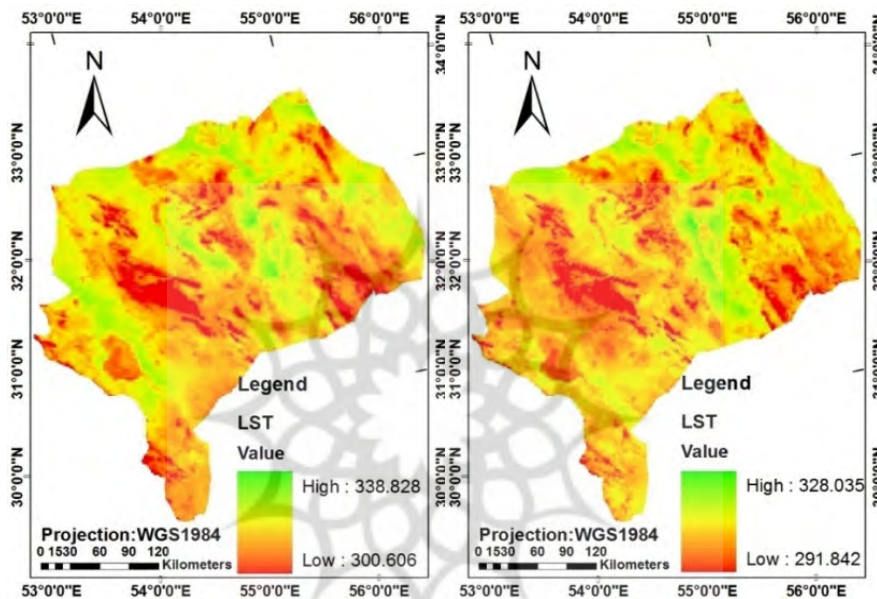
شکل ۴. نقشه NDVI مربوط به اکتبر سال ۲۰۰۳



شکل ۵. نقشه VCI مربوط به جولای سال ۲۰۰۳

شکل ۶. نقشه VCI مربوط به اکتبر سال ۲۰۰۳

نقشه‌های شاخص LST: همان طور که بیان شد، LST شاخصی برای محاسبه دمای سطح زمین بر حسب درجه کلوین است. در شکل‌های ۷ و ۸ به عنوان نمونه برخی از نقشه‌های شاخص LST را نشان می‌دهند. مقدار بیشینه و کمینه دما در نقاط مختلف استان به ترتیب با رنگ سبز و قرمز مشخص شده است.



شکل ۷. نقشه LST مربوط به جولای سال ۲۰۰۳
شکل ۸. نقشه LST مربوط به اکتبر سال ۲۰۰۳

بررسی رابطه بین شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و شاخص‌های خشکسالی مبتنی بر داده‌های سنجش از دوری: برای بررسی رابطه بین شاخص‌ها، از آزمون برابری میانگین‌های دو گروه وابسته (Paired - Sampels TTest) بین تمامی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی SPI، RDI و شاخص‌های خشکسالی مبتنی بر داده‌های سنجش از دور شامل شاخص‌های LST و VCI در ماه جولای (مصادف با ماه گرم) سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ استفاده شد (جدول ۵). همچنین رابطه بین شاخص‌های RDI و LST در

ماه اکتبر (مصادف با ماه سرد و نبود پوشش گیاهی موثر) در سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ بررسی شد (جدول ۶).

جدول ۵. ضریب همبستگی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و شاخص‌های خشکسالی مبتنی بر داده‌های سنجش از دور مربوط به ماه جولای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ در سری زمانی ۳، ۶ و ۱۸ ماهه به صورت سطحی

سری ۳ ماهه	SPI/RDI	SPI/LST	SPI/VC1	RDI/LST	RDI/VC1	LST/VC1
2000	0.91	0.04	0.26	0.03	0.15	0.06
2001	0.01	0.06	0.05 ^a	0.29	0.00	0.02
2002	0.60	0.08	0.23	0.11	0.26	0.09
2003	0.19	0.00	0.00 ^a	0.03	0.05	0.06
2004	0.61	0.08	0.43	0.10	0.40	0.05
2005	0.64	0.02	0.26	0.01	0.03	0.08
2006	0.87	0.02	0.15	0.00 ^a	0.23	0.11
2007	0.84	0.04	0.14	0.04	0.05	0.01
2008	0.83	0.01	0.33	0.05	0.34	0.15
2009	0.65	0.07	0.21	0.01	0.07	0.09
2010	0.89	0.00	0.07	0.03	0.07	0.07
سری ۶ ماهه	SPI/RDI	SPI/LST	SPI/VC1	RDI/LST	RDI/VC1	LST/VC1
2000	0.91	0.09	0.03	0.10	0.03	0.04
2001	0.80	0.02	0.17	0.00 ^a	0.06	0.03
2002	0.93	0.05	0.25	0.01 ^a	0.21	0.09
2003	0.68	0.06	0.10	0.12	0.19	0.15
2004	0.42	0.14	0.01 ^a	0.17	0.01 ^a	0.09
2005	0.77	0.01 ^a	0.24	0.00 ^a	0.22	0.08
2006	0.87	0.02	0.15	0.00 ^a	0.23	0.11
2007	0.71	0.00	0.14	0.06	0.15	0.01
2008	0.81	0.01	0.31	0.05	0.32	0.05
2009	0.61	0.07	0.20	0.01	0.06	0.05
2010	89.3	5.3	6.8	4.8	7.4	7.5
سری ۱۸ ماهه	SPI/RDI	SPI/LST	SPI/VC1	RDI/LST	RDI/VC1	LST/VC1
2000	0.358	0.128	0.119	0.068	0.148	0.113
2001	0.72	0.058	0.052	0.068	0.037	0.025
2002	0.595	0.084	0.225	0.109	0.264	0.088
2003	0.934	0.058	0.151	0.053	0.108	0.11
2004	0.553	0.075	0.174	0.022	0.059	0.103
2005	0.531	0.015	0.063	0.069	0.174	0.08
2006	0.681	0.176	0.135	0.037	0.114	0.126
2007	0.74	0.042	0.235	0.031	0.086	0.05
2008	0.807	0.005	0.314	0.054	0.323	0.048
2009	0.611	0.071	0.198	0.006	0.064	0.05
2010	0.85	0.023	0.085	0.035	0.174	0.165
MIN	0.008	0.003	0.002	0.001	0	0.005
MAX	0.93	0.17	0.43	0.29	0.39	0.16

a: نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار بین دو شاخص است.

جدول ۶. ضریب همبستگی شاخص های RDI/LST در

ماه اکتبر سال های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰

سال	RDI/LST (سری ۳ ماهه)	RDI/LST (سری ۶ ماهه)	RDI/LST (سری ۱۸ ماهه)
2006	0.59	0.006 ^a	0.004 ^a
2007	0.10	0.021	0.068
2008	0.007 ^a	0.008 ^a	0.007 ^a
2009	0.035	0.043	0.035
2010	0.04	0.04	0.022

a: نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار بین دو شاخص است.

با توجه به پایین بودن ضریب همبستگی‌های به دست آمده در روش سطحی و خطاهای احتمالی موجود در روش میان‌یابی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی با انجام بررسی نقطه‌ای به کمک داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی منطقه به نتایج مطلوب‌تری به دست آمد. به طوری که شاخص‌های هواشناسی SPI و RDI دارای بالاترین میزان همبستگی نسبت به بقیه هستند (بین ۱۴/۵ تا ۹۰/۷ درصد)، یعنی میانگینی در حدود ۶۴٪ درصد، شاخص‌های LST و VCI با میانگین همبستگی ۵۲٪ (محدوده بین ۲۵/۷ تا ۸۲/۱ درصد)، SPI و VCI با میانگین ۲۳/۵٪ د (دامنه بین ۰/۵ تا ۶۱/۳ درصد)، RDI و VCI با میانگین همبستگی ۲۳/۳٪، SPI و LST با میانگین ۲۱/۶٪ و LST و RDI با میانگین همبستگی ۱۸٪ دارای همبستگی مناسبی هستند. بر اساس این ضرائب نتیجه می‌گیریم که شاخص سنجش از دوری VCI، جایگزین مناسبی برای شاخص هواشناسی SPI و RDI است. همچنین می‌توان شاخص LST را جایگزین مناسبی برای شاخص هواشناسی RDI معرفی کرد که به طور کلی، اثبات محکم‌تری بر امکان استفاده شاخص‌های خشکسالی سنجش از دوری به جای شاخص‌های هواشناسی است (جدول ۷).

جدول ۷. ضریب همبستگی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و شاخص‌های خشکسالی مبتنی بر داده‌های سنجش از دور مربوط به ماه جولای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ به صورت نقطه‌ای

سری ۳ ماهه	SPI/RDI	SPI/LST	SPI/VCI	RDI/LST	RDI/VCI	LST/VCI
2000	0.16	0.19	0.20	0.02	0.09	0.82
2001	0.67	0.51	0.37	0.07	0.08	0.56
2002	0.61	0.16	0.10	0.08	0.31	0.26
2003	0.19	0.21	0.22	0.43	0.46	0.43
2004	0.15	0.08	0.15	0.61	0.61	0.43
2005	0.84	0.02	0.16	0.03	0.12	0.50
سری ۶ ماهه	SPI/RDI	SPI/LST	SPI/VCI	RDI/LST	RDI/VCI	LST/VCI
2000	0.88	0.64	0.61	0.37	0.39	0.82
2001	0.80	0.37	0.47	0.01	0.11	0.56
2002	0.91	0.05	0.17	0.05	0.18	0.26
2003	0.70	0.21	0.05	0.43	0.21	0.43
2004	0.77	0.23	0.38	0.32	0.11	0.61
2005	0.78	0.19	0.01	0.19	0.06	0.50
سری ۱۸ ماهه	SPI/RDI	SPI/LST	SPI/VCI	RDI/LST	RDI/VCI	LST/VCI
2000	0.41	0.42	0.42	0.19	0.47	0.82
2001	0.78	0.14	0.26	0.00	0.42	0.56
2002	0.77	0.18	0.08	0.11	0.01	0.26
2003	0.90	0.01	0.33	0.13	0.36	0.43
2004	0.69	0.06	0.05	0.03	0.08	0.61
2005	0.51	0.24	0.20	0.16	0.14	0.50
MIN	0.15	0.01	0.01	0.00	0.01	0.26
MAX	0.91	0.64	0.61	0.61	0.61	0.82

نتیجه‌گیری

نتایج مربوط به بررسی روابط بین حالت‌های مختلف شاخص‌های هواشناسی SPI و RDI، همبستگی زیاد این دو شاخص در سری‌های زمانی مختلف را نشان داد، به نوعی که با افزایش سری زمانی، همبستگی شاخص‌ها نیز افزایش پیدا می‌کند. هرچند، حالت‌های احتمال برای هر دو شاخص در مقیاس زمانی یکسان، تفاوت معنی‌داری ندارند، این موضوع با نتایج تحقیق (Asadi, et al. (2011) صدق می‌کند، که یکی از دلایل اصلی آن همبستگی بیشتر این دو شاخص در سری‌های زمانی بلند مدت است. در نخستین گام، مقایسه همبستگی بین شاخص‌ها با کمک روش سطحی انجام شد. میزان همبستگی پایینی بین شاخص‌های زمینی و سنجش از دور به دست آمد که به تکرار این

روش با کمک روش نقطه‌ای پرداخته شد. نتایج به دست آمده، نشان دهنده بالا بودن ضریب همبستگی بین شاخص‌هاست. این عامل دلیلی بر خطای بالای روش درون یابی شاخص‌های هواشناسی می‌باشد. علل خطای موجود عبارتند از: مساحت زیاد منطقه مورد مطالعه، تعداد و فاصله نامناسب بین ایستگاه‌ها و نوع توپوگرافی منطقه که اختلاف ارتفاع زیادی را ایجاد کرده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که بیشترین همبستگی $0.8-0.93/4$ درصد بین دو شاخص هواشناسی SPI و RDI وجود دارد. بر اساس مطالعات Bazrafshan, et al. (2010) & Aghayan, et al. (2012)، همبستگی بالای ۹۰ درصد برای این دو شاخص نیز محاسبه شده که نشان دهنده جایگزینی مناسب این دو شاخص در تحقیقات مرتبط است. همچنین در این تحقیق همبستگی نسبتاً مناسب بین دو شاخص SPI و VCI با میانگین $0.23/5$ درصد (دامنه بین 0.5 تا $0.61/3$ درصد)، به دست آمده که با نتایج تحقیق Jalili, et al. (2009) در انطباق است. این در حالی است که در تحقیقی که Ebrahimzadeh, et al. (2014) در کرمانشاه انجام دادند، ضریب همبستگی ناچیزی (0.01) بین VCI و شاخص SPI به دست آمد. آن‌ها بیان داشتند که هیچ همبستگی بین VCI و شاخص SPI وجود ندارد، در حالی که بیشترین میزان همبستگی را بین شاخص NDVI و SPI بیان کردند. این در حالی است که Rahimzadeh, et al. (2008) & Live et al. (1996)، همبستگی خوبی بین دو شاخص NDVI و VCI مشاهده کردند. البته باید این نکته را مورد توجه داشت که در فصول دارای پوشش گیاهی بیشتر (فصل گرم) محاسبه شاخص VCI با خطای کم-تری همراه بوده و همبستگی دو شاخص SPI و VCI بیشتر است و بهتر است جایگزینی شاخص سنجش از دوری VCI به جای SPI در این فصل‌ها صورت پذیرد. همچنین شاخص LST را می‌توان جایگزین مناسبی برای شاخص هواشناسی RDI معرفی کرد. با وجود اینکه در فصل سرد به دلیل پوشش گیاهی کمتر، محاسبه شاخص LST با خطای کم‌تری همراه بوده و همبستگی دو شاخص LST و RDI بیشتر است. بر اساس نتایج کلی به دست آمده در این تحقیق، شاخص‌های سنجش از دور،

جایگزین کاملاً مناسبی برای شاخص‌های هواشناسی در بر آورد خشکسالی هستند. همانطور که تصاویر ماهواره‌ای دارای مزایایی چون تعداد نقاط نمونه برداری بیشتر، سطح پوشش وسیع‌تر، قدرت تفکیک زمانی بالاتر و هزینه کم‌تر هستند.

منابع

Akhtari, R. et al. 2009. Assessment of interpolation methods for spatial analysis of SPI and EDI drought indices, international journal of climatology, 29: 135-145.

AsadiZarch, M. et al. 2011. Drought Monitoring by Reconnaissance Drought Index (RDI) in Iran. Water Resources Management, 25: 3485-3504.

Bazrafshan, J. 2010. Feasibility indicators of terrestrial and satellite-based vegetation changes in drought, Journal of Kermanshah weather, 1(1): 37-48, (in Farsi).

Ebrahimzadeh, s., Bazrafshan, J., Ghorbani, Kh. 2013. Performance Comparison Index of satellite and meteorological drought monitoring, Journal of Agricultural Meteorology, 1(1): 37-48, (in Farsi).

Habibipour, A. 2011. Predicted drought in Yazd synoptic stations using the decision tree mode, Master's thesis, Yazd University, (in Farsi).

Hayez, M.J., Svoboda, M.D., White, D.A., Vanyarkho, O.V. 1998. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. Bulletin of American Meteorological Society, 80: 429-438.

Heim, R. R. 2002. A Review of Twentieth-century Drought Indices Used in United States, Bulletin of the American Meteorological Society, 84: 1149-1165.

Jalili, Sh., Marid, S., Ziayian, P. 2009. Performance Comparison Index of satellite and meteorological drought monitoring. 39(1): 139-149, (in Farsi).

Mckee, T.B., Doesken, N.G., and J.133 leist. 1993. The relationship of drought Frequency and duration to time scale. In Pross, 8th conf, on Applied Climatology American Meteorological Society, Massa Chusetts. 179-184.

Moazenzadeh, R., Arshad, S., Ghahraman, B., Davari, k. 2013. Drought Monitoring in non-irrigated crops using remote sensing techniques, 2(2): 39-52, (in Farsi).

MODIS web site : <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>
Direct Link for Download Sattellite Images Modis.

Rahimzadeh, P. 2008. Investigate the possibility of using NOAA-AVHRR images for monitoring drought, Master's thesis, Department of Environment, Tehran Univesity, (in Farsi).

- Rezayimoghadam, M., Valizadeh, K., Rostamzadeh, H., Rezayi, A. 2013. Modis sensor data to provide a performance evaluation on drought, *Journal of Geography and Environmental Sustainability*, 5: 52-73, (in Farsi).
- Senthilvelan, A., Ganesh, A., Banukumar, K. 2012. Markov Chain Model for probability of weekly rainfall in Orathanadu Taluk, Thanjavur District, Tamil Nadu. *International Journal of Geomatics And Geosciences*, 3(1): 0976 – 4380.
- Tigkas, K., Vangelis, H., Tsakiris, G. 2012. Drought and climatic change impact on streamflow in small watersheds. *Science of the Total Environment*, 12: 08-35.
- Tsakiris, G., Nalbantis, I., Pangalou, D., Tigkas, D., Vangelis, H. 2008. Drought Meteorological monitoring network design for the Reconnaissance Drought Index (RDI). 1st International conference, *Drought Management: Scientific and Technological Innovations*, Zaragoza-Spain.
- Tsakiris, G., Pangalou, D., Vangelis, H. 2006. Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resources Management*, 21:821-833.
- Vitra, S., Patel, N. R., Tolpekin, V. A., Dadhwal, v. k. 2009. Modeling Spatio-Temporal Pattern of Drought Using Three-Dimensional Markov Random Field. *Journal of South Asia Disaster Studies*, 2: 107-129.
- Wilhite, D, A. 2000. Drought as a natural hazard. In Wilhite, D, A (Editor), *Drought: A Global Assessment*, Routledge, London.
- Zoran, K. 2010. Implementation Of Standardized Precipitation Index - SPI. Republic Hydrometeorological Service of Serbia, 01-17.