




## Comparison of remote sensing indices and meteorological and agricultural drought index to determine drought status in regions with different climatic conditions

Samira Rahnama<sup>1</sup>, Ali Shahidi<sup>2✉</sup>, Mostafa Yaghoobzadeh<sup>3</sup>, Ali Akbar Mehran<sup>4</sup>

1. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran, Email: [samira.rahnama1369@gmail.com](mailto:samira.rahnama1369@gmail.com)
2. Corresponding Author, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran, Email: [ashahidi@birjand.ac.ir](mailto:ashahidi@birjand.ac.ir)
3. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran, Email: [mostafa.yaghoobzadeh@gmail.com](mailto:mostafa.yaghoobzadeh@gmail.com)
4. Department of Civil and Environmental Engineering, San Jose State University, San Jose, California, United States, Email: [ali.mehran@sjsu.edu](mailto:ali.mehran@sjsu.edu)

Article Info	ABSTRACT
<p><b>Article type:</b> Research Article</p> <p><b>Article history:</b></p> <p><b>Received:</b> Sep. 5, 2022</p> <p><b>Revised:</b> Oct. 11, 2022</p> <p><b>Accepted:</b> Oct. 25, 2022</p> <p><b>Published online:</b> Dec. 22, 2022</p> <p><b>Keywords:</b> Drought, Landsat images, Remote Sensing Indices, SPI Index, RDI Index</p>	<p>Effective and timely drought monitoring can contribute to the development of drought systems and the optimal management of water resources using these systems in turn can minimize the costs of drought. The purpose of this study is to investigate the drought using Landsat satellite data and meteorological and agricultural drought indices in three regions with different climatic conditions (Birjand, Shiraz and Rasht). For this purpose, drought indices based on satellite data including Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Soil Adjustment Vegetation Index (SAVI) and Simple Ratio (SR) were extracted from Landsat images for the period 2002, 2014 to 2020. Then the results of these indices were compared with the values of standard precipitation index (SPI) and Reconnaissance Drought Index (RDI). The study of indicators shows that the amount of indicators is high in all studied years in Rasht region. In Shiraz region, a significant decrease in the average value of indicators occurred in August and September from 2015 to 2020. Also, this decrease was seen in the average value of indicators in Birjand region from September 2002 to 2020. On the other hand, among the studied months, September 2015 in Rasht and Shiraz regions and 2014 (September) Birjand had the most drought in terms of remote sensing indicators. The results showed that in all three regions, remote sensing indices including NDVI and SAVI have a high correlation with SPI and RDI indices. The RDI index is superior to the SPI index for drought monitoring and prediction. As a result, the RDI index takes into account evapotranspiration in addition to rainfall and is more sensitive especially in dry areas such as Shiraz and Birjand where evapotranspiration is higher than rainfall.</p>
<p>Cite this article: Rahnama, S., Shahidi, A., Yaghoobzadeh, M., &amp; Mehran, A. A. (2022) Comparison of remote sensing indices and meteorological and agricultural drought index to determine drought status in regions with different climatic conditions, <i>Iranian Journal of Soil and Water Research</i>, 53 (10), 2383-2398. <a href="https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.348275.669352">https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.348275.669352</a></p> <p>© The Author(s). Publisher: University of Tehran Press.</p> <p>DOI: <a href="https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.348275.669352">https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.348275.669352</a></p>	

## تعیین وضعیت خشکسالی با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور و خشکسالی هواشناسی و کشاورزی در مناطق با اقلیم مختلف

سمیرا رهنما<sup>۱</sup>، علی شهیدی<sup>۲</sup>، مصطفی یعقوب‌زاده<sup>۳</sup>، علی اکبر مهران<sup>۴</sup>

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، ایمیل: [samira.rahnama1369@gmail.com](mailto:samira.rahnama1369@gmail.com)

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، ایمیل: [ashahidi@birjand.ac.ir](mailto:ashahidi@birjand.ac.ir)

۳. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، ایمیل: [mostafa.yaghoobzadeh@gmail.com](mailto:mostafa.yaghoobzadeh@gmail.com)

۴. گروه مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه ایالتی سن خوزه، سن خوزه، کالیفرنیا، آمریکا، ایمیل: [ali.mehran@sjsu.edu](mailto:ali.mehran@sjsu.edu)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	پایش مؤثر و به‌موقع خشکسالی می‌تواند به توسعه سامانه‌های خشکسالی و مدیریت بهینه منابع آبی کمک کند و این سامانه‌ها نیز به نوبه خود می‌توانند هزینه‌های ناشی از خشکسالی را به کمینه برسانند. هدف از این پژوهش، بررسی خشکسالی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سنجنده لندست و شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و کشاورزی در سه منطقه با شرایط اقلیمی متفاوت (بیرجند، شیراز و رشت) می‌باشد. بدین منظور شاخص‌های خشکسالی بر مبنای داده‌های ماهواره‌ای شامل شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، شاخص پوشش گیاهی تعدیل‌کننده اثرات خاک (SAVI) و شاخص پوشش گیاهی نسبت ساده (SR) از روی تصاویر لندست برای دوره زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴ استخراج شد. سپس نتایج این شاخص‌ها با مقادیر شاخص بارش استاندارد (SPI) و شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) مقایسه گردید. بررسی شاخص‌ها حاکی از بالا بودن مقدار شاخص‌ها در تمامی سال‌های مورد بررسی در منطقه رشت می‌باشد. در منطقه شیراز کاهش قابل توجهی در مقدار میانگین شاخص‌ها در ماه‌های August و September سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ اتفاق افتاد. همچنین این کاهش در مقدار میانگین شاخص‌ها در منطقه بیرجند از September سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ دیده شد. از طرفی از میان ماه‌های مورد بررسی، ماه September سال ۲۰۱۵ در مناطق رشت و شیراز و سال (September) ۲۰۱۴ (بیرجند بیشترین خشکسالی را از نظر شاخص‌های سنجش از دور داشته‌اند. نتایج نشان داد که در هر سه منطقه شاخص‌های سنجش از دور از جمله NDVI و SAVI همبستگی بالایی با شاخص‌های SPI و RDI دارند. با این تفاوت که شاخص RDI برای پایش و پیش‌بینی خشکسالی، بر شاخص SPI برتری دارد. در نتیجه، شاخص RDI علاوه بر مقدار بارندگی، تبخیر-تعرق را نیز لحاظ می‌کند و از حساسیت بیشتری خصوصاً در مناطق خشک نظیر شیراز و بیرجند که مقدار تبخیر-تعرق بیشتر از مقدار بارندگی می‌باشد، برخوردار است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۶/۱۴	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۷/۱۹	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۳	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۰/۱	
واژه‌های کلیدی: تصاویر لندست، شاخص‌های سنجش از دور، شاخص SPI، شاخص RDI، خشکسالی.	

استاد: رهنما؛ سمیرا، شهیدی؛ علی، یعقوب‌زاده؛ مصطفی، مهران؛ علی اکبر، (۱۴۰۱) تعیین وضعیت خشکسالی با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور و خشکسالی هواشناسی و کشاورزی در مناطق با اقلیم مختلف. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳ (۱۰)، ۲۳۹۸-۲۳۸۳.

<https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.348275.669352>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.348275.669352>

## مقدمه

خشکسالی نوعی تغییر در شرایط اقلیمی منطقه است که متناسب با شرایط جوی و در بازه زمانی خاص اتفاق می‌افتد، بنابراین مدیریت منابع آبی در مناطق در معرض خشکسالی از جمله ایران، امری ضروری و غیرقابل اجتناب است (Sharifan and Rahimi, 2014). خشکسالی را می‌توان کاهش در مقدار بارش دریافتی در مدت زمان معین تعریف کرد که به شرایط اقلیمی خاصی محدود نمی‌شود و به عواملی از جمله دماهای بالا، رطوبت نسبی پایین، بادهای شدید، کمبود بارش و توزیع نامناسب آن در طول سال بستگی دارد (Bazrafshan and Hejabi, 2017). تعریف خشکسالی توسط سازمان هواشناسی جهانی نشان می‌دهد که خشکسالی‌ها براساس بارندگی، ترکیب بارندگی با دما و رطوبت، رطوبت خاک و پارامتر محصول، شاخص‌های اقلیمی و برآورد تبخیر-تعرق طبقه‌بندی می‌شوند (Bokusheva et al., 2016). پدیده خشکسالی ابتدا با کمبود بارش آغاز شده (خشکسالی هواشناسی) سپس، این کمبود رطوبت موجود در خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد که تلاطم این کمبود بر رشد و عملکرد گیاهان اثر می‌گذارد (خشکسالی کشاورزی). اثرات کمبود در درازمدت بر روی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی دیده می‌شود (خشکسالی هیدرولوژیکی). در نهایت بسته به منابع آبی مورد استفاده اثرات اقتصادی - اجتماعی متفاوت خواهد بود (خشکسالی اجتماعی - اقتصادی).

در سال‌های اخیر کاهش نرخ بارش سالیانه، عدم رطوبت مناسب خاک و در نتیجه کاهش مقادیر آب ذخیره شده در اکوسیستم‌های آبی به عنوان عامل تهدید کننده کمیت و کیفیت محصولات شناخته شده است که از جمله این تهدیدات، تهدید امنیت غذایی انسان و به تبع آن مشکلات اجتماعی و اقتصادی است (Karimi and Shahedi, 2018). بنابراین می‌توان گفت که کشاورزی به عنوان اولین بخشی است که خشکسالی بر آن اثر می‌گذارد (Hosseini, 2009). در گذشته، محدودیت‌های در پایش خشکسالی با استفاده از شاخص‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی وجود داشت که از این جمله می‌توان به پراکندگی ایستگاه‌ها بخصوص در مناطق خشک و استفاده از آمار نقطه‌ای ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری اشاره کرد (EbrahimiKhusfi et al., 2010). بنابراین استفاده از این شاخص‌ها در صورت فقدان داده‌های هواشناسی در بررسی خشکسالی مفید نخواهد بود. لذا در دهه‌های اخیر، با به کار بردن تکنیک سنجش از دور<sup>۱</sup> (RS) جهت مدل‌سازی خشکسالی می‌توان به نتایج دقیق‌تر و مؤثرتری دست یافت (Heim, 2002). دقت بیشتر در پردازش تصاویر جهت استخراج شاخص‌ها می‌تواند کیفیت آن‌ها را ارتقاء بخشد و در نهایت باعث کارایی بیشتر در مدل‌های پیش‌بینی خشکسالی شود (Rhee et al., 2010). از مزایای استفاده از تکنیک سنجش از دور می‌توان به جمع‌آوری داده‌های مکانی در مقیاس وسیع، قدرت تفکیک زمانی بالاتر و هزینه کمتر اشاره کرد (Solimani et al., 2019). در ادامه برخی از مهم‌ترین پژوهش‌های انجام شده در زمینه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بکارگیری شاخص‌های خشکسالی بررسی شده است.

پژوهشی توسط Marumbwa et al., (2020) به منظور ارزیابی شاخص بارش - تبخیر-تعرق پتانسیل استاندارد<sup>۲</sup> (SPEI)، شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده<sup>۳</sup> (NDVI) و شاخص وضعیت پوشش گیاهی<sup>۴</sup> (VCI) بر روی انواع مختلف پوشش اراضی در جنوب آفریقا انجام دادند. نتایج نشان داد که جنگل‌های همیشه سبز تحت تأثیر خشکسالی ۲۰۱۵-۲۰۱۶ بوده‌اند. با این حال، پایین‌ترین مقادیر VCI در پوشش اراضی روستا ثبت شده و نشان‌دهنده آسیب‌پذیری جوامع روستایی در برابر خشکسالی می‌باشد. (Sun et al., 2020) به ارزیابی شش شاخص خشکسالی (SPEI، SPI، MI، Pa، K و scPDSI) در منطقه ای از چین پرداختند. تجزیه و تحلیل نشان داد که خشکسالی در طی تابستان یک تأخیر در رشد پوشش گیاهی دارد، که از یک تا شش ماه با توجه به پوشش گیاهی خاص متفاوت است. (et al., 2020) شاخص‌های خشکسالی مختلف (VCI)، شاخص وضعیت درجه حرارت<sup>۵</sup> (TCI) و شاخص سلامت پوشش گیاهی<sup>۶</sup> (VHI) برای نظارت بر خشکسالی هواشناسی (شاخص بارش استاندارد<sup>۷</sup> (SPI)) در جنگل‌های بارانی استوایی ارزیابی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که توانایی این شاخص‌های خشکسالی سنجش از دور برای پایش خشکسالی هواشناسی با زمان‌بندی متفاوت است و شاخص‌های

۱ Remote Sensing

۲ Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)

۳ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

۴ Vegetation Condition Index (VCI)

۵ Temperature Condition Index (TCI)

۶ Vegetation Health Index (VHI)

۷ Standardized Precipitation Index (SPI)

VCI و VHI از نظر مقیاس فصلی و سالانه بهتر عمل می‌کنند. همچنین شاخص TCI بهترین عملکرد را در نظارت خشکسالی در دوره خشک و مرطوب را دارد. (Sur and Lunagaria (2020) از شاخص‌های SPI و VCI برای ارتباط بین شاخص خشکسالی کشاورزی و سنجش از دور در ایالت گجرات<sup>۱</sup> در هند استفاده کردند. این پژوهش نشان داد که شاخص‌های خشکسالی سنجش از دور به دلیل وضوح تصاویر ماهواره‌ای نقش مؤثری در ارزیابی خشکسالی در منطقه دارد. در پژوهشی Amin et al., (2020) چند شاخص خشکسالی (SPI، NDVI، VCI و STVI) جهت بررسی خشکسالی منطقه تال پنجاب<sup>۲</sup> پاکستان بکار بردند. نقشه خطر ترکیبی تولید شده با استفاده از تجزیه و تحلیل پوشش وزنی از تمام پارامترها نشان داد که کل منطقه را می‌توان به ترتیب به ۲۸/۱۲، ۱۲/۷۶، ۵۹/۱۲ درصد از کل منطقه به خشکی خفیف، متوسط و بدون خشکی طبقه بندی کرد. پایش خشکسالی و سلامت پوشش گیاهی در شهرستان کرمانشاه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست توسط Soltani et al., (2019) مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش، شاخص‌های VCI، TCI و VHI برای پایش خشکسالی می‌باشند. (Abedzadeh et al., (2018) در پژوهشی از تصاویر MODIS به دلیل تفکیک زمانی و مکانی مناسب برای تحلیل ریسک خشکسالی استان سمنان در ماه‌های مارس تا ژوئیه سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ پرداختند. در این مطالعه از شاخص‌های NDVI، SPI، LST<sup>۳</sup> و SPEI و مجموع بارش سالیانه در سطح منطقه استفاده کردند. شاخص‌های ماهواره‌ای، استان سمنان را در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۶ تحت تأثیر خشکسالی نشان می‌دهند. شدت خشکسالی در سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶ بیشتر از سایر سال‌ها ملاحظه شد. همچنین سال ۲۰۰۵ ترسالی و سایر سال‌ها، سال‌های متوسطی هستند.

خشکسالی موجب خساراتی بر منابع آب، منابع اکولوژیکی و بیولوژیکی، کشاورزی و دامپروری و زبان‌های اقتصادی به صنایع مختلف می‌شود. بنابراین هزینه‌های اقتصادی و اجتماعی شدید خشکسالی باعث توجه بیش از حد دولت‌ها به مسئله خشکسالی شده است. تنوع شاخص‌ها حاکی از آن است که هیچ یک از شاخص‌ها به تنهایی نمی‌توانند در زمینه پایش خشکسالی مؤثر واقع شوند. از این رو، توصیه می‌شود که به جای یک شاخص خشکسالی، نتایج حاصل از چندین شاخص مورد مقایسه قرار گیرند. لذا نوآوری‌های این پژوهش، عبارت است از: ۱- محاسبه خشکسالی در سه اقلیم مختلف با سه شرایط آب و هوایی مختلف ۲- مقایسه سه شاخص خشکسالی سنجش از دوری (شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، شاخص پوشش گیاهی تعدیل‌کننده اثرات خاک<sup>۴</sup> (SAVI) و شاخص پوشش گیاهی نسبت ساده<sup>۵</sup> (SR)) با دو شاخص خشکسالی استاندارد و معروف (شاخص بارش استاندارد (SPI) و شاخص شناسایی خشکسالی<sup>۶</sup> (RDI)) برای چند سال با دوره زمانی طولانی از ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰. ۳- مقایسه شاخص SPI و RDI در مقیاس زمانی‌های مختلف برای تعیین بهترین مقیاس زمانی ۴- تعیین شاخص SAVI و مقایسه با چهار شاخص دیگر برای سه شهر و چند سال که خود بدست آوردن این شاخص دارای نوآوری و تعیین دقیق آن به دلیل داشتن ضریب متغیر L بسیار مهم است. ۵- تعیین شاخص‌های سنجش از دور با ماهواره لندست که نسبت به مودیس هم دقت بیشتری دارد و هم به دلیل فریم کوچکتر بسیار سخت‌تر می‌باشد و تعیین همه شاخص‌ها با این تصاویر صورت گرفته است که بر کیفیت مقاله افزوده است. بنابراین در این پژوهش، به پایش خشکسالی با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور شامل NDVI، SAVI و SR در سه منطقه با شرایط آب و هوایی متفاوت پرداخته خواهد شد، که در نهایت نتایج این شاخص‌ها با مقادیر SPI و RDI مقایسه می‌گردد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

ایران با مساحتی حدود ۱/۶۴ میلیون کیلومترمربع بین عرض‌های جغرافیایی ۲۵ و ۴۰ درجه شمالی و ۴۴ و ۶۴ درجه شرقی و در مناطق خشک و نیمه‌خشک کره زمین گسترده است. قسمت اعظم مساحت این کشور به علت میزان بارش کم و تبخیر زیاد در زمره مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است (Khadempour et al., 2017). شکل و جدول ۱ نشان‌دهنده موقعیت و مشخصات مناطق مطالعاتی این

۱ Gujarat

۲ Thal Punjab

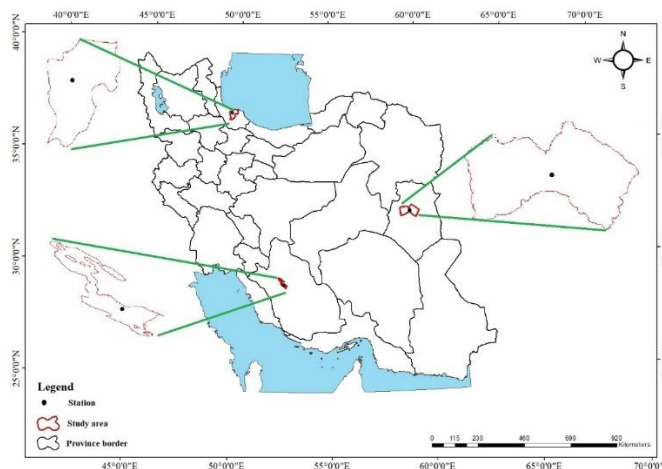
۳ Land Surface Temperature (LST)

۴ Soil Adjustment Vegetation Index (SAVI)

۵ Simple Ratio (SR)

۶ Reconnaissance Drought Index (RDI)

پژوهش در گستره ایران می‌باشد که انتخاب و تعیین آن‌ها مطابق با سیستم دوماترن (Fathi Taperasht et al., 2022) و بر اساس تنوع اقلیم انجام شد.



شکل ۱- پراکنش مناطق مورد مطالعه در نقشه ایران

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی مناطق مطالعاتی و اقلیم آن‌ها در سیستم دوماترن

منطقه (دشت)	طول شرقی	عرض شمالی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	نوع اقلیم
بیرجند	۰۵۹ ۱۳' ۳۴"	۰۳۲ ۵۱' ۵۳"	۱۴۹۱/۰	خشک
شیراز	۰۵۲ ۳۵' ۰۰"	۰۲۹ ۳۵' ۳۳"	۱۴۸۴/۰	نیمه‌خشک
رشت	۰۴۹ ۳۵' ۲۰"	۰۳۷ ۱۶' ۰۵"	-۸/۶	بسیار مرطوب

### شاخص‌های خشکسالی سنجش از دور

شاخص‌های گیاهی گروهی از شاخص‌های طیفی به شمار می‌آیند که با هدف دستیابی به اطلاعات بیشتر و دقیق‌تر از نقشه‌ها، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. در واقع، این شاخص‌ها از ترکیب باندهای طیفی و ویژگی‌های آن‌ها برای مشخص نمودن وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی در تصاویر استفاده می‌کنند. در این پژوهش از تصاویر لندست به دلیل قدرت تفکیک مکانی مناسب و ارائه باندهایی با طول موج‌های مختلف و سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۱۴، ۲۰۱۵، ۲۰۱۶، ۲۰۱۷، ۲۰۱۸، ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ ماه‌های May، July، August و September استفاده شد. عمده‌ترین مشکلات در خصوص محاسبه شاخص‌ها از جمله NDVI اثر ابر و آلودگی‌های جوی است و اگر پیکسلی که تراکم پوشش گیاهی زیاد باشد، لکه ابری وجود داشته باشد مقدار آن افت زیادی پیدا خواهد کرد و اطلاعات آن پیکسل از دست خواهد رفت. در این پژوهش، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار ENVI 5.3 تصحیحات لازم شامل تصحیحات رادیومتریک (الگوریتم Radiometric Calibration) و اتمسفری (الگوریتم QUick Atmospheric Correction (QUAC)) انجام شد (Aznarul et al., 2021; Bernstein et al., 2012) و سپس شاخص‌های پوشش گیاهی برای مناطق مورد نظر محاسبه شد. در نهایت، از نرم‌افزار Arc GIS 10.2 برای نقشه‌برداری از پوشش گیاهی منطقه استفاده شد.

### شاخص پوشش گیاهی نسبت ساده (SR)

این شاخص که از نسبت طول موج با بیشترین بازتاب برای پوشش گیاهی (NIR) و طول موج از عمیق‌ترین جذب کلروفیل (Red) حاصل می‌شود، جهت تمایز بین نواحی دارای پوشش گیاهی متراکم و غیر متراکم مفید می‌باشد (Birth and McVey, 1968; Melillos and Hadjimitsis, 2020). این شاخص براساس رابطه ۱ قابل محاسبه می‌باشد.

$$SR = \frac{NIR}{Red} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن، SR شاخص پوشش گیاهی نسبت ساده، NIR باند مادون قرمز نزدیک و Red باند قرمز در تصویر می‌باشد.

### شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI)

شاخص NDVI به منظور تفکیک و شناسایی مناطق دارای پوشش گیاهی و مناطق فاقد پوشش گیاهی به کار می‌رود (Manandhar et al., 2009). این شاخص با استفاده از انعکاس باندهای قرمز و مادون قرمز محاسبه می‌شود. روش محاسبه شاخص مذکور در رابطه ۲ ارائه

شده است (Kogan, 1993).

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن NDVI شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی در هر پیکسل تصویر ماهواره‌ای، Red باند قرمز در تصویر و NIR باند مادون قرمز نزدیک می‌باشد. ارزش عددی این شاخص بین -۱ تا +۱ متغیر است. ارزش عددی یک، نشان‌دهنده مناطقی با پوشش گیاهی بیشتر و صفر و مقادیر نزدیک به آن مربوط به مناطق بایر و فاقد پوشش گیاهی می‌باشد. در مناطقی با پوشش ابری، برف و آب به دلیل بازتاب بیشتر تابش خورشید در محدوده مرئی برخلاف مادون قرمز نزدیک این مقدار به کمتر از صفر تمایل می‌یابد (Rouse et al., 1973). بدین صورت مناطقی که شاخص NDVI آن‌ها بالاتر از ۰/۲ باشد، به عنوان مناطق دارای پوشش گیاهی فرض شد. مقادیر آستانه با توجه به شرایط منطقه، اطلاعات جانبی، علم و تجربه تعیین و اعمال می‌شود (Alawi Panah et al., 2008).

#### شاخص پوشش گیاهی تعدیل‌کننده اثرات خاک (SAVI)

شاخص SAVI در واقع شاخص تصحیح شده NDVI می‌باشد که هدف آن کاهش اثرات و رطوبت خاک در شاخص NDVI می‌باشد. این شاخص به صورت رابطه ۳ بدست می‌آید (Huete, 1988).

$$SAVI = \frac{(1 + L)(NIR - Red)}{(NIR + Red + L)} \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن L فاکتور تصحیح اثرات خاک است که محدوده آن بین صفر و یک به ترتیب برای مناطقی با پوشش گیاهی متراکم و پوشش گیاهی کم تراکم تغییر می‌کند. مقدار آن در مناطقی با پوشش گیاهی کم همچون بیرجند ( $L=1$ )، پوشش گیاهی متوسط همچون شیراز ( $L=0/5$ ) و در تراکم‌های بالای پوشش گیاهی همچون رشت ( $L=0/25$ ) می‌باشد (Huete, 1988). ارزش عددی این شاخص همانند NDVI بین -۱ تا +۱ متغیر است (Huete, 1988).

#### شاخص خشکسالی هواشناسی SPI

شاخص بارش استاندارد (SPI) نخستین بار توسط مک‌کی و همکاران (McKee et al., 1993) برای پایش خشکسالی در ایالت کلرادو ارائه شد. اساس شاخص بارش استاندارد بر محاسبه احتمالات بارش در هر پنجره زمانی استوار است. نخستین گام در محاسبه شاخص برازش یک توزیع آماری مناسب بر سری زمانی داده‌های بارش می‌باشد. در مطالعه‌ای (Bazrafshan, 2002) با مقایسه برازش توزیع احتمالات مختلف (نرمال، لوگ نرمال ۲ پارامتری، لوگ نرمال ۳ پارامتری، گاما ۲ پارامتری، پیرسون نوع III، لوگ پیرسون نوع III و گامبل) در اقلیم‌های مختلف ایران به این نتیجه رسید که در چهار پنجره زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه توزیع گاما برازش مناسب‌تری بر داده‌های بارش دارد، که تابع چگالی احتمال این توزیع به صورت رابطه ۴ تعریف شده است.

$$f_x(x) = \frac{(x/\beta)^{\alpha-1} \exp(-x/\beta)}{\beta \Gamma(\alpha)} \quad x, \alpha, \beta > 0 \quad \text{رابطه ۴}$$

که در آن  $\alpha$  پارامتر شکل،  $\beta$  پارامتر مقیاس،  $x$  مقدار بارش و تابع  $\Gamma(\alpha)$  تابع گاما می‌باشد. در مرحله بعد، تابع توزیع احتمال تجمعی کل بارش ( $F_x(x)$ ) که دربرگیرنده مقادیر صفر هم باشد (چون تابع گاما به ازای بارش صفر میلی‌متر ( $x=0$ ) تعریف نشده است و توزیع بارش ممکن است دارای مقادیر صفر باشد) محاسبه می‌شود (رابطه ۵).

$$F_x(x) = q + (1 - q)F_x(x) \quad \text{رابطه ۵}$$

که در آن  $q$  احتمال بارش صفر می‌باشد. اگر  $m$  تعداد داده‌های بارش باشد که مقدار آن‌ها در سری زمانی معادل صفر است، آنگاه  $q$  از رابطه (۶) قابل محاسبه خواهد بود.

$$q = \frac{m}{n} \quad \text{رابطه ۶}$$

پس از محاسبه تابع تجمعی کل ( $H_x(x)$ )، تغییر شکل هم احتمالی تابع تجمعی گاما به متغیر تصادفی نرمال استاندارد  $Z$  (یا SPI) با میانگین صفر و واریانس یک صورت می‌گیرد. جهت تبدیل احتمالات تجمعی به متغیر تصادفی نرمال استاندارد از تقریب آبراموویتز و اتگسون (Abramowitz and Stegun, 1965; Bazrafshan and Hejabi, 2017) می‌توان استفاده کرد (روابط ۷ تا ۱۰).

$$Z = SPI = - \left[ t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad \text{for } 0 < H_x(x) \leq 0.5 \quad \text{رابطه ۷}$$

$$Z = SPI = + \left[ t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right], \text{ for } 0.5 < H_x(x) \leq 1.0 \quad \text{رابطه ۸}$$

که در آن‌ها،

$$t = \sqrt{\ln \left( \frac{1}{(H_x(x))^2} \right)}, \text{ for } 0 < H_x(x) \leq 0.5 \quad \text{رابطه ۹}$$

$$t = \sqrt{\ln \left( \frac{1}{(1.0 - H_x(x))^2} \right)}, \text{ for } 0.5 < H_x(x) \leq 1.0 \quad \text{رابطه ۱۰}$$

ضرایب روابط بالا نیز بدین صورت قابل محاسبه می‌باشد.

رابطه ۱۱)  $C_0 = 2.515517$ .  $C_1 = 0.802853$ .  $C_3 = 0.010328$ .  $d_1 = 1.432788$ .  $d_2 = 0.189269$ .  $d_3 = 0.001308$   
 برای تعیین درجه سختی خشکسالی در سال‌های مختلف لازم است که آستانه‌هایی برای SPI تعریف شوند. جدول ۲ این آستانه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۲- حدود و توصیف طبقات مختلف شاخص SPI (McKee et al., 1993)

وضعیت طبقه	ترسالی (*W)	نرمال (**N)	خشکسالی (**D)
خفیف	(W <sub>1</sub> ) +۱/۰ ≤ SPI ≤ +۱/۵		(D <sub>1</sub> ) -۱/۵ ≤ SPI ≤ -۱/۰
متوسط	(W <sub>2</sub> ) +۱/۵ ≤ SPI ≤ +۲/۰	(N) -۱/۰ ≤ SPI ≤ +۱/۰	(D <sub>2</sub> ) -۲/۰ ≤ SPI ≤ -۱/۵
شدید	(W <sub>3</sub> ) +۲/۰ ≤ SPI		(D <sub>3</sub> ) SPI ≤ -۲/۰

\*Wet - \*\* Normal - \*\*\*Drought

### شاخص شناسایی خشکسالی (RDI)

شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) توسط Tsakiris and Vangelis, (2005) انتشار یافت. ورودی‌های مورد نیاز برای محاسبه این شاخص بارش و تبخیرتقرق پتانسیل در مقیاس ماهانه می‌باشند. این شاخص در دو فرم، RDI نرمال شده و RDI استاندارد شده ارائه شده است. مراحل محاسبه RDI به شرح زیر می‌باشد.

ابتدا مقادیر اولیه  $\alpha_0$  برای یک پنجره زمانی معین با استفاده از مقادیر نسبت مجموع بارش به مجموع تبخیرتقرق پتانسیل، طی سال‌های مختلف مطابق رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود.

$$\alpha_0^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} PET_{ij}} \quad .i = 1.2. \dots N \quad \& \quad j = 1.2. \dots 12 \quad \text{رابطه ۱۱}$$

که در آن،  $P_{ij}$  و  $PET_{ij}$  به ترتیب مقادیر بارش و تبخیرتقرق پتانسیل ماه  $i$  ام و  $N$  برابر با تعداد سال‌های آماری می‌باشد. فرم نخست RDI یا RDI نرمال شده  $(RDI_n)$ ، با استفاده از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود.

$$RDI_n^{(i)} = \frac{\alpha_0^{(i)}}{\alpha_0} - 1 \quad \text{رابطه ۱۲}$$

که در آن،  $\alpha_0$  میانگین حسابی مقادیر  $\alpha_0$  در طی دوره آماری است. با فرض تبعیت  $\alpha_0$  از توزیع لوگ نرمال، فرم دوم RDI که RDI استاندارد شده  $(RDI_{st})$  نامیده می‌شود، به صورت رابطه (۱۳) تعریف می‌گردد.

$$RDI_{st}^{(i)} = \frac{y^{(i)} - \bar{y}}{\hat{\sigma}} \quad \text{رابطه ۱۳}$$

که در آن،  $y^{(i)}$  برابر است با  $\bar{y}$  و  $\hat{\sigma}$  و  $\ln(\alpha^{(i)})$  به ترتیب میانگین و انحراف معیار مقادیر  $y^{(i)}$  هستند. جدول ۳ طبقه‌بندی شاخص RDI استاندارد شده نشان می‌دهد.

جدول ۳- حدود و توصیف طبقات طبقه‌بندی شاخص شناسایی خشکسالی (Tsakiris et al., 2005)

وضعیت طبقه	ترسالی (*W)	نرمال (**N)	خشکسالی (**D)
متوسط	(W <sub>1</sub> ) +۱/۰ ≤ RDI ≤ +۱/۵		(D <sub>1</sub> ) -۱/۵ ≤ RDI ≤ -۱/۰
شدید	(W <sub>2</sub> ) +۱/۵ ≤ RDI ≤ +۲/۰	(N) -۱/۰ ≤ RDI ≤ +۱/۰	(D <sub>2</sub> ) -۲/۰ ≤ RDI ≤ -۱/۵
بسیار شدید	(W <sub>3</sub> ) +۲/۰ ≤ RDI		(D <sub>3</sub> ) RDI ≤ -۲/۰

\*Wet - \*\* Normal - \*\*\*Drought

## نتایج و بحث

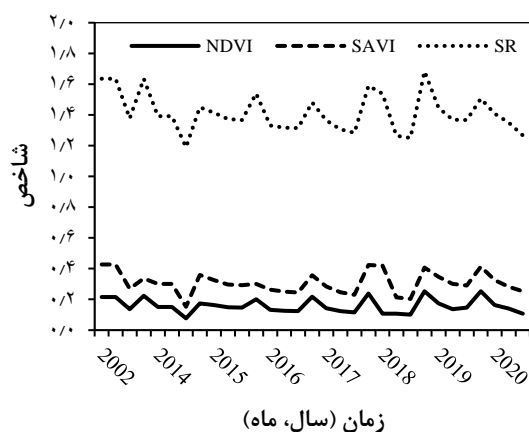
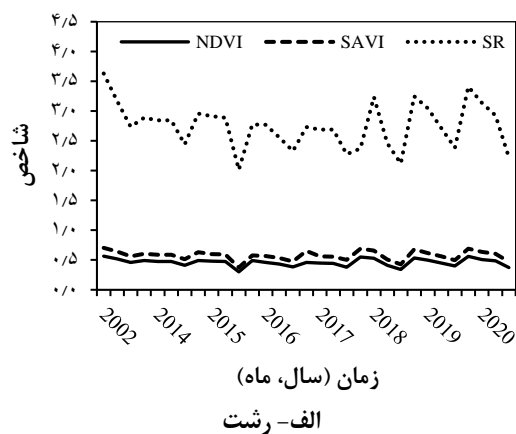
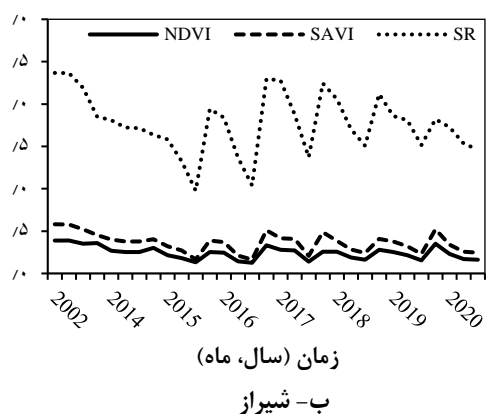
هدف از ارزیابی پیکسل‌های تصاویر لندست و محاسبه شاخص‌های خشکسالی جداسازی مناطق دارای پوشش گیاهی از مناطق بدون پوشش گیاهی و در واقع پایش خشکسالی در منطقه می‌باشد. مقادیر خشکسالی حاصل از شاخص‌های مختلف در مناطق مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود شاخص‌های NDVI و SAVI بسیار مقادیر نزدیک بهم دارند و می‌توان بیان کرد که شاخص SAVI تصحیح شده شاخص NDVI است که تأثیر خاک را از بین می‌برد. در واقع در منطقه رشت که مقدار پوشش گیاهی زیاد می‌باشد این دو شاخص بسیار به هم نزدیک هستند و در مناطق شیراز و بیرجند که از پوشش گیاهی در مناطق کاسته می‌شود و تأثیر خاک بیشتر است، فاصله این دو شاخص از هم بیشتر شده که نشان می‌دهد شاخص SAVI برای مناطق شیراز و بیرجند نسبت به شاخص NDVI کارایی بهتری دارد. پژوهشگرانی چون Sun et al., (2020) در مناطقی از شمال چین و Zou et al., (2020) در چندین منطقه از شمال غربی کاستاریکا به نتایج مشابهی با نتایج این پژوهش دست یافتند. شاخص SR در منطقه رشت به دلیل پوشش گیاهی زیاد نسبت به شیراز و بیرجند (پوشش گیاهی کم) مقادیر بیشتری را به خود اختصاص داده است که نتایج پژوهش Adeyeri et al., (2017) این مطلب را تایید می‌کند. همچنین نتایج حاکی از بالا بودن مقدار این شاخص‌ها در تمامی سال‌های مورد بررسی در منطقه رشت می‌باشد اما با گذشت زمان از میزان پوشش گیاهی در منطقه کاسته شده است، که می‌توان عنوان کرد به مرور زمان خشکسالی در منطقه افزایش می‌یابد. در منطقه شیراز کاهش قابل توجهی در مقدار میانگین شاخص‌ها در ماه‌های August و September سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ همزمان با رخداد خشکسالی در این سال‌ها اتفاق افتاد. همچنین این کاهش در مقدار میانگین شاخص‌ها در منطقه بیرجند از September سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ دیده شد. پژوهش Zarei et al., (2013) در مناطق مختلف ایران نیز حاکی از افزایش تراکم پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۲ و سپس کاهش آن را در طی مدت مورد مطالعه می‌باشد. البته عواملی چون رطوبت خاک، دما، باد، پوشش ابر و توزیع زمانی بارندگی بر خشکسالی تأثیرگذار است.

شکل ۳ تصاویری از خشک‌ترین ماه‌های مورد بررسی در این مناطق را از نظر شاخص NDVI نشان می‌دهد که در رشت مقدار این شاخص برابر  $0/30$ ، شیراز  $0/13$  و بیرجند  $0/08$  می‌باشد. این تغییرات نشان دهنده اثر خشکسالی بر روی پوشش گیاهی در مناطق مورد مطالعه است و می‌توان گفت که تغییر روند اقلیمی به سمت خشکسالی یا ترسالی مقادیر شاخص پوشش گیاهی هم تغییر کرده است و رفتار مشابهی داشته‌اند (Marumbwa et al., 2020). (Darwish and Faour, 2008) شاخص NDVI را عمومی‌ترین شاخص در ارزیابی پوشش گیاهی قرار دادند و محققان زیادی در مطالعات خود از این شاخص استفاده کردند.

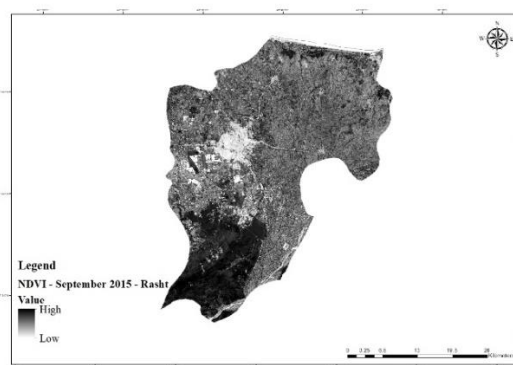
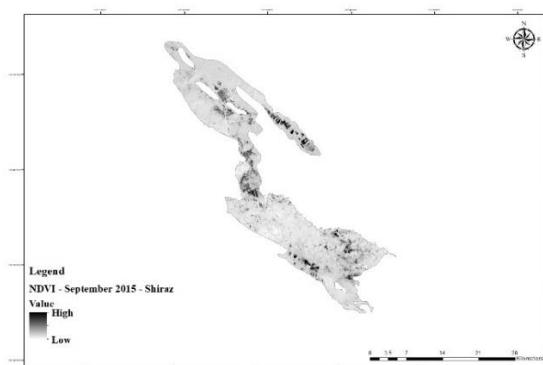
براساس نتایج حاصل از شاخص SAVI مقدار  $0/37$  در رشت (September 2015)،  $0/16$  در شیراز (September 2015) و  $0/15$  در منطقه بیرجند (September 2014) وضعیت خشکسالی شدیدتری را در این مناطق نشان می‌دهند (شکل ۴). نتایج این پژوهش با نتایج Fadaei, (2018) و MirMousavi et al., (2010) همسو بوده است و نشان می‌دهد که استفاده از این شاخص در ارتباط با تحلیل خشکسالی نتایج خوبی را ارائه کرده است.

همچنین در این پژوهش (شکل ۵) از میان ماه‌های مورد بررسی در مناطق رشت و شیراز در ماه September سال ۲۰۱۵ و در بیرجند در September سال ۲۰۱۴ بیشترین خشکسالی را از نظر شاخص SR داشته‌اند. پس می‌توان عنوان کرد که با گذشت زمان پوشش گیاهی منطقه تغییر یافته است و در واقع از تراکم پوشش گیاهی کاسته شده است. وجود خشکسالی‌ها در محدوده شهر ناشی از دمای بالا در این نواحی است چرا که نواحی مسکونی از عمده‌ترین دلایل افزایش دما در یک ناحیه می‌باشد. نتایج این بخش نیز با نتایج Yaghoobzadeh et al., (2009) و Barati et al., (2011) همخوانی دارد. همچنین نتایج حاصل از بررسی‌های نقشه‌های شاخص‌های مورد بررسی نشان داد که ماه May سال ۲۰۰۲ در هر سه منطقه مرطوب‌ترین ماه را به خود اختصاص داده است. نتایج پژوهش‌های Wilson et al., (2016) و Fadaei, (2018) نشان می‌دهد که استفاده از این شاخص‌ها به ارائه درک بهتر از وضعیت خشکسالی در یک ناحیه می‌گردد، که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.



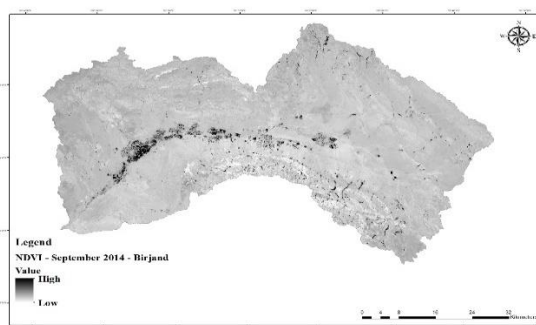


شکل ۲- تغییرات شاخص‌های خشکسالی در سال‌های مورد بررسی در مناطق مختلف (الف- رشت، ب- شیراز و ج- بیرجند)



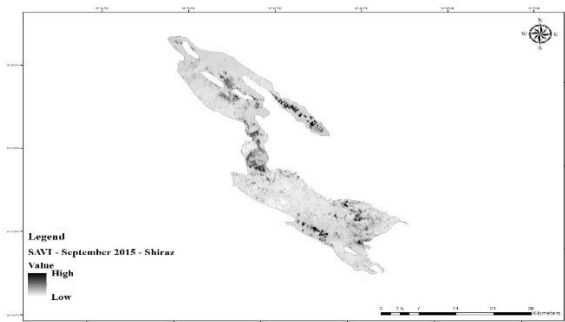
الف- رشت

ب- شیراز

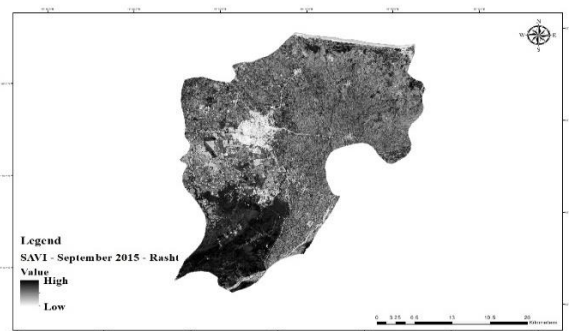


ج- بیرجند

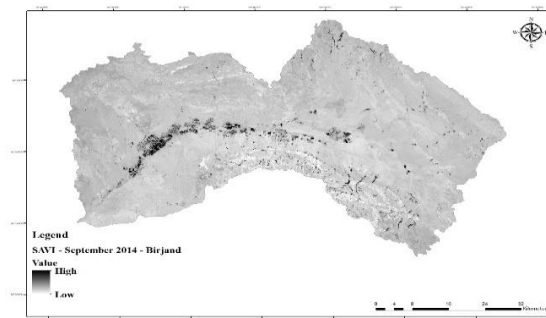
شکل ۳- نقشه میانگین شاخص‌های خشکسالی در خشک‌ترین ماه در سال‌های مورد بررسی در مناطق مختلف از نظر شاخص NDVI (الف- رشت، ب- شیراز و ج- بیرجند)



ب- شیراز

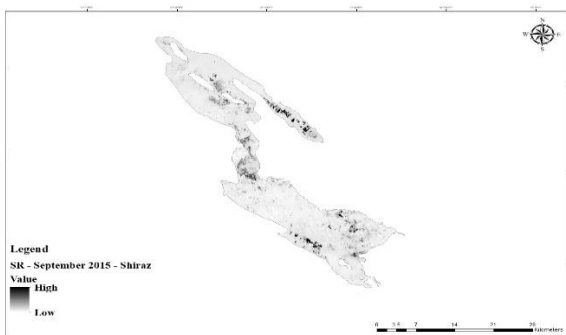


الف- رشت

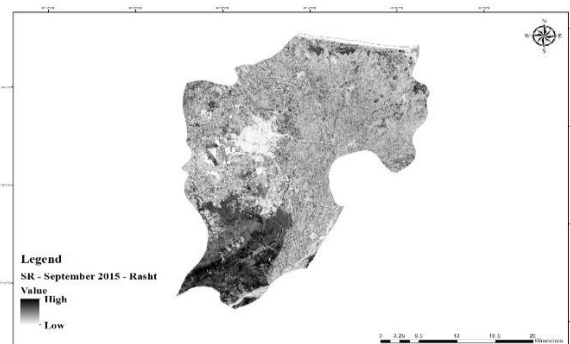


ج- بیرجند

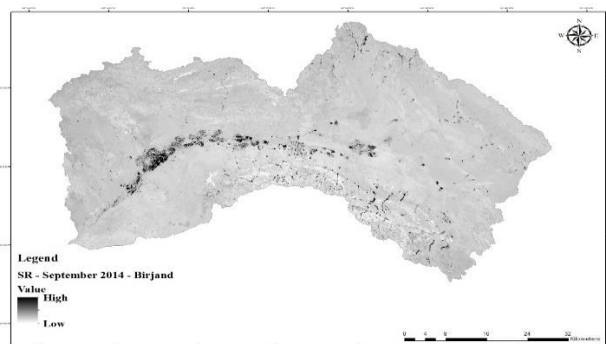
شکل ۴- نقشه میانگین شاخص‌های خشکسالی در خشک‌ترین ماه در سال‌های مورد بررسی در مناطق مختلف از نظر شاخص SAVI (الف- رشت، ب- شیراز و ج- بیرجند)



ب- شیراز



الف- رشت



ج- بیرجند

شکل ۵- نقشه میانگین شاخص‌های خشکسالی در خشک‌ترین ماه در سال‌های مورد بررسی در مناطق مختلف از نظر شاخص SR (الف- رشت، ب- شیراز و ج- بیرجند)

جهت بررسی خشکسالی شاخص بارش استاندارد (SPI) و شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ محاسبه شد. به دلیل اینکه پایش خشکسالی در مقیاس‌های زمانی مشخص در هر منطقه جهت برنامه‌ریزی هدفمند برای استفاده از آب

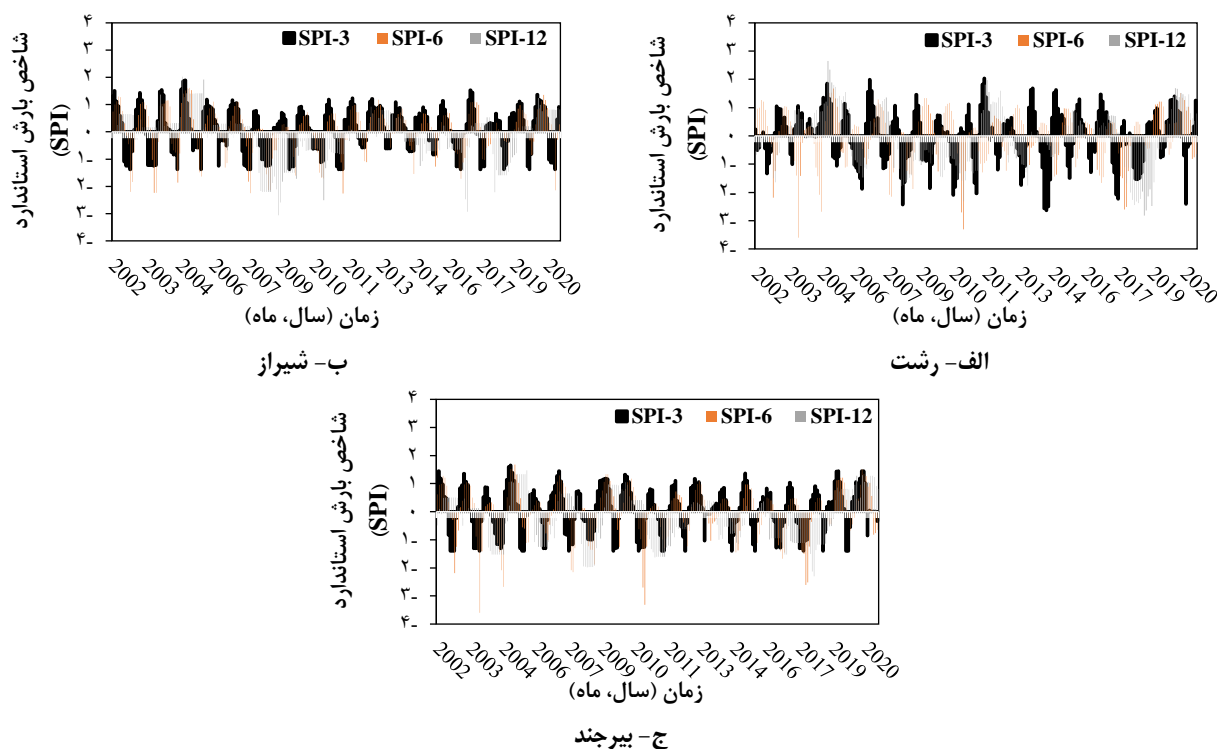
در مصارف گوناگون اعم از کشاورزی، شرب و غیره ضروری می‌باشد، لذا کمترین مقادیر SPI و RDI در مناطق مورد نظر در جدول ۳ در مقیاس‌های زمانی مختلف ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در منطقه رشت در July ۲۰۱۴ در مقیاس ۳ ماهه، September سال ۲۰۱۴ در مقیاس ۶ ماهه و September سال ۲۰۱۸ در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه کمترین مقدار SPI اتفاق افتاد. در منطقه شیراز نیز این مقادیر به ترتیب در September سال ۲۰۱۹، October سال ۲۰۱۱ و January سال ۲۰۰۹ رخ داد. همچنین در منطقه بیرجند کمترین مقدار SPI، در مقیاس ۳ ماهه متعلق به ماه‌های August و September سال ۲۰۱۹ (-۱/۴۰)، در مقیاس ۶ ماهه متعلق به ماه November سال ۲۰۰۳ (-۳/۶۰) و در مقیاس ۱۲ ماهه متعلق به ماه March سال ۲۰۱۸ (-۲/۳۰) می‌باشد. مقدار بارش در زمان‌های مطابق با کمترین مقدار شاخص SPI کاهش و مقدار عددی صفر نسبت به سایر ماه‌های مورد بررسی گزارش شده است.

در ارتباط با شاخص RDI در منطقه رشت ماه July ۲۰۰۸ در مقیاس ۳ ماهه، September سال ۲۰۱۴ در مقیاس ۶ ماهه و June سال ۲۰۱۰ در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه کمترین مقدار RDI را به خود اختصاص دادند. در منطقه شیراز نیز این مقادیر به ترتیب در July سال ۲۰۰۸ (-۴/۰۹)، October سال ۲۰۰۸ (-۲/۴۳) و June سال ۲۰۰۸ اتفاق افتاد. کمترین مقدار این شاخص در منطقه بیرجند در مقیاس زمانی ۳ ماهه، ماه April سال ۲۰۱۰ با مقدار -۳/۲۲، در مقیاس زمانی ۶ ماهه، ماه July سال ۲۰۱۰ و در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه این مقدار در June سال ۲۰۱۰ با مقدار -۳/۷۰ می‌باشد. با توجه به تأثیرپذیری این شاخص نسبت به بارش و تبخیر-تعرق، در زمان‌های مطابق با کمترین مقادیر RDI در مقادیر بارش روند کاهشی و تبخیر-تعرق روند افزایشی مشاهده شد.

جدول ۳- کمترین مقادیر SPI و RDI مشاهده شده در مقیاس‌های مختلف زمانی

کمترین مقدار مشاهده شده								
۱۲ ماهه			۶ ماهه			۳ ماهه		
منطقه	سال	ماه	مقدار SPI	سال	ماه	مقدار SPI	سال	ماه
رشت	۲۰۱۴	July	-۲/۶۴	۲۰۱۴	September	-۳/۱۶	۲۰۱۸	September
شیراز	۲۰۱۹	September	-۱/۳۸	۲۰۱۱	October	-۲/۲۶	۲۰۰۹	January
بیرجند	۲۰۱۹	August September	-۱/۴۰	۲۰۰۳	November	-۳/۶۰	۲۰۱۸	March
منطقه	سال	ماه	مقدار RDI	سال	ماه	مقدار RDI	سال	ماه
رشت	۲۰۰۸	July	-۳/۶۰	۲۰۱۴	September	-۳/۰۱	۲۰۱۰	June
شیراز	۲۰۰۸	July	-۴/۰۹	۲۰۰۸	October	-۴/۱۴	۲۰۰۸	June
بیرجند	۲۰۱۰	April	-۳/۲۲	۲۰۱۰	July	-۳/۲۲	۲۰۱۰	June

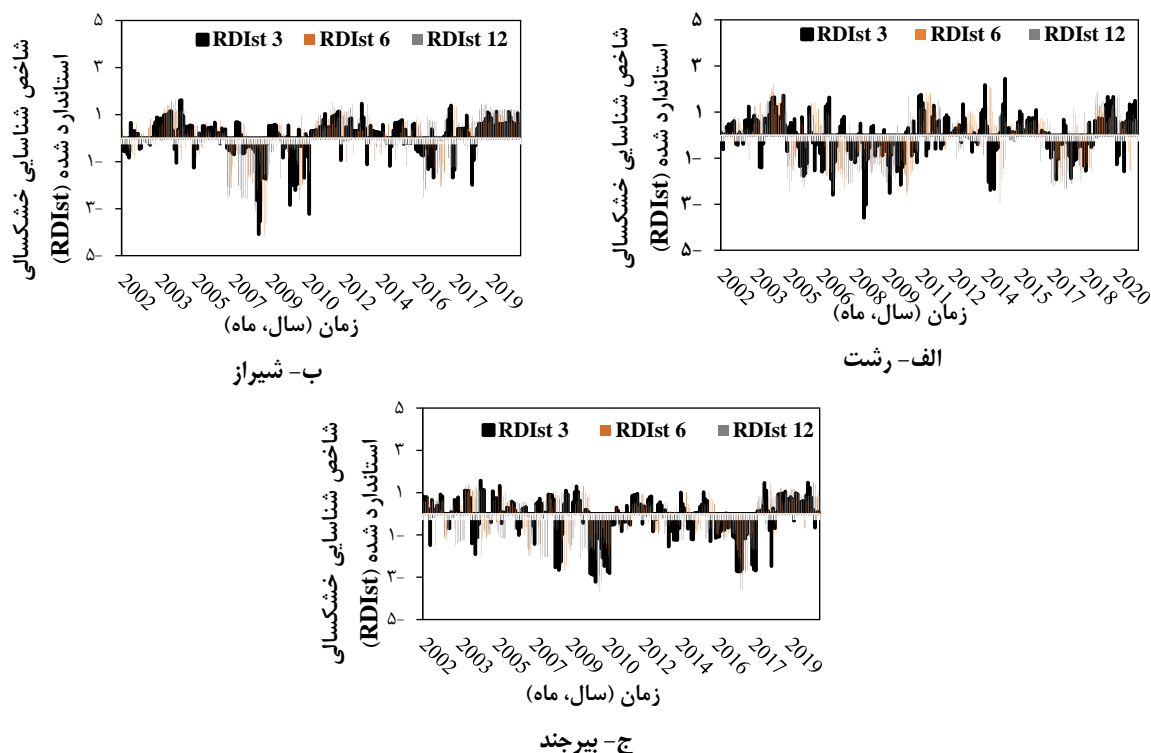
شکل‌های ۶ و ۷ روند تغییرات شاخص SPI و RDI را در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه در مناطق مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در مقیاس زمانی ۳ ماهه، SPI دارای تعداد وقوع بیشتر اما تداوم کمتری است و نوسانات زیادی دارد. بنابراین می‌توان گفت که این شاخص در کوتاه مدت با کوچکترین تغییرات بارندگی ماهانه سریعاً پاسخ می‌دهد و نسبت به شرایط رطوبتی بسیار حساس است. در مقیاس زمانی ۶ ماهه از تعداد وقوع خشکسالی‌ها کاسته می‌شود و تداوم نسبت به دوره ۳ ماهه افزایش می‌یابد. در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه نمودار به طور واضح‌تری دوره‌های خشک و مرطوب را نشان می‌دهد. همچنین در این مقیاس بر تداوم خشکسالی‌ها افزوده و از شدت آن کاسته می‌شود. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که در دوره‌های کوتاه مدت خشکسالی‌ها تداوم زیادی ندارند و تحت تأثیر بارش قرار می‌گیرند. این در حالی است که دوره‌های بلند مدت نسبت به تغییرات بارش واکنش کندتری نشان می‌دهند و تداوم بیشتری نسبت به خشکسالی دوره‌های کوتاه مدت دارند. به‌طور مثال در منطقه شیراز در ارتباط با شاخص SPI و در دوره ۳ ماهه، ۶۸ ماه دارای خشکسالی هستند که در دوره ۱۲ ماهه این مقدار به ۵۸ ماه در طی مدت بررسی کاهش پیدا کرد. پژوهش‌های (Khosravi, 2002); Bazrafshan and Akbari (2009) و (Rahnema et al., 2021) نشان دادند که تعداد خشکسالی‌ها در مقیاس زمانی کوتاه‌مدت زیاد و تداوم آن‌ها کم می‌شود ولی در مقیاس‌های زمانی بلندمدت برعکس می‌شود.



شکل ۶- نمودار روند تغییرات شاخص SPI در مقیاس‌های زمانی مختلف (۳ ماهه، ۶ ماهه و ۱۲ ماهه) مناطق مطالعاتی این پژوهش (الف- رشت، ب- شیراز و ج- بیرجند)

بررسی روند خشکسالی شاخص RDI نسبت به SPI نشان از افزایش روند خشکسالی شاخص RDI می‌باشد، که این موضوع به این دلیل است که این شاخص علاوه بر مقدار بارندگی، تبخیرتقرق را نیز لحاظ می‌کند و از حساسیت بیشتری خصوصاً در مناطق خشک نظیر شیراز و بیرجند که مقدار تبخیرتقرق بیشتر از مقدار بارندگی می‌باشد، برخوردار است. نتیجه پژوهش‌های Shokoohi and Morovati, (2014) و (2012) Ghabaei Sough and Mosaedi, که نشان دادند روند خشکسالی براساس شاخص RDI رو به افزایش است (روند نزولی)، مطابقت دارد.

سپس به بررسی و مقایسه ضریب همبستگی شاخص خشکسالی SPI و RDI و شاخص‌های خشکسالی مبتنی بر داده‌های سنجش از دور در سری زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه در مناطق مورد مطالعه در این پژوهش (رشت، شیراز و بیرجند) اقدام گردید، که نتایج آن در جداول ۴ و ۵ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که شاخص‌های سنجش از دور از جمله NDVI و SAVI با شاخص SPI و RDI همبستگی بالایی دارند که این همبستگی نسبت به شاخص RDI بیشتر می‌باشد و به دلیل تأثیر پذیری بیشتر بارش نسبت به متغیرها بر روی پوشش گیاهی این امر در مناطق خشک و نیمه خشک بیرجند و شیراز به وضوح قابل مشاهده است (Hamzeh et al., 2017). همچنین شاخص RDI علاوه بر مقدار بارندگی، تبخیرتقرق را نیز لحاظ می‌کند و از حساسیت بیشتری خصوصاً در مناطق خشک نظیر شیراز و بیرجند که مقدار تبخیرتقرق بیشتر از مقدار بارندگی می‌باشد، برخوردار است (Nohtani et al., 2018). پژوهش (Jamshidi et al., 2011) نیز نشان داد که برای پایش، پهنه‌بندی و پیش‌بینی خشکسالی، شاخص RDI مناسب است و بر شاخص SPI برتری دارد. شاخص SPI فقط به دلیل اینکه لحظه‌ای مانند شاخص‌های سنجش از دوری نمی‌تواند خشکسالی را تعیین کند، از میانگین بارش ۳ یا ۶ یا ۱۲ و حتی می‌تواند ۲۴ و ۴۸ ماه قبل خشکسالی را تعیین کند که این برای شاخص‌های سنجش از دوری به این نحو نیست ولی چون خشکسالی یک روز یا ماه از ماه‌های دیگر نیز تأثیر می‌پذیرد شاخص SPI با این شاخص‌ها رابطه معنی‌داری دارد. همچنین از مقایسه شاخص‌های سنجش از دور با مقادیر شاخص‌های SPI و RDI در سه مقیاس زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه برای مناطق با سه اقلیم متفاوت در این پژوهش مشخص شد که مقیاس زمانی ۱۲ ماهه نسبت به مقیاس‌های ۳ و ۶ ماهه معیار مناسب‌تری برای ارزیابی شاخص‌های دیگر خشکسالی می‌باشد (Fazel Khosravi and Akbari, 2009 و Dehkordi et al., 2015).



شکل ۷- نمودار روند تغییرات شاخص RDI در مقیاس‌های زمانی مختلف (۳ ماهه، ۶ ماهه و ۱۲ ماهه) مناطق مطالعاتی این پژوهش (الف- رشت، ب- شیراز و ج- بیرجند)

جدول ۴- ضریب همبستگی شاخص خشکسالی هواشناسی SPI و شاخص‌های خشکسالی مبتنی بر داده‌های سنجش از دور در سری زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه در مناطق مورد مطالعه در این پژوهش

سری ۳ ماهه		SPI/NDVI			SPI/SAVI			SPI/SR		
سال	رشت	شیراز	بیرجند	رشت	شیراز	بیرجند	رشت	شیراز	بیرجند	
۲۰۰۲	۰/۹۷	۰/۸۵	۰/۷۸	۰/۹۶	۰/۶۴	۰/۵۰	۰/۹۸	۰/۶۷	۰/۷۶	
۲۰۱۴	۰/۹۴	۰/۹۸	۰/۸۷	۰/۹۳	۰/۹۸	۰/۷۵	۰/۹۳	۰/۸۱	۰/۸۷	
۲۰۱۵	۰/۶۳	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۶۳	۰/۸۹	۰/۹۸	۰/۶۳	۰/۷۸	۰/۹۷	
۲۰۱۶	۰/۹۳	۰/۹۰	۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۹۷	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۹۲	
۲۰۱۷	۰/۹۴	۰/۷۲	۰/۹۳	۰/۹۶	۰/۷۴	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۸۰	۰/۹۷	
۲۰۱۸	۰/۹۴	۰/۸۴	۰/۸۱	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۸۸	۰/۶۳	۰/۹۲	۰/۹۱	
۲۰۱۹	۰/۶۵	۰/۸۹	۰/۹۴	۰/۵۴	۰/۸۸	۰/۹۸	۰/۵۵	۰/۸۸	۰/۹۳	
۲۰۲۰	۰/۹۵	۰/۷۰	۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۹۶	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۷۸	۰/۵۲	
سری ۶ ماهه		SPI/NDVI			SPI/SAVI			SPI/SR		
سال	رشت	شیراز	بیرجند	رشت	شیراز	بیرجند	رشت	شیراز	بیرجند	
۲۰۰۲	۰/۷۵	۰/۹۴	۰/۸۱	۰/۸۵	۰/۸۳	۰/۷۶	۰/۷۵	۰/۸۵	۰/۸۰	
۲۰۱۴	۰/۹۳	۰/۹۵	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۲	۰/۹۵	۰/۸۸	
۲۰۱۵	۰/۸۲	۰/۸۵	۰/۹۲	۰/۸۳	۰/۹۴	۰/۸۹	۰/۸۱	۰/۹۵	۰/۹۰	
۲۰۱۶	۰/۵۷	۰/۷۷	۰/۶۵	۰/۴۷	۰/۸۰	۰/۷۶	۰/۶۲	۰/۸۴	۰/۶۲	
۲۰۱۷	۰/۷۱	۰/۹۵	۰/۷۹	۰/۹۷	۰/۹۴	۰/۸۸	۰/۶۹	۰/۹۸	۰/۸۷	
۲۰۱۸	۰/۶۴	۰/۹۷	۰/۶۹	۰/۶۵	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۶۳	۰/۹۸	۰/۹۷	
۲۰۱۹	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۷۶	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۸۹	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۷۷	
۲۰۲۰	۰/۹۸	۰/۹۴	۰/۹۱	۰/۹۸	۰/۹۴	۰/۸۷	۰/۹۷	۰/۸۹	۰/۹۲	
سری ۱۲ ماهه		SPI/NDVI			SPI/SAVI			SPI/SR		
سال	رشت	شیراز	بیرجند	رشت	شیراز	بیرجند	رشت	شیراز	بیرجند	
۲۰۰۲	۰/۹۴	۰/۸۳	۰/۹۰	۰/۸۶	۰/۶۱	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۶۴	۰/۹۲	
۲۰۱۴	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۷۰	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۶۵	۰/۸۱	۰/۹۷	۰/۷۰	
۲۰۱۵	۰/۷۸	۰/۸۹	۰/۸۷	۰/۷۹	۰/۷۷	۰/۸۱	۰/۷۷	۰/۵۹	۰/۸۳	
۲۰۱۶	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۹۴	۰/۸۷	۰/۷۹	۰/۸۶	۰/۸۲	۰/۷۹	۰/۹۸	
۲۰۱۷	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۷۷	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۸۲	۰/۹۷	۰/۹۲	۰/۸۱	
۲۰۱۸	۰/۹۸	۰/۷۶	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۶۶	۰/۹۸	۰/۶۶	۰/۷۴	۰/۹۸	
۲۰۱۹	۰/۹۷	۰/۶۹	۰/۸۹	۰/۹۸	۰/۷۱	۰/۷۸	۰/۹۶	۰/۶۰	۰/۹۰	
۲۰۲۰	۰/۹۱	۰/۹۴	۰/۷۸	۰/۹۲	۰/۹۴	۰/۸۴	۰/۹۲	۰/۷۴	۰/۸۵	



جدول ۵- ضریب همبستگی شاخص خشکسالی هواشناسی RDI و شاخص‌های خشکسالی مبتنی بر داده‌های سنجش از دور در سری زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه در مناطق مورد مطالعه در این پژوهش

سری ۳ ماهه		RDI/NDVI			RDI/SAVI			RDI/SR	
منطقه- سال	رشت	شیراز	بیرجند	رشت	شیراز	بیرجند	رشت	شیراز	بیرجند
۲۰۰۲	۰/۹۸	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۹۹	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۸	۰/۹۲	۰/۹۳
۲۰۱۴	۰/۹۵	۰/۹۸	۰/۹۴	۰/۸۵	۰/۸۹	۰/۸۶	۰/۸۲	۰/۹۵	۰/۹۴
۲۰۱۵	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۸۳	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۶۶	۰/۹۲	۰/۹۳
۲۰۱۶	۰/۹۸	۰/۹۳	۰/۸۲	۰/۹۵	۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۸۱
۲۰۱۷	۰/۸۶	۰/۹۲	۰/۹۰	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۹۵	۰/۸۲	۰/۹۴	۰/۹۱
۲۰۱۸	۰/۹۷	۰/۹۴	۰/۷۹	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۱	۰/۸۳	۰/۹۸	۰/۹۳
۲۰۱۹	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۸۷	۰/۷۴	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۸۸
۲۰۲۰	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۹

سری ۶ ماهه		RDI/NDVI			RDI/SAVI			RDI/SR	
منطقه- سال	رشت	شیراز	بیرجند	رشت	شیراز	بیرجند	رشت	شیراز	بیرجند
۲۰۰۲	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۹۹	۰/۹۱	۰/۹۵	۰/۹۸	۰/۹۲	۰/۹۳
۲۰۱۴	۰/۸۹	۰/۸۴	۰/۹۵	۰/۸۶	۰/۸۸	۰/۸۷	۰/۶۸	۰/۹۵	۰/۹۴
۲۰۱۵	۰/۸۲	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۸۵	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۶۶	۰/۹۵	۰/۹۶
۲۰۱۶	۰/۹۸	۰/۹۳	۰/۸۴	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۸۶	۰/۹۴	۰/۹۷	۰/۶۶
۲۰۱۷	۰/۸۷	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۹۷	۰/۹۴	۰/۹۶	۰/۶۷	۰/۹۳	۰/۹۵
۲۰۱۸	۰/۹۷	۰/۹۴	۰/۶۴	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۱	۰/۶۹	۰/۹۷	۰/۸۸
۲۰۱۹	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۸۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۸۸
۲۰۲۰	۰/۹۶	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۸۸

سری ۱۲ ماهه		RDI/NDVI			RDI/SAVI			RDI/SR	
منطقه- سال	رشت	شیراز	بیرجند	رشت	شیراز	بیرجند	رشت	شیراز	بیرجند
۲۰۰۲	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/۹۹	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۹۷	۰/۸۶	۰/۸۶
۲۰۱۴	۰/۸۹	۰/۸۵	۰/۹۴	۰/۷۴	۰/۸۱	۰/۸۹	۰/۸۲	۰/۹۲	۰/۹۰
۲۰۱۵	۰/۸۲	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۷۳	۰/۹۸	۰/۹۳	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۳
۲۰۱۶	۰/۸۷	۰/۹۴	۰/۷۳	۰/۹۰	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۸۹	۰/۹۸	۰/۸۱
۲۰۱۷	۰/۷۸	۰/۹۶	۰/۸۲	۰/۸۸	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۸۲	۰/۹۹	۰/۹۱
۲۰۱۸	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۸۰	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۹۸	۰/۸۸
۲۰۱۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۷۷	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۳	۰/۹۸	۰/۹۴	۰/۹۷
۲۰۲۰	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۹

## نتیجه‌گیری

خشکسالی به عنوان یکی از پیچیده‌ترین پدیده‌های طبیعی مطرح می‌شود، که جهت مطالعه و پایش آن نیاز به کمی‌سازی اثرات آن با استفاده از شاخص‌های خشکسالی است. بنابراین داده‌های سنجش از دور یک ابزار پایش مناسب را برای ارزیابی وسعت و شدت خشکسالی در دسترس قرار می‌دهد. پژوهش حاضر با هدف بررسی خشکسالی کشاورزی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای (شاخص‌های NDVI، SAVI و SR) سنجنده لندست در سه منطقه با شرایط اقلیمی متفاوت (بیرجند، شیراز و رشت) انجام گرفت. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد استفاده همزمان از چندین شاخص در طول زمان نتایج بهتری در تشخیص و تفکیک میزان پوشش گیاهی در منطقه ارائه می‌دهند. با توجه به نتایج نشان داده شده در این پژوهش ماه September سال ۲۰۱۵ در مناطق رشت و شیراز و سال ۲۰۱۴ در منطقه بیرجند بیشترین شدت خشکسالی از نظر شاخص‌های خشکسالی سنجش از دور داشته‌اند. همچنین نتایج حاکی از افزایش میزان خشکسالی در سه اقلیم مختلف مورد بررسی می‌باشد به طوری که سال ۲۰۰۲ به عنوان مرطوب‌ترین سال در طی مدت این پژوهش انتخاب شد که با گذشت زمان از میزان پوشش گیاهی در مناطق مختلف کاسته شد. همچنین شاخص‌های سنجش از دور مورد مطالعه در این پژوهش از جمله NDVI و SAVI همبستگی بالایی با شاخص‌های SPI و RDI دارند. با این تفاوت که شاخص RDI برای پایش و پیش‌بینی خشکسالی، بر شاخص SPI برتری دارد. در نتیجه، شاخص RDI علاوه بر مقدار بارندگی، تبخیرتقرق را نیز لحاظ می‌کند و از حساسیت بیشتری خصوصاً در مناطق خشک نظیر شیراز و بیرجند که مقدار تبخیرتقرق بیشتر از مقدار بارندگی می‌باشد، برخوردار است. در نتیجه شاخص RDI به جای شاخص SPI، برای پایش و مدیریت خشکسالی توصیه می‌گردد تا اثر دما و تبخیرتقرق عامل اثرگذار بر خشکسالی باشد. همچنین از مقایسه شاخص‌های سنجش از دور با مقادیر شاخص‌های SPI و RDI در سه مقیاس زمانی ۳، ۶ و ۱۲ ماهه برای مناطق با

سه اقلیم متفاوت در این پژوهش مشخص شد که مقیاس زمانی ۱۲ ماهه نسبت به مقیاس‌های ۳ و ۶ ماهه معیار مناسب‌تری برای ارزیابی شاخص‌های دیگر خشکسالی می‌باشد. استفاده از نتایج این پژوهش می‌تواند در جهت مدیریت بهینه منابع آبی و برنامه‌ریزی‌های عرضه و تقاضای آب مفید باشد و مدیران را قادر سازد تا تمهیدات لازم را در جهت استفاده اصولی از آب موجود در مناطق تدارک دیده و راهکارهای مناسب را ارائه نمایند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

## REFERENCES

- Abedzadeh, M., Arastoo, B., Nankeli, H.R. (2018). Agricultural Drought Risk Analysis Using Remote Sensing Techniques and GIS (Case Study: Semnan Province). *Journal of GIS & RS Application in Planning*. 6(1): 18-36. [In Persian].
- Abramowitz, M., Stegun, I.A. (1965). *Handbook of Mathematical Functions*. Dover Publications, New York.
- Adeyeri, O.E., Akinsanola, A.A., Ishola, K.A. (2017). Investigating surface urban heat island characteristics over Abuja, Nigeria: relationship between land surface temperature and multiple vegetation indices. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 7, 57-68.
- Alawi Panah, S.K., Matin Far, H.R., Rafi'I Imam. A. (2008). *Application of information technology in earth sciences (digital soil science)*. First Edition, University of Tehran Press., 457 pages. [In Persian].
- Amin, M., Riaz Khan, M., Shah Hassan, Sh., Ahmad Khan, A., Imran, M., Arif Goheer, M., Mahlaqa Hina, S., Perveen, A. (2020.) Monitoring agricultural drought using geospatial techniques: a case study of Thal region of Punjab, Pakistan. *Journal of Water & Climate Change*. <https://doi.org/10.2166/wcc.2020.232>.
- Aznarul, I., Balai, C.D., Sadik, M., Palash, G.H., Suman, D.B., Biplab, S. (2021). Chapter 29 - Deforestation and its impact on sediment flux and channel morphodynamics of the Brahmani River Basin, India. *Forest Resources Resilience and Conflicts*. 377-415. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822931-6.00029-0>
- Barati, S., Rayegani, B., Saati, M., Sharifi, A., Nasri, M. (2011). Comparison the accuracies of different spectral indices for estimation of vegetation cover fraction in sparse vegetated areas. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*. 14, 49-56.
- Bazrafshan, J. (2002). A comparative study of some meteorological drought indices in some climatic samples of Iran. Master Thesis. University of Tehran. [In Persian].
- Bazrafshan, J., Hijabi, S. (2017). *Drought Monitoring methods (along with applications in MATLAB programming environment)*. University of Tehran Press, Second Edition. [In Persian].
- Bernstein, L., Jin, X., Gregor, B., Adler-Golden, S. (2012). Quick atmospheric correction code: Algorithm description and recent upgrades. *Optical Engineering*. 51. 1719. <https://doi.org/10.1117/1.OE.51.11.111719>
- Birth, G., McVey, G. (1968). Measuring the color of growing turf with a reflectance spectrophotometer. *Agronomy Journal*. 60, 640-643.
- Bokusheva, R., Kogan, F., Vitkovskaya, I., Conradt, S., Batyrbayeva, M. (2016). Satellite-based vegetation health indices as a criteria for insuring against drought-related yield losses. *Agricultural and Forest Meteorology*. 220: 200-206.
- Darwish, T., Faour, G. (2008). Rangeland degradation in two watersheds of Lebanon. *Lebanese Sci. J.* 9: 71-80.
- EbrahimiKhusfi, M., Darvishzade, R., Matkan, A. A., Ashourloo, D. (2010). Drought Assessment in Arid Regions Using Vegetation Indices - a Case Study of "Shirkooh of Yazd" in Central Iran. *Journal of Environmental Sciences*, 7 (4), 59 -72. [In Persian].
- Fadaei, H. (2018). Advanced land observing satellite data to identify ground vegetation in a juniper forest, northeast Iran. *Journal of Forestry Research*. 31, 531-539. <http://doi.org/10.1007/s11676-018-0812-5>
- Fathi Taperasht, A., Shafizadeh-Moghadam, H., & Kouchakzadeh, M. (2022). Spatial-temporal analysis of Iran's climatic classification based on Domarten method and Mann-Kendall test in the statistical period of 1995-2019. *Environmental Sciences*, 20(3), -. doi: 10.52547/envs.2021.
- Fazel Dehkordi, L., Sohrabi, T.S., Mahmoodi Kohan, F. (2015). Drought monitoring by Using of MODIS Satellite Images in Dry land (Case study: YAZD Rangelands). *Desert Ecosystem Engineering Journal*. 4(9): 81-94. [In Persian].
- Ghabaei Sough A, Mosaedi M. (2012). Design process of selecting appropriate drought index based on monitoring multivariate meteors in some stations of arid and semi-arid regions, Iran. *Journal of Water and Soil*. 26(2): 414-426. [In Persian].
- Hamzeh, S., Farahani, Z., Mahdavi, Sh., Chhtarabgun, O., Gholamnia, M. (2017). Temporal and spatial monitoring of agricultural drought using remote sensing data: Central Province of Iran. *Journal of Spatial Analysis of Natural Hazards*, 4 (3): 53-70. [In Persian].
- Heim, R.R. (2002). A review of 20th century drought indices used in united states. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 84, 1149-1165.
- Hosseini, F. (2009). Investigating the effects of climate change in Karkheh catchment, Sharif University of Technology, Tehran, M.Sc. Thesis. [In Persian].
- Huete, H. (1988). A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25: 295-309.



- Jamshidi, H., Khalili, D., Zadeh, M., Hosseini-pour, E. (2011). Assessment and comparison of SPI and RDI meteorological drought indices in selected synoptic stations of Iran. *World Environmental and Water Resources Congress*. 1161–1173. doi: 10.1061/41173(414)120. [In Persian].
- Karimi, M., Shahedi, K. (2018). Investigation of meteorological, hydrological and agricultural drought using drought indices (Case study: Gharehsou watershed). *RS & GIS for Natural Resources*. 9(2): 1-16. [In Persian].
- Khadempour, F., Bakhtiari, B., Golestani, S. (2017). Sensitivity Analysis of FAO Penman-Monteith Model in Daily Reference Evapotranspiration Estimation and Zoning Sensitivity Coefficients across Iran. *Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Technology)*. 31(4), 1046-1059. [In Persian].
- Khosravi, M., Akbari, M. (2009). Investigation of drought characteristics of South Khorasan province. *Geography and development*. 14: 68-51. [In Persian].
- Kogan, F.N. (1993). United States droughts of late 1980's as seen by NOAA polar orbiting satellites. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. 1, 197-199.
- Manandhar, R., Odeh, I.O.A., Ancev, T. (2009). Improving the Accuracy of land use and land cover classification of Landsat data using post-classification enhancement. *Remote Sensing*. 1, 330-344.
- Marumbwa, F.M., Cho, M.A., Chirwa, P. W. (2020). An assessment of remote sensing-based drought index over different land cover types in southern Africa. *International Journal of Remote Sensing*. 41(19): 1-15.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proc 8th Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Boston*, pp: 179-184.
- Melillos, G., Hadjimitsis, D. (2020). Using simple ratio (SR) vegetation index to detect deep man-made infrastructures in Cyprus. *Proc. SPIE 11418, Detection and Sensing of Mines, Explosive Objects, and Obscured Targets XXV*, 114180E. <https://doi.org/10.1117/12.2557893>
- MirMousavi, H., Babaei, G., Karimi, S. (2010). Estimate the Amount of Vegetation Cover Using Different Indicators in Satellite Images and Comparing Them With the Index NDVI in the Region of Geshlag – Sanandaj. *Journal of Geographical Notion*. 4(7): 66-88. [In Persian].
- Nohtani, M., Aiorlo, M., Sarhadi, M. (2018). Zoning Drought with Standardized Precipitation Index and Reconnaissance Drought Index in Sistan and Baluchestan Province, Southeastern Iran. *ECOPERSIA*. 6(2):111-119.
- Rahnama, S., Shahidi, A., Yaghoobzadeh, M., Mehran, A.A. (2021). Investigation of drought in Birjand plain using SPI index. *The 5th National Congress of Irrigation and Drainage of Iran*. 23 and 24 June.
- Rhee, J., Im, J., Carbone, G.J. (2010). Monitoring agricultural drought for arid and humid regions using multi-sensor remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*. 114(12), 2875-2887.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, *Third ERTS Symposium, NASA, SP- 351*, 309-317.
- Sharifan, H., Rahimi, L. (2014). Drought monitoring based on SPI index, deciles and normal. *Irrigation and Drainage Association of Iran, Islamic Azad University, Khorsgan Branch, Isfahan*, 6 February. [In Persian].
- Shokoohi, A., Morovati, R. (2014). An investigation on the Urmia Lake Basin drought using RDI and SPI indices. *Watershed Engineering and Management*. 3(6): 232–246. [In Persian].
- Solimani, K., Darvishi, Sh., Shokrian, F. (2019). Analysis of agricultural drought using remote sensing indices (Case study: Marivan city). *RS & GIS for Natural Resources*. 10(2): 15-33. [In Persian].
- Soltani, M., Soltani, A., Kole Hui, M., Soleimani, K. (2019). Regional drought monitoring using Landsat images of the study area: Kermanshah city. *Scienic - Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 28 (109): 137-146. [In Persian].
- Sun, X., Wang, M., Li, G., Wang, Y. (2020). Regional-scale drought monitor using synthesized index based on remote sensing in northeast China. *Open Geosciences*. 12(1): 163-173.
- Sur, K., Lunagaria, M.M. (2020). Association between drought and agricultural productivity using remote sensing data: a case study of Gujarat state of India. *Journal of Water & Climate Change*. <https://doi.org/10.2166/wcc.2020.157>
- Tsakiris, G., Pangalou, D., Vangelis, H. (2007). Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resources Management*, 21, 821-833.
- Tsakiris, G., Vangelis, H. (2005). Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water*, 9(10), 3-11.
- Wilson, N.R., Norman, L. M., Villarreal, M., Gass, L., Tiller, R., Salywon, A. (2016). Comparison of remote sensing indices for monitoring of desert cienegas. *Arid Land and Research and Management*, 30(4): 460-478.
- Yaghoobzadeh, M., Barani, G., Akbarpour, A. (2009). Comparison of vegetation maps prepared from Landsat and IRS satellite images with the help of NDVI and VI indices. *First International Water Crisis Conference, University of Zabol*. [In Persian].
- Zarei, R., Sarajian, M., Bazgeer, S. (2013). Monitoring Meteorological Drought in Iran Using Remote Sensing and Drought Indices. *DESERT*. 18: 89-97.
- Zou, L., Cao, S., Sanchez-Azofeifa, A. (2020). Evaluating the utility of various drought indices to monitor meteorological drought in Tropical Dry Forests. *International Journal of Biometeorology*. 64(4): 701-711.