نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و سوم، شماره ۶۸، بهار ۱۴۰۲

ارائه یک روش نوین برای ارزیابی و پایش جامع خشکسالی حوضه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص تلفیقی خشکسالی SDI

دریافت مقاله: ۹۷/۱۱/۲ **پذیرش نهایی**: ۹۸/۱۱/۲۶

صفحات: ۲۵۷-۲۴۳

زهرا عبادی نهاری: دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
Email: Zahraebadi101010@gmail.com
مهدی عرفانیان: دانشیار، مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران[1]
Email: Erfanian.ma@gmail.com
سیما کاظم‌پور چورسی: دانشجو دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
Email: Kazempor.sima@gmail.com

چکیده

خشکسالی یک رویداد پیچیده است که در اثر به هم خوردن تعادل آب ایجاد شده و همواره بر بخش‌های کشاورزی، اکولوژیکی و اجتماعی-اقتصادی تأثیرگذار می‌باشد. اگرچه تاکنون، شاخص‌های خشکسالی به دست آمده از داده‌های سنجش از دور برای پایش خشکسالی کشاورزی یا هواشناسی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، ولی شاخصی که بتواند به طور مناسبی بازتاب کننده اطلاعات جامع از خشکسالی از جنبه هواشناسی تا کشاورزی باشد، کمتر مورد استفاده قرار گرفته است. در تحقیق حاضر، به‌منظور پایش جامع خشکسالی حوضه آبریز دریاچه ارومیه از شاخص خشکسالی تلفیقی (SDI) به‌عنوان شاخص سنتز شده از شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI)، شاخص وضعیت دمایی (TCI) و شاخص وضعیت بارش (PCI) بر اساس روش آنالیز مؤلفه اصلی (PCA) استفاده شده است. بدین منظور، ابتدا سری داده‌های ماهواره‌ای MOD13A3، MOD11A2 و TRMM3B43 طی دوره‌ی آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۲ دانلود شد. پس از پردازش اولیه، شاخص‌های خشکسالی با استفاده از داده‌های LST، NDVI و TRMM محاسبه و نقشه‌های شدت خشکسالی ماهانه تهیه شدند. به منظور اعتبارسنجی شاخص SDI، رابطه همبستگی این شاخص با شاخص SPI در بازه زمانی ۳ ماهه طی فصل رشد بدست آمد. همچنین روابط همبستگی SDI با میزان عملکرد دیم دو گیاه گندم و جو بررسی شد. نتایج حاکی از وقوع خشکسالی در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۱ در حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. نتایج بررسی اعتبارسنجی بیانگر وجود همبستگی ۸۰٪ میان دو شاخص SDI و SPI می‌باشد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص SDI، به‌عنوان شاخص جامع پایش خشکسالی، بازتاب کننده اثرات خشکسالی بر کشاورزی می‌باشد.

کلید واژگان: پایش خشکسالی، MODIS، تحلیل مولفه‌های اصلی، SDI، TRMM

---

۱. **نویسنده مسئول: ارومیه**، دانشگاه ارومیه، گروه مرتع و آبخیزداری

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.52547/jgs.23.68.243]

مقدمه

خشکسالی یک پدیده طبیعی است و در کشاورزی به عنوان بحران شناخته شده است. پس از سیل، خشکسالی دومین خطر جغرافیایی گسترده‌ای است که انسان‌ها در معرض آن قرار می‌گیرند. این پدیده منجر به زیان مالی شده و همچنین زندگی و فعالیت‌های انسانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (یادووانشی[1] و همکاران، ۲۰۱۵؛ ماسترانگلو[2] و همکاران، ۲۰۱۲؛ توری[3]، ۱۹۸۶؛ تساکیریس[4] و همکاران، ۲۰۰۷). کمبود آب سطحی و زیرسطحی در شدت و مدت بالاتر، بر عملکرد یک سیستم اکوسیستم طبیعی تأثیر می‌گذارد که شرایط طولانی آن منجر به توسعه خشکسالی می‌شود (چاویز[5] و همکاران، ۲۰۰۲: ۲). خشکسالی را می‌توان به واسطه مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در سه بخش هواشناسی، هیدرولوژی و کشاورزی دسته‌بندی نمود (هیم[6]، ۲۰۰۲: ۱). خشکسالی هواشناسی در اثر کمبود بارندگی، خشکسالی کشاورزی در اثر کمبود رطوبت خاک و خشکسالی هیدرولوژیک به دلیل افت سطح آب پشت مخازن سدها ایجاد می‌شود (هیم، ۲۰۰۲؛ کیانتاش و دراکاپ[7]، ۲۰۰۲). پایش جامع خشکسالی وقتی معنی پیدا می‌کند که همه جنبه‌های خشکسالی در نظر گرفته شود. پدیده خشکسالی پدیده‌ای پیچیده با آثار متفاوت است. از این‌رو، از شاخص‌های متفاوت برای تعیین میزان شدت و وسعت خشکسالی استفاده می‌شود. بیشتر شاخص‌هایی که در این زمینه به‌کار می‌روند، بر پایه معیارهای هواشناسی بوده و متغیرهایی مانند میزان رطوبت خاک، دما یا به‌ویژه میزان بارش را مورد بررسی قرار می‌دهند (رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۱: ۱). با فراهم شدن داده‌های ماهواره‌ای متفاوت و فراگیر شدن استفاده از آن‌ها، امکان مطالعه خشکسالی با استفاده از این فناوری فراهم شده است. با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور می‌توان خشکسالی را از طریق آثارش بر گیاهان و کشاورزی مطالعه کرد و در نتیجه به نتایج دقیق‌تر و مؤثرتری برای مدل‌سازی خشکسالی دست یافت (هیم، ۲۰۰۲). تاکنون تحقیقات گسترده‌ای در زمینه پایش و پیش‌بینی پدیده خشکسالی توسط محققین مختلف انجام شده است. خشکسالی ایالت شاندونگ چین، طی مطالعه‌ای با استفاده از داده‌های MODIS[8] و TRMM[9] در دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ مورد پایش و ارزیابی قرارگرفت (دو[10] و همکاران، ۲۰۱۲). نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص خشکسالی تلفیقی (SDI[11]) نتایج بهتری را در برآورد خشکسالی ارائه می‌کند. همچنین نتایج نشان داد که SDI نه تنها با SPI3 همبستگی بالایی دارد. بلکه با تنوع عملکرد محصول و اراضی کشاورزی متأثر از خشکسالی نیز همبستگی قوی خشکسالی یک پدیده طبیعی است و در کشاورزی به عنوان بحران شناخته شده است. پس از سیل، خشکسالی دومین خطر جغرافیایی گسترده‌ای است که انسان‌ها در معرض آن قرار می‌گیرند. این پدیده منجر به زیان مالی شده و همچنین زندگی و فعالیت‌های انسانی را تحت تأثیر قرار

1.Yaduvanshi
2. Mastrangelo
3. Torry
4. Tsakiris
5. Chaves
6. Heim
7. Keyantash & Dracup
8. Moderate-Resolution Imaging Spectro-Radiometer
9. Tropical Rainfall Measuring Mission
10. Du
11. Synthesized Drought Index

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.52547/jgs.23.68.243]

می‌دهد (یادووانشی[1] و همکاران، ۲۰۱۵؛ ماسترانگلو[2] و همکاران، ۲۰۱۲؛ توری[3]، ۱۹۸۶؛ تساکیریس[4] و همکاران، ۲۰۰۷). کمبود آب سطحی و زیر سطحی در شدت و مدت بالاتر، بر عملکرد یک سیستم اکوسیستم طبیعی تأثیر می‌گذارد که شرایط طولانی آن منجر به توسعه خشکسالی می‌شود (چاویز[5] و همکاران، ۲۰۰۲: ۲). خشکسالی را می‌توان به واسطه مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در سه بخش هواشناسی، هیدرولوژی و کشاورزی دسته‌بندی نمود (هیم[6]، ۲۰۰۲: ۱). خشکسالی هواشناسی در اثر کمبود بارندگی، خشکسالی کشاورزی در اثر کمبود رطوبت خاک و خشکسالی هیدرولوژیک به دلیل افت سطح آب پشت مخازن سدها ایجاد می‌شود (هیم، ۲۰۰۲؛ کیانتاش و دراکاپ[7]، ۲۰۰۲). پایش جامع خشکسالی وقتی معنی پیدا می‌کند که همه جنبه‌های خشکسالی در نظر گرفته شود. پدیده خشکسالی پدیده‌ای پیچیده با آثار متفاوت است. از این‌رو، از شاخص‌های متفاوت برای تعیین میزان شدت و وسعت خشکسالی استفاده می‌شود. بیشتر شاخص‌هایی که در این زمینه به‌کار می‌روند، بر پایه معیارهای هواشناسی بوده و متغیرهایی مانند میزان رطوبت خاک، دما یا به‌ویژه میزان بارش را مورد بررسی قرار می‌دهند (رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۱: ۱). با فراهم شدن داده‌های ماهواره‌ای متفاوت و فراگیر شدن استفاده از آن‌ها، امکان مطالعه خشکسالی با استفاده از این فناوری فراهم شده است. با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور می‌توان خشکسالی را از طریق آثارش بر گیاهان و کشاورزی مطالعه کرد و در نتیجه به نتایج دقیق‌تر و مؤثرتری برای مدل‌سازی خشکسالی دست یافت (هیم، ۲۰۰۲). تاکنون تحقیقات گسترده‌ای در زمینه پایش و پیش‌بینی پدیده خشکسالی توسط محققین مختلف انجام شده است. خشکسالی ایالت شاندونگ چین، طی مطالعه‌ای با استفاده از داده‌های MODIS[8] و TRMM[9] در دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ مورد پایش و ارزیابی قرارگرفت (دو[10] و همکاران، ۲۰۱۲). نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص خشکسالی تلفیقی (SDI[11]) نتایج بهتری را در برآورد خشکسالی ارائه می‌کند. همچنین نتایج نشان داد که SDI نه تنها با SPI3 همبستگی بالایی دارد. بلکه با تنوع عملکرد محصول و اراضی کشاورزی متأثر از خشکسالی نیز همبستگی قوی دارد. وضعیت خشکسالی کره جنوبی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای MODIS و داده‌های مشاهدات زمینی AWS مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تجزیه و تحلیل خشکسالی، شاخص (SDI) با استفاده همزمان از فاکتورهای بارش، دما و گیاه محاسبه شد. نتایج SDI با برداشت محصولات کوهستانی مقایسه و همبستگی متقابل مثبتی را نشان داد (کیم[12] و همکاران، ۲۰۱۷). در سال ۲۰۱۸ مطالعه‌ای با هدف بررسی و تحلیل ویژگی‌های خشکسالی بر پایه دو شاخص SPI و SDI، و تأثیر خشکسالی بر بهره‌وری ذرت خوشه‌ای در سودان از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۱ صورت گرفت. برای شناسایی مناطق خشک و مرطوب، از داده‌های بارش ماهواره TRMM استفاده شد. همبستگی مکانی بین محصولات SDI، SPI3

1.Yaduvanshi
2. Mastrangelo
3. Torry
4. Tsakiris
5. Chaves
6. Heim
7. Keyantash & Dracup
8. Moderate-Resolution Imaging Spectro-Radiometer
9. Tropical Rainfall Measuring Mission
10. Du
11. Synthesized Drought Index
12. Kim

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.52547/jgs.23.68.243]

و بارندگی TRMM نشان داد در اراضی کشاورزی همبستگی مثبت و معنی‌دار و در مناطق کوهستانی همبستگی منفی است (الحاق و ژانگ[1]، ۲۰۱۸). روند تغییرات شاخص NDVI[2] در ماه‌های نوامبر تا می سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ در کشت مرتعی و اراضی دیم حوضه‌ی آبریز نیشابور با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است (مؤذن‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱). در این تحقیق، به منظور پایش دقیق خشکسالی، دو شاخص SPI و VCI[3] نیز محاسبه شدند. مقایسه نتایج این دو شاخص نشان داد که شاخص SPI نمی‌تواند به صورت کامل بیانگر وضعیت خشکسالی کشاورزی باشد. در پایش خشکسالی اصفهان از شاخص‌های TCI[4]، VCI و VHI[5] در دوره‌ی آماری (۲۰۰۷- ۱۹۹۳) استفاده شده است (زمانیان و همکاران، ۱۳۹۱). نتایج نامبردگان نشان داد همبستگی مناسبی بین شاخص‌های VCI و VHI با بارش وجود دارد. خشکسالی شمال غرب ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و TRMM مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بیانگر این بود که سال ۲۰۰۸ خشک‌ترین سال و ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ کمترین خشکسالی را شاهد بوده است (پیشنماز احمدی و همکاران، ۱۳۹۶). جمع‌بندی نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که معمولاً شاخص‌های خشکسالی سنجش از دور موجود با استفاده از باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک محاسبه شده و به طور گسترده در پایش خشکسالی کشاورزی در ایران استفاده شده است. با این حال کاربرد آن‌ها در پایش خشکسالی هواشناسی محدود بوده و شاخصی وجود ندارد که منعکس کننده اطلاعات جامعی از خشکسالی هواشناسی و خشکسالی کشاورزی باشد. لذا این تحقیق با هدف استفاده از شاخص‌های مختلف سنجش از دور در حوضه‌ی آبریز دریاچه ارومیه انجام می‌گیرد.

روش تحقیق

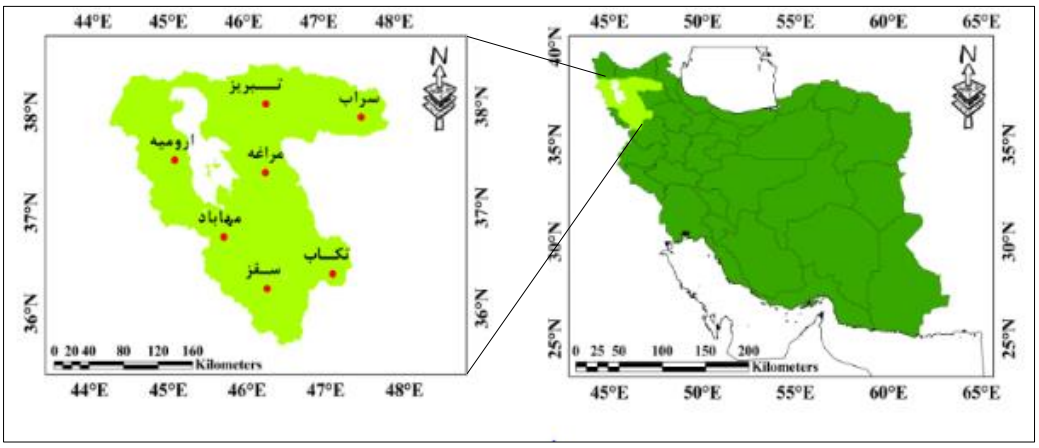
محدوده مورد مطالعه

دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران واقع شده و بزرگترین آبگیر داخلی و مهمترین دریاچه دائمی آن به شمار می‌آید. سطح کل حوضه دریاچه ارومیه ۵۱۸۷۶ کیلومتر مربع می‌باشد، که ۳/۱۵ درصد کل مساحت ایران و ۷ درصد کل سطح آب‌های کشور را به خود اختصاص داده است. در حقیقت، دریاچه ارومیه در یکی از پست‌ترین نقاط حوضه آبریز شمال غرب ایران واقع شده که دلیل این پستی، فروافتادگی حاصل از عملکرد مشترک گسل راستالغز تبریز و کمربند رانشی زاگرس است. حوضه آبریز دریاچه ارومیه، در مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۴ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. بر اساس روش کوپن این منطقه دارای اقلیم نیمه خشک بوده و مقدار متوسط بارندگی آن حدود ۴۰۰ میلی متر در سال است (درویشی خاتونی و همکاران، ۱۳۹۳). این حوضه، در سه استان آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و کردستان واقع شده است. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در شکل(۱) نشان داده شده است. مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در جدول(۱) ارائه شده است.

1. Elhag & Zhang
3. Normalized Difference Vegetation Index
4. Vegetation Condition Index
4. Temperature Condition Index
5. Vegetation Health Index

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.52547/jgs.23.68.243]



شکل(۱). موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز دریاچه ارومیه و ایستگاه‌های سینوپتیک انتخابی

جدول(۱). مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
تبریز	۳۸° ۰۵'	۴۶° ۱۷'	۱۳۶۱
ارومیه	۳۷° ۳۲'	۴۵° ۰۵'	۱۳۱۵/۹
مراغه	۳۷° ۲۴'	۴۶° ۱۶'	۱۴۷۷
مهاباد	۳۶° ۷۶'	۴۵° ۷۱'	۱۳۸۵
تکاب	۳۶° ۳۸'	۴۷° ۱۱'	۱۷۶۵
سراب	۳۷° ۹۳'	۴۷° ۵۳'	۱۶۸۲
سقز	۳۶° ۲۵'	۴۶° ۲۶'	۱۵۲۳

داده و روش کار

به‌منظور پایش جامع خشکسالی حوضه‌ی آبریز دریاچه ارومیه، شاخص‌های وضعیت گیاه (VCI) و وضعیت دما (TCI) با استفاده از داده‌های ماهواره MODIS و شاخص وضعیت بارش (PCI) با استفاده از داده‌های ماهواره TRMM محاسبه شدند. شاخص خشکسالی تلفیقی (SDI)، با تلفیق اطلاعات شاخص‌های VCI، TCI و PCI بر اساس روش آنالیز مؤلفه اصلی (PCA) به‌صورت ماهانه و طی دوره‌ی آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۲ محاسبه شد. به منظور اعتبارسنجی این شاخص از داده‌های شاخص SPI3 و عملکرد محصولات کشت دیم انجام شد. داده‌ها و روش‌های مورد استفاده به تفکیک در ذیل ارائه شده است.

داده‌های سنجش از دور

داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده، شامل شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) و دمای سطح زمین (LST[1]) سنجنده MODIS و داده‌های بارندگی سری 3B43 ماهواره TRMM می‌باشند. داده‌های ماهانه شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی(MOD13A3)، و داده‌های ۸ روزه دمای سطح زمین (MOD11A2)، با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر با دوره‌ی آماری ۱۲ ساله (۲۰۱۲ تا ۲۰۰۱)، از وب سایت ناسا دانلود شدند. با توجه

1. Land Surface Temperature

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.52547/jgs.23.68.243]

به هدف مطالعه که تولید شاخص SDI، حاصل از ترکیب ۳ شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI)، شاخص وضعیت دمایی (TCI) و شاخص وضعیت بارندگی (PCI) می‌باشد، به‌منظور قابل مقایسه بودن شاخص‌ها با یکدیگر لازم است هر ۳ شاخص از لحاظ تفکیک زمانی و مکانی یکسان باشند. بدین منظور تصاویر ۸ روزه دمای سطح زمین به صورت تصاویر ماهانه تبدیل، و سیستم مختصات هر دو سری داده از حالت سینوسی به UTM با Datum جهانی WGS1984 تغییر یافت. محصولات 3B43 ماهواره TRMM حاوی داده‌های بارش بر حسب میلی‌متر بر ساعت (mm/h)، با قدرت تفکیک مکانی ۲۵ کیلومتر است. بنابراین داده‌های بارش پس از تبدیل بر حسب میلی‌متر و کالیبراسیون، به منظور تطابق با محصولات سنجنده مودیس، قدرت تفکیک مکانی آن‌ها به یک کیلومتر تغییر یافت.

شاخص وضعیت گیاه (VCI)

شاخص VCI برای نخستین بار توسط کوگان در سال ۱۹۵۵ پیشنهاد شده است. این شاخص معرف وضعیت پوشش‌گیاهی یک منطقه و تابعی از حداقل و حداکثر NDVI برای یک دوره چند ساله بوده و از طریق رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$\mathrm{VCI} = \frac{\mathrm{NDVI_i} - \mathrm{NDVI_{min}}}{\mathrm{NDVI_{max}} - \mathrm{NDVI_{min}}}$$ رابطه (۱)

شاخص وضعیت دما (TCI)

شاخص وضعیت دمایی به منظور تعیین پدیده خشکسالی مرتبط با دمای سطح زمین (معرف میزان رطوبت خاک سطحی) توسط کوگان در سال ۱۹۵۵ پیشنهاد گردید. پدیده خشکسالی رطوبت خاک را کاهش می‌دهد و باعث وقوع تنش حرارتی برای گیاهان در سطح خاک می‌شود. لذا مقدار بالای LST با شدت خشکسالی ارتباط نزدیک دارد (دو و همکاران، ۲۰۱۲). شاخص TCI مشابه شاخص VCI بوده و وضعیت آن در سری‌های زمانی مشخص و نسبت به مقادیر دمای حداکثر و حداقل یک پیکسل معین در طول دوره آماری از طریق رابطه(۲) محاسبه می‌شود.

$$\mathrm{TCI} = \frac{\mathrm{LST_{max}} - \mathrm{LST}}{\mathrm{LST_{max}} - \mathrm{LST_{min}}}$$ رابطه(۲)

شاخص وضعیت بارش[1] (PCI)

داده‌های سری 3B43 ماهواره TRMM قادر به ارائه برآوردی از بارش ماهانه بوده و بر این اساس اطلاعات مربوط به خشکسالی در حوزه هواشناسی قابل استخراج می‌باشد. داده‌های بارندگی TRMM را نمی‌توان مستقیماً با شاخص‌های VCI و TCI مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. لذا در این تحقیق، از شاخص وضعیت بارش (PCI) برای تشخیص میزان کسری بارش (وقوع خشکسالی) استفاده می‌شود. این شاخص با استفاده از رابطه(۳) محاسبه می‌شود (دو و همکاران، ۲۰۱۲).

$$\mathrm{PCI} = \frac{\mathrm{TRMM} - \mathrm{TRMM_{min}}}{\mathrm{TRMM_{max}} - \mathrm{TRMM_{min}}}$$ رابطه(۳)

1 Precipitation Condition Index

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.52547/jgs.23.68.243]

مقادیر حداقل و حداکثر شاخص‌های مذکور، به ترتیب نشان دهنده حداقل و حداکثر مقدار شاخص در ماه مورد نظر و در کل دوره مورد بررسی (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۲) می‌باشند.

شاخص خشکسالی تلفیقی (SDI)

آنالیز مؤلفه‌های اصلی یکی از انواع روش‌های تحلیل داده‌های چند متغیره است که هدف اصلی آن کاهش بعد داده‌ها می‌باشد. در موارد کاربردی سنجش ازدور، PCA به مدت طولانی به عنوان ابزاری برای انتخاب باندهای اصلی و با ارزش طیفی بالا مورد استفاده قرار گرفته است. اگرچه شاخص‌های VCI، TCI و PCI می‌توانند برای پایش خشکسالی از جنبه‌های پوشش گیاهی، خاک و آب و هوا مورد استفاده قرار گیرند، اما هر یک از آن‌ها بخشی از اطلاعات مربوط به وقوع خشکسالی را شامل می‌شوند. در این پژوهش، برای تلفیق اطلاعات شاخص‌های VCI ، TCI و PCI و از بین بردن وابستگی بین آن‌ها از روش آماری PCA استفاده می‌شود. از آن‌جا که اولین مؤلفه اول (PC1) همواره حاوی بیش از ۷۰٪ اطلاعات VCI، TCI و PCI می‌باشد. بنابراین به‌عنوان یک شاخص جدید خشکسالی به نام شاخص خشکسالی تلفیقی (SDI) تعریف می‌گردد. بر اساس روش PCA مجموعه لایه‌های رستری SDI در مقیاس ماهانه در دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۲، تولید می‌شود. در جدول(۲) طبقه بندی خشکسالی با شاخص‌های VCI، TCI، PCI و SDI نشان داده شده است (بهویین[1]، ۲۰۰۸).

جدول(۲). طبقه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص‌های ماهواره‌ای

طبقه شدت خشکسالی	VCI، TCI و PCI	SDI
خشکسالی بسیار شدید	۰/۱<	۰/۲SDI<
خشکسالی شدید	۰/۱ -۰/۱۹۹	۰/۳SDI< ≤۰/۲
خشکسالی متوسط	۰/۲ -۰/۲۹۹	۰/۳SDI< ≤۰/۳
خشکسالی ضعیف	۰/۳ -۰/۳۹۹	۰/۵SDI< ≤۰/۴
غیر خشکسالی	۰/۴ ≤	۰/۵SDI>

اعتبار سنجی شاخص جامع خشکسالی (SDI)

اعتبار سنجی با استفاده از شاخص SPI

به‌منظور محاسبه شاخص SPI، ابتدا ۷ ایستگاه سینوپتیک در سطح محدوده مطالعاتی انتخاب شدند. این ایستگاه‌ها بر اساس دوره‌ی آماری مشترک ۲۷ ساله (۲۰۱۲- ۱۹۸۶)، مشروط به اینکه تمامی این ایستگاه‌ها طی این دوره دارای آمار بارش باشند، انتخاب شد و شاخص‌های مختلف خشکسالی SPI برای هر یک ایستگاه استخراج شد. رابطه همبستگی بین دو شاخص SPI و SDI تنها طی فصل رشد گیاهان یعنی بین ماه‌های مارس تا سپتامبر سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۲ بررسی شد. از آن‌جایی که تأثیر خشکسالی بر روی پوشش‌گیاهی در مناطق نیمه خشک و نیمه مرطوب حدوداً با ۳ ماه تاخیر همراه است (Udelhoven و همکاران، ۲۰۰۹)، بنابراین در این تحقیق SPI3 ماهه محاسبه گردید. در بررسی رابطه همبستگی، میانگین شاخص SDI، برای ایستگاه‌های منتخب در محدوده مطالعاتی که شاخص SPI برای آن‌ها محاسبه گردیده، به دست آمد. پس از آن شاخص SPI به عنوان متغیر مستقل و شاخص SDI به عنوان متغیر وابسته انتخاب شدند و رابطه همبستگی بین آن‌ها محاسبه و برقرار شد (دو و همکاران، ۲۰۱۲).

1. Bhuiyan

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.52547/jgs.23.68.243]

اعتبارسنجی بر اساس عملکرد محصولات کشت دیم

اگر چه عوامل بسیاری از جمله حشرات، بیماری‌های گیاهی و کمبود مواد غذایی می‌توانند در عملکرد محصول تأثیرگذار باشند، ولی خشکسالی کشاورزی یکی از عوامل اصلی در کاهش عملکرد محصول می‌باشد (Du و همکاران، ۲۰۱۲). بنابراین در تحقیق حاضر، ارتباط بین شاخص‌های خشکسالی سنجش از دور به عنوان ابزاری برای اعتبارسنجی شاخص SDI استفاده شد. از آن‌جایی که حوضه آبریز دریاچه ارومیه یکی از مناطق مهم در تولید گندم و جو محوب می‌شود، در نتیجه عملکرد در هکتار این دو محصول به ویژه در فصل رویش و دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۲ به‌منظور اعتبارسنجی استفاده شد. داده‌های مربوط به عملکرد محصول را نمی‌توان مستقیماً با یکدیگر مقایسه نمود، چرا که حاصل‌خیزی اراضی کشاورزی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه متفاوت است. بنابراین متغیر استاندارد شده عملکرد محصول (St.Y) در هر شهرستان استخراج شده و با مقادیر تجمعی آن شهرستان مورد مقایسه آماری قرار گرفت رابطه(۴).

$$St.Y = \frac{Y_j - \bar{Y}}{\sigma}$$ رابطه(۴)

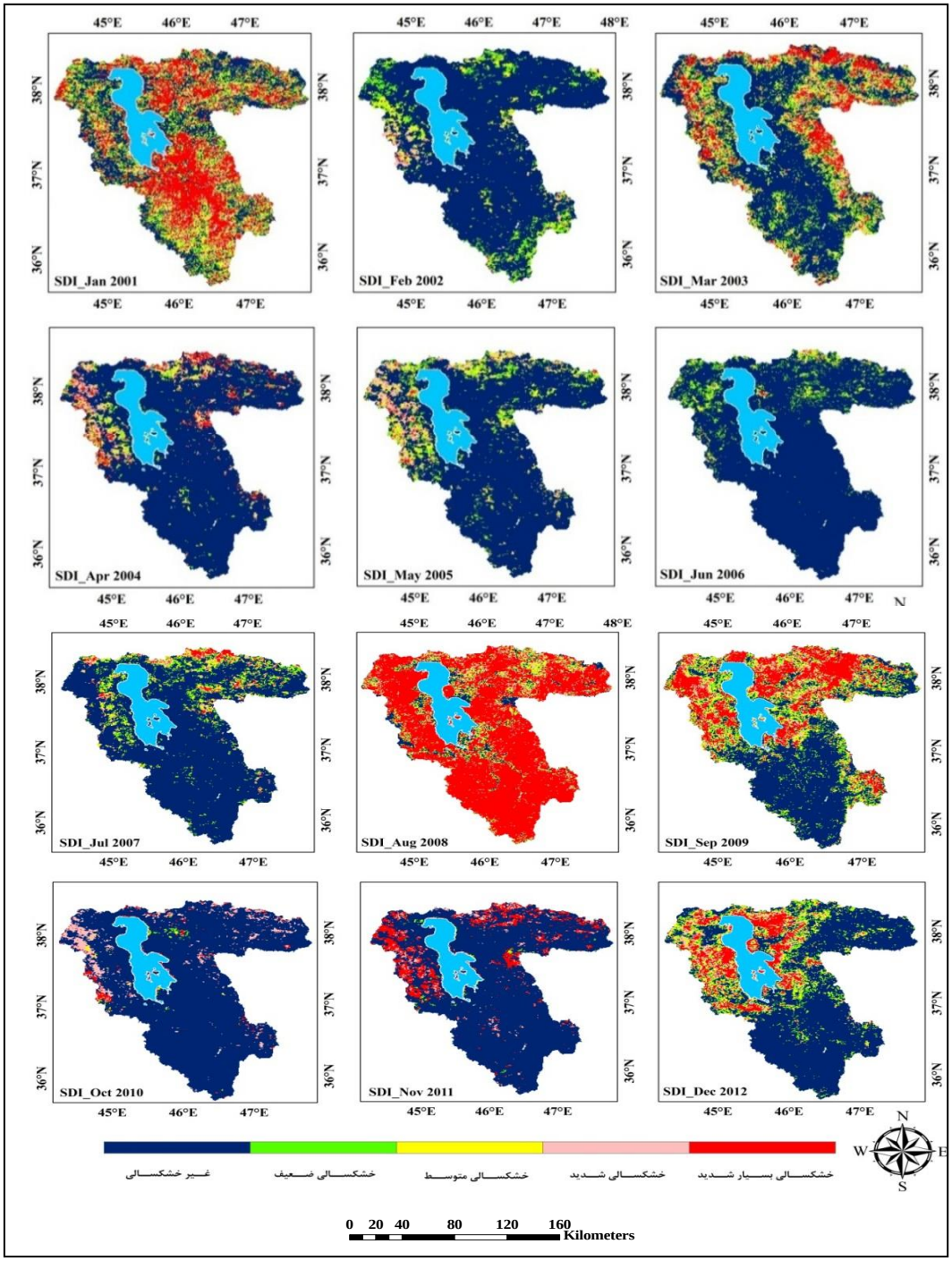
نتایج

پایش خشکسالی با SDI

شاخص‌های VCI، TCI و PCI در مقیاس ماهانه، طی دوره ۱۲ ساله بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۲ برای حوضه آبریز دریاچه ارومیه محاسبه شدند. اما تنها نتایج محاسبه شده در فصل رشد گیاهان یعنی ماه‌های مارس تا سپتامبر، به دلیل وجود پوشش گیاهی در سطح زمین نشان دهنده تغییرات پوشش گیاهی در نتیجه پدیده خشکسالی بود. نقشه شدت خشکسالی یک ماه از هر سال (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۲) بر اساس شاخص تلفیقی SDI در شکل(۲) نمایش داده شده است. در ماه مارس سال ۲۰۰۳ حاشیه‌های غربی و شرقی حوضه، در ماه سپتامبر سال ۲۰۰۹ غرب، شرق، شمال‌غربی و شرقی حوضه، در ماه دسامبر سال ۲۰۱۲ غرب، شمال‌غربی و شرقی حوضه و در ماه‌های ژانویه و آگوست سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ تقریباً کل سطح حوضه تحت تأثیر خشکسالی (متوسط تا شدید) قرار گرفته است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.52547/jgs.23.68.243]

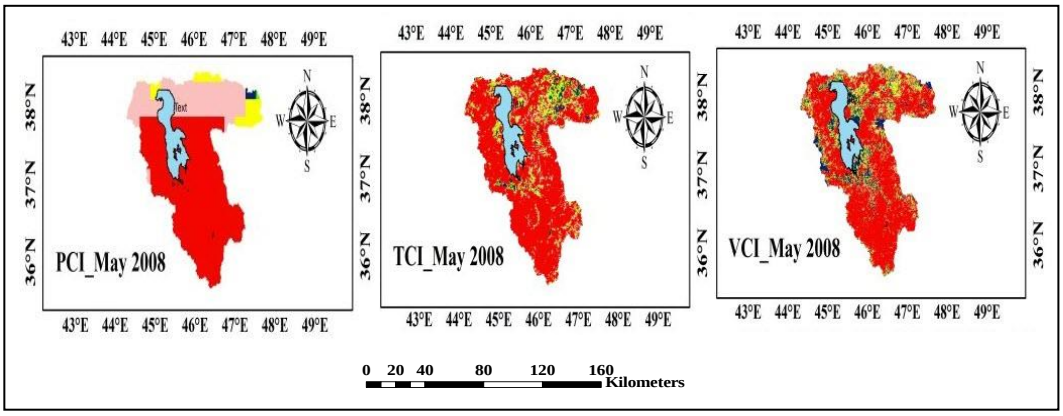


شکل(۲). نقشه‌های شدت خشکسالی ماه‌های ژانویه تا دسامبر بر اساس شاخص SDI از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۲

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.52547/jgs.23.68.243]

با توجه به نقشه شدت خشکسالی در ماه می شاخص‌های VCI، TCI و PCI، در سال ۲۰۰۸ تقریباً تمام سطح حوضه تحت خشکسالی شدید قرار گرفته است شکل(۳). با توجه به قرارگیری ماه می در بین ماه‌های اردیبهشت و خرداد سال شمسی، و با توجه به این‌که در این دو ماه وضعیت رشد پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه در حداکثر مقدار خود قرار دارد، در این ماه به خوبی می‌توان اثرات خشکسالی بر روی پوشش گیاهی را شناسایی کرد. از طرفی هر چه مقدار ابرناکی تصاویر ماهواره‌ای کمتر باشد شاخص TCI به دست آمده قابل استنادتر است. با توجه به این‌که، اقلیم حوضه آبریز دریاچه ارومیه خشک و نیمه‌خشک بوده و در فصل‌های بهار و زمستان درصد ابرناکی بالاست، نتایج در ماه‌های می تا اکتبر دقیق‌تر است. شاخص تلفیقی خشکسالی (SDI)، شاخص سنتز شده از شاخص‌های فوق در ماه می وقوع خشکسالی در سال ۲۰۰۸ را تأیید می‌کند شکل(۳).

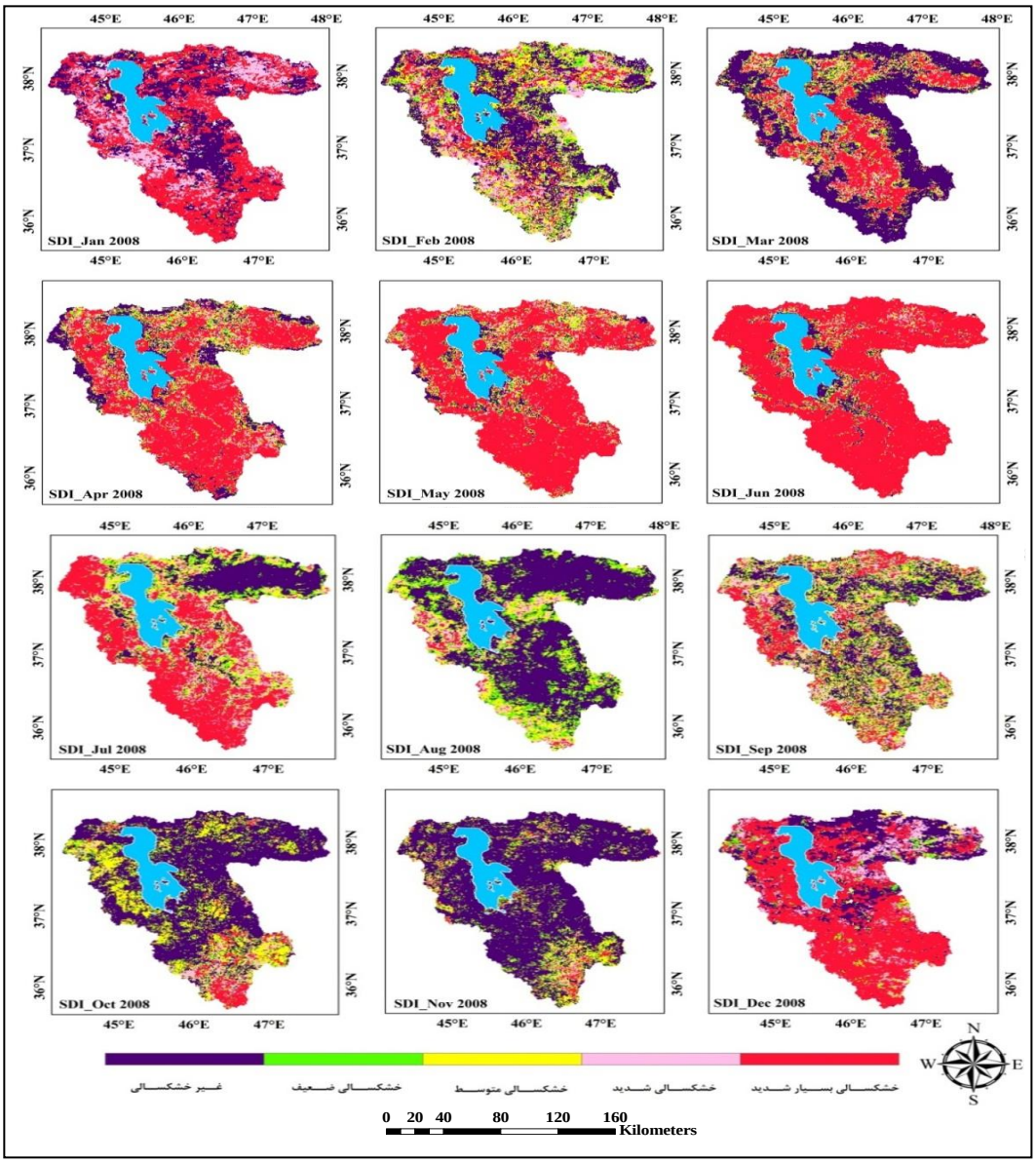


شکل(۳). نقشه‌های شدت خشکسالی ماه می بر اساس شاخص‌های VCI، TCI و PCI در سال ۲۰۰۸

در این تحقیق خشکسالی شدید تجربه شده در سال ۲۰۰۸ با دقت مورد پایش قرار گرفت و این فرآیند در نقشه SDI مشاهده شد شکل(۴). نتایج شکل(۴) نشان می‌دهد که خشکسالی در ماه آوریل اتفاق افتاده و از می تا ژوئن ۲۰۰۸ در حوضه آبریز دریاچه ارومیه به شدت توسعه یافته و حداقل در ۳ ماه از سال ۲۰۰۸ حفظ شده است. در ماه آوریل ۴۰۱۲۴ کیلومتر مربع یعنی ۸۵ درصد از حوضه تحت تاثیر خشکسالی قرار گرفته است که تنها ۵۶ درصد از حوضه تحت خشکسالی شدید بوده است. در دو ماه بعدی شدت خشکسالی بیشتر می‌شود و در کل حوضه توسعه پیدا می‌کند. به طوری که حداکثر گستره وقوع در ماه ژوئن و به مقدار ۴۴۸۱۴ کیلومتر مربع یعنی ۹۵ درصد از مساحت حوضه مشاهده شد. پس از این ماه گستره وقوع این پدیده تا ماه نوامبر دارای روند کاهشی بوده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.52547/jgs.23.68.243]

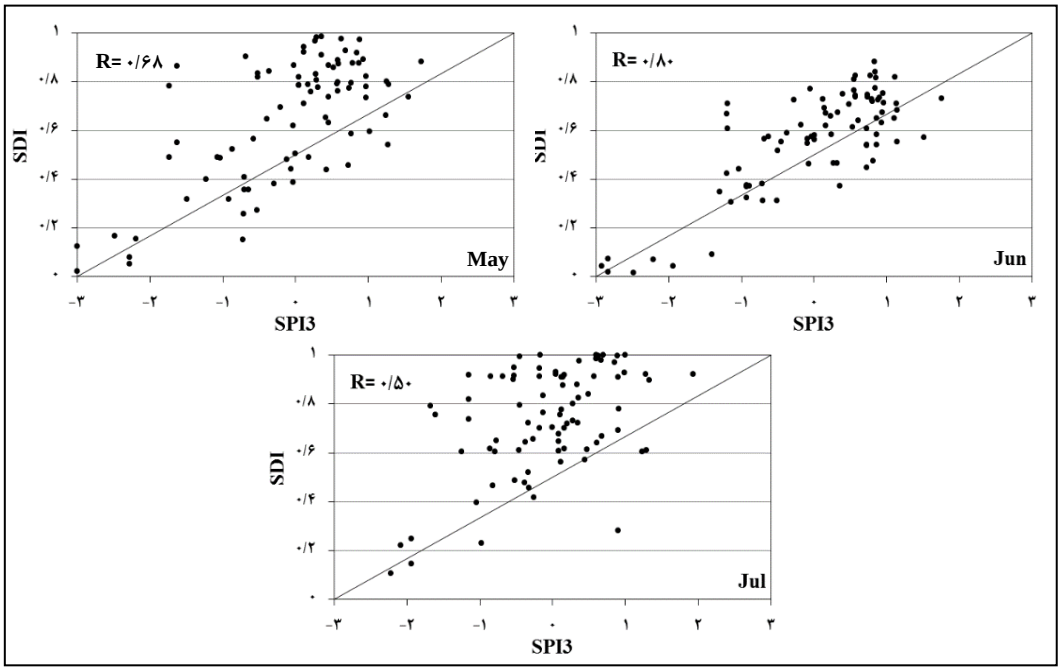


شکل(۴). نقشه‌های شدت خشکسالی ماه‌های ژانویه تا دسامبر بر اساس شاخص SDI در سال ۲۰۰۸

نتایج بررسی همبستگی میان دو شاخص SDI و بارش استاندارد شده SPI

به منظور اعتبارسنجی شاخص تلفیقی خشکسالی، رابطه همبستگی میان دو شاخص SDI و SPI برقرار گردید. امکان محاسبه شاخص SDI برای حوضه آبریز دریاچه ارومیه، رابطه همبستگی میان شاخص SPI و SDI در طی فصل رشد یعنی بازه زمانی ماه‌های مارس تا سپتامبر بررسی گردید. رابطه بین دو شاخص SDI و شاخص SPI3 در ماه‌های می، ژوئن و جولای در شکل(۵) ارائه شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.52547/jgs.23.68.243]



شکل(۵). نمودار رابطه بین دو شاخص SDI و شاخص SPI3 در ماه‌های می، ژوئن و جولای

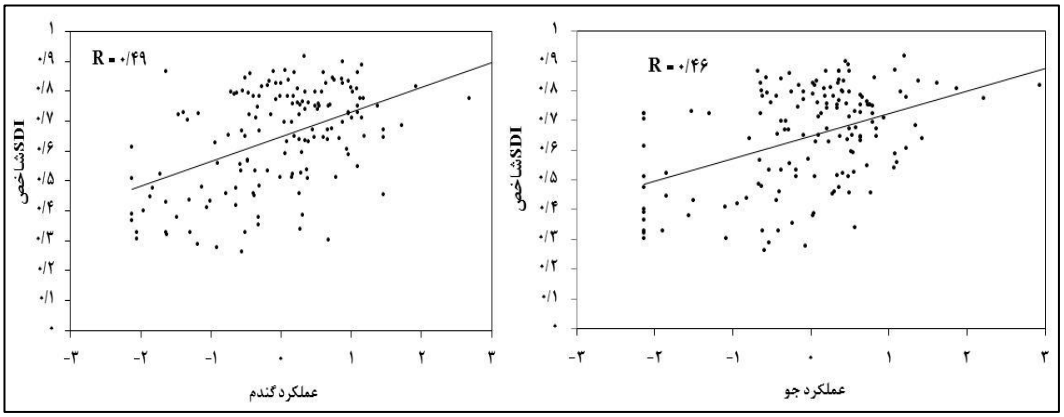
با توجه به اقلیم حوضه آبریز دریاچه ارومیه، حداکثر رشد پوشش گیاهی در طی ماه‌های آوریل، می و ژوئن رخ می‌دهد. با توجه به نتایج می‌توان مشاهده نمود حداکثر ضریب همبستگی با SPI3 در ماه ژوئن و می به دست آمده است. این نتیجه می‌تواند حاکی از زمان تأخیر میان بارندگی‌های مؤثر و حداکثر رشد پوشش‌گیاهی باشد. با توجه به این‌که بارندگی‌های مؤثر بر حوضه مورد مطالعه معمولاً از ماه دسامبر (اوایل زمستان)، آغاز می‌گردد، این زمان تأخیر میان بارش‌ها و حداکثر رشد گیاهان منطقی به نظر می‌رسد.

نتایج بررسی مقدار عملکرد کشت دیم

مقایسه‌ای بین عملکرد محصولات دیم گندم و جو و شاخص SDI، در طی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۱ و تغییرات زمان کاشت تا برداشت (ژوئن تا سپتامبر) برقرار گردید شکل(۶). نتایج در مناطق تحت تأثیر خشکسالی نشان داد که SDI همچنین دارای یک ارتباط با متغیر عملکرد محصول است. متغیر عملکرد محصول نه تنها از خشکسالی کشاورزی تأثیر می‌پذیرد بلکه از آفات، بیماری‌ها و قابل باور بودن و ... نیز تاثیر می‌پذیرد. بنابراین SDI همبستگی پایینی با متغییر استاندارد شده عملکرد محصول دارد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.52547/jgs.23.68.243]



شکل(۶). نمودار رابطه بین دو شاخص SDI و شاخص SPI3 در ماه‌های می، ژوئن و جولای

بحث و نتیجه‌گیری

پایش و کنترل خشکسالی از جمله روش‌های کاهش خسارات ناشی از این پدیده می‌باشد. در دهه‌های اخیر، سنجش از دور و فنون مبتنی بر داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای توانسته‌اند برآوردهای مناسبی از خشکسالی را در مقیاس منطقه‌ای ارائه نمایند. مزیت روش‌های مبتنی بر سنجش از دور نسبت به روش‌های درون‌یابی (روش‌های زمین آماری) در این است که در روش‌های سنجش از دوری از داده‌ها یا تصاویر ماهواره‌ای با توزیع مکانی مقادیر واقعی متغیرهای مؤثر در خشکسالی (از جمله دما و میزان پوشش گیاهی) استفاده می‌شود و لذا نتایج آن‌ها می‌تواند نسبت به روش‌های درون‌یابی از دقت بالاتری برخوردار باشد. تحقیق حاضر با هدف پایش جامع خشکسالی با استفاده از داده‌های MODIS و TRMM در حوضه آبریز دریاچه ارومیه انجام شده است. استفاده از اطلاعات کشاورزی و هواشناسی در محاسبه شاخص‌ها و ترکیب نتایج به‌منظور پایش جامع خشکسالی از مزیت-های تحقیق حاضر به شمار می‌رود.

نتایج پایش خشکسالی شاخص SDI در دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۲ نشان داد که شدیدترین خشکسالی در سال ۲۰۰۸ تجربه شده است. برای ارزیابی دقت SDI، با استفاده از شاخص خشکسالی هواشناسی اعتبارسنجی انجام شد. نتایج نشان داد که بین SDI و SPI همبستگی بالایی (۸۰٪) وجود دارد. اعتبارسنجی دیگری با استفاده داده‌های عملکرد محصول در مناطق تحت تأثیر خشکسالی انجام شد. نتایج نشان داد که شاخص SDI دارای یک همبستگی با عملکرد محصول نیز است. نتایج مطالعه، با نتایج تحقیقات دو و همکاران (۲۰۱۲) در ایالت شاندونگ چین هم‌خوانی دارد. نتایج نامبردگان نیز نشان داد که شاخص SDI به دست آمده از مجموعه داده‌های سنجش از دور، نتایج بهتری را در برآورد خشکسالی ارائه می‌کند. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که SDI نه‌تنها با SPI3 همبستگی بالایی دارد. بلکه با عملکرد محصول و اراضی کشاورزی متأثر از خشکسالی نیز همبستگی دارد. همچنین نتایج تحقیق با نتایج تحقیقات ری [1] و همکاران در منطقه مرطوب (کارولینای شمالی و جنوبی) و منطقه خشک (آریزونا و نیو مکزیک) هم خوانی دارد. نتایج نامبردگان نیز نشان داد شاخص SDI، شاخص ترکیبی حاصل از داده‌های NDVI، LST و داده‌های TRMM نتایج بهتری را در ارزیابی و پایش جامع خشکسالی نشان داده است. در حالت کلی نتایج نشان داد که شاخص SDI می‌تواند علاوه بر تعیین زمان شروع،

1 Rhee

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.52547/jgs.23.68.243]

طول مدت و زمان پایان خشکسالی، قادر به شناسایی شدت خشکسالی در مناطق مختلف باشد. در واقع این شاخص قابلیت بررسی تغییرات مکانی، زمانی و همچنین شدت پدیده خشکسالی را به طور همزمان دارا می‌باشد. لذا می‌توان گفت با اعتبار سنجی نتایج حاصل از این تحقیق با داده‌های ایستگاه‌های زمینی از جمله بارندگی و عملکرد محصول، می‌توان نسبت به پیش‌بینی و برآوردهای منطقه‌ای این پدیده در مناطق فاقد ایستگاه‌های زمینی و یا مناطقی با شبکه ایستگاه‌های زمینی پراکنده و نامنظم اقدام کرد.

منابع

پیشنماز احمدی، مجید، هوشمند، علی و زمانی، فهمیمه، (۱۳۹۶)، **پایش خشکسالی شمال غرب کشور با استفاده از داده‌های MODIS و TRMM**. بیست و چهارمین همایش ملی ژئوماتیک، اردیبهشت ۱۳۹۶.

درویشی خاتونی، جواد، صالحی پور میلانی، علیرضا و محمدی، علی، (۱۳۹۳)، **گزارش لیمنولوژی و پالئولیمنولوژی دریاچه ارومیه اقلیم، زمین شناسی، هیدرولوژی و سنجش از راه دور**. معاونت زمین‌شناسی مدیریت زمین شناسی دریایی گروه رسوب شناسی، ۹۵ ص.

زمانیان، محمدتقی، بهیار، محمدباقر، کریمی حسینی، آزاده و وظیفه دوست، مجید، (۱۳۹۱)، **پایش و تحلیل خشکسالی کشاورزی با استفاده از تولیدات ماهواره‌ای سنجنده NOAA-AVHRR**، نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی، **۳(۹)**: ۵۴-۴۳.

رضایی‌مقدم، محمدحسین، ولیزاده‌کامران، خلیل، رستم‌زاده، هاشم و رضایی، علی، (۱۳۹۱)، **ارزیابی کارایی داده‌های سنجنده MODIS در برآورد خشکسالی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز دریاچه ارومیه)**، مجله جغرافیا و پایداری محیط، **(۵)**: ۵۲-۳۷.

موذن‌زاده، روزیه، ارشد، صالح، قهرمان، بیژن و داوری، کامران، (۱۳۹۱)، **پایش خشکسالی در کشت‌های غیرآبی با استفاده از تکنیک سنجش از دور**، مدیریت آب و آبیاری، **۲(۲)**:۵۲-۳۹.

Bhuiyan, C. (2008). **Desert Vegetarian during Droughts: Response and Sensitivity**, the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, **37(8)**: 907-912.

Chaves, M.M, Pereira, J.S, Maroco, J, Rodrigues, M.L, Ricardo, C.P.P, Osório, M.L, Carvalho, I, Faria, T, Pinheiro, C. (2002). **How Plants Cope with Water Stress in the Field? Photosynthesis and Growth**, Annals of botany, **89(7)**: 907-916.

Elhag, K, Zhang, W. (2018). **Monitoring and Assessment of Drought Focused on Its Impact on Sorghum Yield over Sudan by Using Meteorological Drought Indices for the Period 2001–2011**, Remote Sensing, **10(8)**, 1231.

Heim, R.R. (2002). **A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States**, Bulletin of the American Meteorological Society, **83(8)**: 1149–1166.

Du, L, Tian, Q, Yu, T, Meng, Q, Jancso, T, Udvardy, P, Huang, Y. (2012). **A Comprehensive Drought Monitoring Method Integrating MODIS and TRMM Data**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, **23**: 245-253.

Keyantash, J, Dracup, J. A. (2002). **The Quantification of Drought: An Evaluation of Drought Indices**, Bulletin of the American Meteorological Society, **83(8)**: 1167-1180.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.52547/jgs.23.68.243]

Kim, Y, Lee, S. B, Yun, H, Kim, J, Park, Y. (2017). **A Drought Analysis Method Based on Modis Satellite Imagery and AWS Data**. In Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2017 IEEE International (pp. 4862-4865). IEEE

Kogan, F.N, (1995). **Application of Vegetation Index and Brightness Temperature for Drought Detection**, Advances in Space Research, **15(11)**: 91–100.

Mastrangelo, A.M, Mazzucotelli, E, Guerra, D, De Vita, P, Cattivelli, L. (2012). **Improvement of Drought Resistance in Crops: From Conventional Breeding to Genomic Selection**, Crop Stress and Its Management: Perspectives and Strategies. Springer, 225–259.

Rhee, J., Im, J., Carbone, G.J. (2010). **Monitoring agricultural drought for arid and humid regions using multisensor remote sensing data**, Remote Sensing of Environment, **(114)**: 2875–2887.

Torry, W.I. (1986). **Economic Development, Drought, and Famines: Some Limitations of Dependency Explanations**, GeoJournal **12(1)**, 5–18.

Tsakiris, G, Pangalou, D, Vangelis, H. (2007). **Regional Drought Assessment Based on the Reconnaissance Drought Index (RDI)**, Water Resource. Manage. **21(5)**, 821–833.

Udelhoven, T, Stellmes, M, Del Barrio, G, Hill, J. (2009). **Assessment of Rainfall and NDVI Anomalies in Spain (1989–1999) Using Distributed Lag Models**, International Journal of Remote Sensing, **30(8)**: 1961–1976.

Yaduvanshi, A, Srivastava, P. K, Pandey, A. C. (2015). **Integrating TRMM and MODIS Satellite with Socio-economic Vulnerability for Monitoring Drought Risk over a Tropical Region of India**, Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, **83**: 14-27.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.52547/jgs.23.68.243]