



پایش خشکسالی کشاورزی با استفاده از شاخص سنگش از دوری وضعیت تبخیر تعرق در حوزه آبخیز جراحی



مآنده بهی فر^۱، عطاءالله عبدالهی^{۲*}، مجید کیاورز مقدم^۳، قاسم عزیزی^۴

دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۲ / پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۷ / دسترسی اینترنتی: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

چکیده

خشکسالی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی کشور است که اثرات مخرب زیست‌محیطی و اقتصادی فراوانی دارد. عوامل مختلفی بر بروز خشکسالی تأثیر دارند و شاخص‌های متنوعی برای پایش آن ارائه شده است. تاکنون تحقیقات اندکی به استفاده از داده‌های تبخیر تعرق ماهواره‌ای برای مطالعه خشکسالی پرداخته‌اند. در این تحقیق از شاخص‌های سنگش‌ازدوری وضعیت پوشش گیاهی، وضعیت دما و وضعیت تبخیر تعرق برای مطالعه خشکسالی در حوزه آبخیز جراحی و زهره استفاده شد. شاخص‌های سنگش‌ازدوری خشکسالی به‌صورت ماهانه با استفاده از محصولات سنجنده مادیس در سال‌های

۱۳۷۸ تا ۱۳۹۶ محاسبه شدند. برای ارزیابی شاخص‌های سنگش‌ازدوری از شاخص ایستگاهی بارش استاندارد شده شش‌ماهه استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان داد شاخص وضعیت تبخیر تعرق بالاترین همبستگی را با شاخص بارش استاندارد شده شش‌ماهه داشت و به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص در نظر گرفته شد. مقدار ضریب همبستگی این شاخص ۰/۵۷- و مقدار ریشه میانگین مربعات خطا معادل ۰/۴۷ بوده است. با استفاده از شاخص‌های سنگش‌ازدوری، نقشه درجات شدت خشکسالی در شش کلاس خشکسالی فرین، شدید، متوسط، خفیف، نزدیک به نرمال و بدون خشکسالی برای سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۵ که منطقه مطالعه تحت تأثیر خشکسالی قرار داشت، تهیه شد. نتایج ارزیابی مکانی نشان داد، بخش میانی حوزه که دارای زیستگاه‌های حفاظت‌شده با اهمیت اکولوژیک است، آسیب‌پذیرترین بخش حوزه حین خشکسالی بوده است و در بازه مطالعات، بیش از ۱۰ ماه خشکسالی فرین را تجربه کرده است. در دوره موردبررسی، بخش ساحلی کمترین شدت خشکسالی را شاهد بوده است. با این وجود، طی سال‌های مختلف پهنه تالابی حوزه که جزو زیستگاه‌های حفاظت‌شده آبی محسوب می‌گردد، با کاهش سطح روبرو شده است. نتایج تحقیق نشان داد، در مقایسه با سایر شاخص‌ها، استفاده از داده‌های تبخیر تعرق ماهواره‌ای می‌تواند ابزار مناسبی برای پایش

مآنده بهی فر^۱، عطاءالله عبدالهی^{۲*} (✉)، مجید کیاورز مقدم^۳، قاسم عزیزی^۴

۱. سنگش از دور، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. گروه سنگش از

دور، پژوهشگاه فضایی ایران

۲. دانشگاه تهران

۳. استادیار گروه سنگش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۴. دانشیار آب و هواشناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

DOI: 10.30495/girs.2023.691224

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: a.a.kakroodi@ut.ac.ir

استفاده از شاخص های وضعیت پوشش گیاهی، وضعیت دما و وضعیت تبخیر تعرق تحلیل شد.

روش تحقیق:

برای محاسبه شاخص های خشکسالی از محصولات دما، پوشش گیاهی و تبخیر تعرق سنجنده مادیس استفاده شده است. محصولات سطح زمین مادیس از سامانه Google Earth Engine اخذ شدند. دوره آماری انجام مطالعات سال های ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۶ شمسی (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ میلادی) بوده است. در این بازه، محصولات دما و تبخیر تعرق به صورت ۸ روزه و محصول پوشش گیاهی ۱۶ روزه بکار گرفته شده است. کلیه داده های ۸ و ۱۶ روزه به داده های ماهانه تبدیل شد و شاخص های سنجنش ازدوری خشکسالی بر مبنای این داده های ماهانه، محاسبه شد.

شاخص های سنجنش ازدوری وضعیت پوشش گیاهی، وضعیت دما و وضعیت تبخیر تعرق با استفاده از محصولات سنجنده مادیس تهیه شدند و با شاخص ایستگاهی بارش استاندارد شده شش ماهه مقایسه شدند. برای ارزیابی دقت شاخص های سنجنش ازدوری از معیارهای همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطا استفاده شده است. سپس با استفاده از شاخص های سنجنش ازدوری، نقشه درجات شدت خشکسالی در شش کلاس خشکسالی فرین، شدید، متوسط، خفیف، نزدیک به نرمال و بدون خشکسالی برای سال های ۱۳۸۷، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۵ که منطقه مطالعه تحت تأثیر خشکسالی قرار داشت، تهیه شد.

نتایج و بحث:

خشکسالی یکی از پرهزینه ترین بلایای طبیعی است و در سال های اخیر مسئله ای جهانی شده است. در این تحقیق خشکسالی حوزه جراحی زهره با استفاده از شاخص های سنجنش ازدوری وضعیت پوشش گیاهی، وضعیت دما و وضعیت تبخیر تعرق پهنه بندی شده است. علاوه بر این عملکرد این سه شاخص در مقایسه با شاخص ایستگاهی بارش استاندارد شده ارزیابی شده است. شاخص های وضعیت پوشش گیاهی و وضعیت دما از پرکاربردترین شاخص های سنجنش ازدوری خشکسالی محسوب می شوند. علاوه بر این، در این تحقیق قابلیت شاخص های مبتنی بر تبخیر تعرق برای پهنه بندی خشکسالی مورد ارزیابی قرار گرفته است. با این هدف، به کمک اطلاعات ایستگاه های سینوپتیک سه رویداد خشکسالی در منطقه مطالعه شناسایی شده و سپس عملکرد شاخص های سنجنش ازدوری در برآورد این خشکسالی ها ارزیابی شده است.

خشکسالی در مناطق گرم و با پوشش گیاهی پراکنده نظیر ایران فراهم نماید.

طرح مسئله:

خشکسالی از مهم ترین مخاطرات طبیعی کشور است که اثرات مخرب زیست محیطی و اقتصادی فراوانی دارد. در مقایسه با سایر بلایای طبیعی، هزینه های مرتبط با خشکسالی به دلیل عواقب اجتماعی، محیطی و اقتصادی جدی بیشتر است. در سال های گذشته پیشرفت های خوبی در زمینه پایش خشکسالی به کمک داده های سنجنش ازدور اتفاق افتاده است. عوامل مختلفی نظیر بارش، دما، رطوبت خاک بر بروز خشکسالی تأثیر دارند و شاخص های متنوعی برای پایش آن ارائه شده است. پارامتر تبخیر تعرق واقعی به خوبی اثر متقابل عوامل ذکر شده را در خود ذخیره دارد و می تواند به عنوان معیار مناسبی برای مطالعه خشکسالی بکار گرفته شود. تاکنون تحقیقات مختلفی با استفاده از شاخص های سنجنش ازدوری برای مطالعه خشکسالی انجام شده اند، که بسیاری از آنها بر شاخص های دما و پوشش گیاهی متمرکز بوده اند و از تبخیر تعرق ماهواره ای کمتر استفاده شده است.

هدف:

هدف از این تحقیق بررسی قابلیت شاخص های مبتنی بر تبخیر تعرق واقعی برای مطالعه خشکسالی و مقایسه آن با شاخص های متداول می باشد. به این منظور، در این تحقیق عملکرد شاخص سنجنش ازدوری وضعیت تبخیر تعرق که با استفاده از داده های تبخیر تعرق واقعی محاسبه می شود مورد ارزیابی قرار گرفت و با نتایج شاخص های مرسوم وضعیت پوشش گیاهی و وضعیت دما مقایسه شد. در سال های گذشته بسیاری از مناطق کشور خشکسالی های شدید و استثنایی را تجربه کرده اند که از نظر شدت و گستره اهمیت بسیاری داشته اند. حوزه آبخیز جراحی و زهره دارای تنوع اقلیمی و زیستگاه های مختلف خشک و نیمه خشک می باشد و مناطق حفاظت شده و تحت مدیریت متعددی از هر دو نوع اکوسیستم آبی و خشکی را داراست. تالاب و پناهگاه حیات وحش شادگان به عنوان اکوسیستم آبی حفاظت شده این حوزه است (۲۵). باتوجه به این موضوع، حوزه جراحی و زهره به عنوان منطقه مطالعه تحقیق انتخاب شد و وضعیت خشکسالی در بخش های مختلف حوزه آبخیز در سه رویداد مهم خشکسالی منطقه در سال های ۱۳۸۷، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۵ با

بر اساس نتایج شاخص ایستگاهی بارش استاندارد شده، منطقه مطالعه به دفعات رویدادهای خشکسالی متوسط تا شدیدی را تجربه کرده است. از این بین در رویداد خشکسالی شش ماهه سالهای ۱۳۸۲، ۱۳۸۴، ۱۳۸۷، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۵ بیشترین شدت‌های خشکسالی را تجربه کرده‌اند. مقادیر شاخص بارش استاندارد شده نشان می‌دهد، ایستگاه‌های مورد مطالعه در سال‌های مذکور در طبقه خشکسالی شدید و فرین قرار داشته‌اند. همچنین نتایج نشان داد که تداوم خشکسالی‌های بلندمدت در منطقه مطالعه قابل توجه است. بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی شاخص بارش استاندارد شده، ایستگاه رامهرمز بیشترین شدت خشکسالی (شدت ۲/۴-) را در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها تجربه کرده است. همچنین رویدادهای خشکسالی فرین در این ایستگاه تکرار بالاتری (۱۰ ماه) در مقایسه با سایر مناطق داشته است.

بر اساس نتایج به دست آمده سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۵ به عنوان سال‌های دارای خشکسالی در منطقه مطالعه در نظر گرفته شد و نقشه‌های خشکسالی بر اساس داده‌های سنجش از دور، برای ماه شهریور (سپتامبر) به عنوان ماه مشترک دارای خشکسالی در هر سه سال مورد ارزیابی قرار گرفت.

برای ارزیابی دقت همبستگی شاخص‌های سنجش از دوری و شاخص ایستگاهی بارش استاندارد شده و مقدار ریشه میانگین مربعات خطا در دوره مطالعه محاسبه شده است. نتایج ارزیابی دقت نشان داد، شاخص وضعیت تبخیر تعرق که به کمک داده‌های تبخیر تعرق واقعی محاسبه می‌شود، در مقایسه با شاخص‌های وضعیت پوشش گیاهی و وضعیت دما، مناسب‌ترین شاخص برای مطالعه خشکسالی منطقه مطالعه محسوب می‌شود. مقدار ضریب همبستگی این شاخص ۰/۵۷- و مقدار ریشه میانگین مربعات خطا معادل ۰/۴۷ بوده است. پس از آن شاخص وضعیت دما عملکرد بهتری را در مقایسه با شاخص وضعیت پوشش گیاهی داشته است.

نقشه پهنه بندی خشکسالی نشان داد، شاخص وضعیت پوشش گیاهی در سال ۱۳۸۷، نشان دهنده خشکسالی شدید در بخش میانی حوزه می‌باشد. و ارتفاعات و پهنه تالاب‌ها شرایط بدون خشکسالی را نشان می‌دهند. همچنین در نیمه میانی حوزه در مناطق حاشیه مسیل‌ها و رودها، به صورت جزئی شدت خشکسالی کاهش یافته است. شاخص وضعیت دما در همین سال نشان می‌دهد که تمام منطقه مطالعه به استثناء بخشی کوچک در محدوده تالابی، دماهای بالاتر از میانگین مورد انتظار را داشته‌اند و از این نظر در کلاس

خشکسالی شدید تا متوسط قرار می‌گیرند. این موضوع توسط شاخص وضعیت تبخیر تعرق نیز تأیید می‌گردد، در این سال تمام منطقه مطالعه وضعیت دما و رطوبت در دسترس به نحوی بوده است که مقادیر تبخیر تعرق در مقایسه با میانگین بلندمدت منطقه مطالعه کاهش چشمگیری یافته است و شاخص وضعیت تبخیر تعرق حاکی از شرایط خشکسالی متوسط تا شدید در حوزه می‌باشد. قابل ذکر است که با وجود آنکه در این تاریخ محدوده تالابی شرایط نزدیک به نرمال و یا بدون خشکسالی را نشان می‌دهد، اما محدوده‌های آبی در این سال نسبت به محدوده‌های اصلی تالابی کاهش نشان می‌دهد و بخش‌هایی از پهنه‌های آبی در این سال از بین رفته است.

مطالعه درصد مساحت کلاس‌های مختلف خشکسالی نشان می‌دهد، در هر سه سال مورد بررسی کمتر از یک درصد حوزه شرایط نرمال و یا نزدیک به نرمال داشته‌اند. در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۵ بیش از ۶۰ درصد حوزه تحت تأثیر خشکسالی فرین قرار داشته‌اند. در سال ۱۳۸۷ بخش عمده حوزه (۶۵ درصد) شاهد شرایط خشکسالی متوسط بوده است. نکته قابل توجه آن است که در هر سه رویداد مورد بررسی، بیش از ۹۰ درصد سطح حوزه با خشکسالی‌های متوسط تا فرین مواجه بوده‌اند.

نتیجه‌گیری:

با وجود اینکه تحقیقات مختلف به قابلیت شاخص‌های مبتنی بر پوشش گیاهی برای مطالعه خشکسالی اشاره کرده‌اند، اما در منطقه مطالعه عملکرد شاخص مبتنی بر تبخیر تعرق بالاتر بوده است. نتایج تحقیق نشان داد استفاده از شاخص خشکسالی مبتنی بر تبخیر تعرق به دلیل آنکه به صورت توأم تحت تأثیر پارامترهای دما و رطوبت در دسترس قرار دارد، می‌تواند در تحلیل دقیق تر خشکسالی مؤثر باشد و جزئیات بیشتری از شرایط منطقه‌ای فراهم نماید. با این وجود تاکنون از شاخص‌های مبتنی بر تبخیر تعرق واقعی برای برآورد خشکسالی استفاده نشده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که در رویدادهای خشکسالی مورد مطالعه بخش میانی حوزه تحت تأثیر شدیدترین خشکسالی‌ها قرار داشته و در بازه مطالعات، بیش از ۱۰ ماه خشکسالی فرین را تجربه کرده است. با توجه به آنکه این محدوده دارای سه منطقه حفاظت شده زیست محیطی می‌باشد، حاکی از اهمیت مطالعه و مدیریت مخاطره خشکسالی و اثرات آن در حوزه آبخیز جراحی و زهره چشمگیر می‌باشد. همچنین نتایج نشان داده است، خشکسالی‌های متعدد بر وضعیت و وسعت تالاب تأثیر

مطالعه در سطح حوزه فراهم نمایند. مزیت استفاده از مقادیر تبخیر تعرق واقعی آن است که به صورت مستقیم تحت تأثیر وضعیت رطوبت، دما و پوشش گیاهی منطقه قرار دارد و می تواند دید جامعی از تغییرات رطوبت در دسترس فراهم نماید.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، خشکسالی، شاخص‌های خشکسالی، تبخیر تروق.

شاخص‌های سنجش ازدوری جزئیات مکانی وضعیت خشکسالی در بخش‌های مختلف در سطح حوزه را ارائه می‌کنند، بنابراین، در مطالعات مدیریت مخاطرات می‌توانند اطلاعات ارزشمندی برای

۳.

مقدمه

آب تقریباً اساس همه اکوسیستم‌ها محسوب می‌شود. خشکسالی به عنوان یک دوره خشک در مقایسه با شرایط نرمال منطقه تعریف می‌شود (۳۱). کشورهای بسیاری از مسائل کمبود آب و کاهش محصولات کشاورزی ناشی از خشکسالی رنج برده‌اند (۳۲). خشکسالی یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی ایران محسوب می‌شود. در مقایسه با سایر بلایای طبیعی، هزینه‌های مرتبط با خشکسالی به دلیل عواقب اجتماعی، محیطی و اقتصادی جدی‌تر است و اثرات مخرب زیست‌محیطی فراوانی به دنبال دارد (۴ و ۱۱).

مطالعه خشکسالی و کمی‌سازی اثرات آن به کمک شاخص‌های خشکسالی صورت می‌گیرد (۲۷). به صورت سنتی، پایش خشکسالی بر اساس مشاهدات ایستگاه‌های هواشناسی انجام می‌شده است (۱۲ و ۱۸). این ایستگاه‌ها پوشش مکانی مورد نیاز برای مطالعه الگوی مکانی خشکسالی را فراهم نمی‌کنند (۳، ۸ و ۳۰). تصاویر ماهواره‌ای با توان تفکیک مکانی و زمانی بالا کاربرد گسترده‌ای در پایش پدیده‌های متغیر سطح زمین دارند. بسیاری از پارامترهای اقلیمی مؤثر در خشکسالی نظیر درجه حرارت سطح زمین، رطوبت خاک، تبخیر و تعرق، بارش و غیره به کمک داده‌های ماهواره‌ای قابل برآورد هستند. پوشش یکپارچه این داده‌ها امکان بررسی و مطالعه نواحی دور از دسترس را فراهم می‌کند. به همین دلیل این داده‌ها می‌تواند جهت مطالعه خشکسالی مورد استفاده قرار بگیرد. در سال‌های گذشته پیشرفت‌های خوبی در زمینه پایش خشکسالی به کمک داده‌های سنجش‌ازدور اتفاق افتاده است (۱۶ و ۳۳) و شاخص‌های مختلفی برای مطالعه خشکسالی با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور ارائه شده‌اند که مؤید کارایی این داده‌ها در اندازه‌گیری و پایش خشکسالی بوده است (۲۳ و ۳۷).

شاه‌زمان (۲۶)، اثر شاخص‌های تنش تبخیر (ESI)، سلامت پوشش گیاهی (VHI) و ناهنجاری استاندارد شده (SAI) را برای مطالعه خشکسالی جنوب آسیا در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که این مناطق در سال

۲۰۰۲ خشکسالی شدیدی را تجربه کرده‌اند و خشکسالی در هندوستان بیشترین شدت را داشت است. همبستگی بین شاخص‌های خشکسالی و متغیرهای اقلیمی نظیر رطوبت خاک قابل قبول بود و نشان داد شاخص تنش تبخیر برای مطالعه خشکسالی کشاورزی مناسب است (۲۶). وی (۳۰)، شاخص‌های سنجش‌ازدوری خشکسالی را برای پایش خشکسالی در چین مقایسه کردند. شاخص‌های خشکسالی پالمر (PDSI) و بارش استاندارد شده (SPI) به عنوان مرجع استفاده شد و شاخص‌های سنجش‌ازدوری وضعیت پوشش گیاهی (VCI)، وضعیت دما (TCI)، وضعیت بارش (PCI) و وضعیت رطوبت خاک (SMCI) ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که شاخص‌های مختلف در انواع پوشش‌های سطح زمین عملکرد متفاوتی دارند. نتایج نشان داد، شاخص‌های وضعیت پوشش گیاهی و وضعیت دما برای پایش خشکسالی بلندمدت مناسب‌تر هستند و شاخص وضعیت بارش با شاخص بارش استاندارد شده یک‌ماهه، همبستگی بالاتری داشت (۳۰). کوئیرینگ و گانش (۲۴)، به بررسی توانایی شاخص وضعیت پوشش گیاهی برای پایش خشکسالی هواشناسی در تگزاس پرداختند. در این تحقیق رابطه بین شاخص وضعیت پوشش گیاهی و تعدادی از شاخص‌های هواشناسی مورد استفاده برای مطالعه خشکسالی، با استفاده از داده‌های سال‌های ۱۹۸۲ تا ۱۹۹۹ بررسی شد. پاسخ شاخص وضعیت پوشش گیاهی با شاخص خشکسالی پالمر، شاخص ناهنجاری رطوبت و شاخص بارش استاندارد شده مقایسه شد. نتایج تحقیق نشان داد که شاخص وضعیت پوشش گیاهی با شاخص بارش استاندارد شده ۶ ماهه و ۹ ماهه همبستگی بالایی دارد. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که شرایط اقلیم، نوع پوشش و کاربری اراضی و مقدار آبیاری و ویژگی‌های خاک روی میزان همبستگی این شاخص‌ها تأثیر می‌گذارند (۲۴). نوایی (۲۲) خشکسالی کشاورزی را در حوزه دریاچه ارومیه در بازه سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۰ مطالعه نمودند. شاخص‌های خشکسالی وضعیت پوشش گیاهی، سلامت پوشش گیاهی و وضعیت دما با استفاده از تصاویر شهریورماه که معادل زمان

اوج رویش منطقه مطالعه بوده است، محاسبه شدند و با شاخص بارش استاندارد شده مقایسه شدند. نتایج نشان داد در ماه شهریور، همبستگی شاخص بارش استاندارد شده با شاخص سلامت پوشش گیاهی بالاتر از سایر شاخص ها و معادل ۰.۸۶ بوده است (۲۲). سلیمانی (۲۷) خشکسالی شهرستان میوان را در بازه زمانی سال های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ با استفاده از تصاویر لندست مطالعه کردند. به این منظور شاخص های وضعیت پوشش گیاهی، وضعیت دما، سلامت پوشش گیاهی و خشکی پوشش گیاهی (VDI) محاسبه شد. نتایج نشان داد شاخص خشکی پوشش گیاهی در منطقه مطالعه مؤید وضعیت نرمال است. در حالی که شاخص سلامت پوشش گیاهی در مناطق شرق و جنوب شرق منطقه خشکی ملایم را نشان می دهد و شاخص وضعیت دما در همین منطقه نشان دهنده خشکسالی شدید تا ملایم بوده است (۲۷). دماوندی (۵) خشکسالی استان مرکزی را در فصل رویش به کمک شاخص سلامت پوشش گیاهی مطالعه کردند. نتایج تحقیق نشان داد تطابق خوبی میان نتایج شاخص سلامت پوشش گیاهی و گزارش های سازمان هواشناسی وجود دارد. نتایج حاکی است منطقه مطالعه در سال های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰ بیشترین شدت خشکسالی را تجربه کرده است (۵). شعبانی (۲۵) کارایی شاخص های سنجش از دوری وضعیت پوشش گیاهی، وضعیت دما و سلامت پوشش گیاهی را برای پهنه بندی خشکسالی شهرستان نیریز بررسی نمود. شاخص بارش استاندارد شده به عنوان مرجع بکار گرفته شد. نتایج تحقیق نشان داد از بین شاخص های مورد مطالعه شاخص وضعیت پوشش گیاهی در طی فصل رشد بیشترین همبستگی را با مقادیر شاخص بارش استاندارد شده با مقیاس های مختلف داشته است. محمدی (۲۰) الگوریتم های مختلف شبکه عصبی پرسپترون چند لایه، شبکه عصبی رگرسیون تعمیم یافته، رگرسیون بردار پشتیبان با کرنل گوسی و رگرسیون بردار پشتیبان با کرنل جدید را برای مدل سازی خشکسالی ارزیابی کردند. شاخص بارش استاندارد شده به عنوان داده مرجع مورد استفاده قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد بالاترین دقت از الگوریتم رگرسیون بردار پشتیبان با کرنل

جدید حاصل شد و بیشترین تطابق مدل سازی با مقادیر شاخص بارش استاندارد شده ۴۸ ماهه به دست آمد. نتایج حاکی از تأثیر تابع کرنل انتخابی بر دقت مدل سازی خشکسالی بوده است (۲۵).

تاکنون تحقیقات مختلفی با استفاده از شاخص های سنجش از دوری برای مطالعه خشکسالی انجام شده اند، که بسیاری از آن ها بر شاخص های دما و پوشش گیاهی متمرکز بوده اند. بسیاری از مناطق کشور، پوشش گیاهی کم تراکم، بوته ای و مقاوم به خشکی دارند. این ویژگی ها سبب می شود شرایط کاهش رطوبت ناشی از خشکسالی در پوشش گیاهی به خوبی آشکار نگردد و بنابراین، شاخص های خشکسالی مبتنی بر پوشش گیاهی به خوبی قادر به معرفی وضعیت خشکسالی منطقه نباشند (۱، ۲۶ و ۳۵). به همین دلیل از شاخص های مبتنی بر دما استفاده شده است. محدودیت شاخص های مبتنی بر دما آن است که بیشتر از تغییرات رطوبت، تحت تأثیر گرادیان ارتفاعی و تغییرات فصلی دما است و به خوبی قادر به نمایش خشکسالی نیست (۱۳).

خشکسالی کشاورزی تحت تأثیر عواملی نظیر بارش، دما، رطوبت خاک است. پارامتر تبخیر تعرق واقعی به خوبی اثر متقابل عوامل ذکر شده را در خود ذخیره دارد و می تواند به عنوان معیار مناسبی برای مطالعه خشکسالی بکار گرفته شود (۳۸). بنابراین، با توجه به آنچه ذکر شد، هدف از این تحقیق بررسی قابلیت شاخص های مبتنی بر تبخیر تعرق واقعی برای مطالعه خشکسالی و مقایسه آن با روش های متداول است. به این منظور، در این تحقیق عملکرد شاخص سنجش از دوری وضعیت تبخیر تعرق (ETCI) که با استفاده از داده های تبخیر تعرق واقعی محاسبه می شود مورد ارزیابی قرار گرفت و با نتایج شاخص های مرسوم وضعیت پوشش گیاهی و وضعیت دما در منطقه مطالعه مقایسه شد.

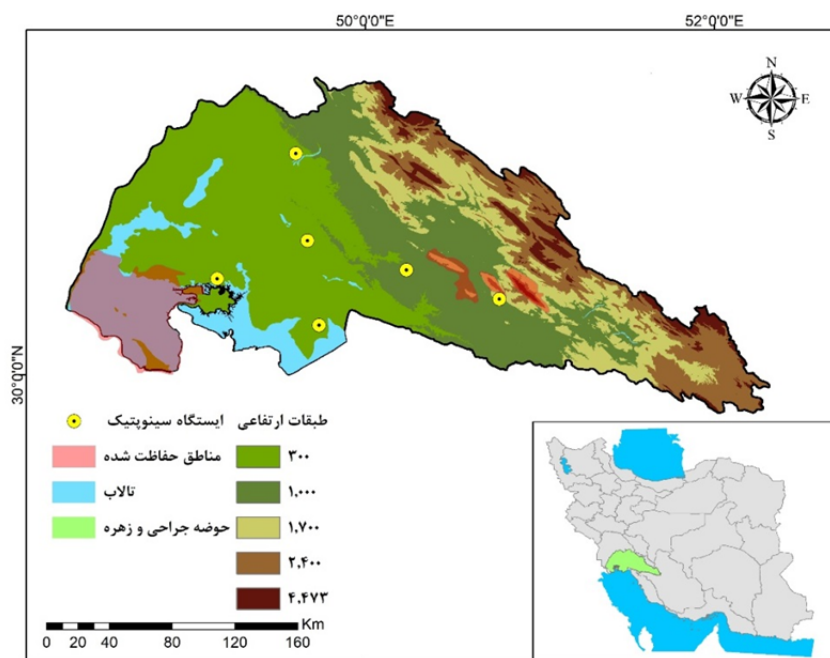
در سال های گذشته بسیاری از مناطق کشور خشکسالی های شدید و استثنایی را تجربه کرده اند که از نظر شدت و گستره اهمیت بسیاری داشته اند. تالاب ها، یکی از مهم ترین و آسیب پذیرترین اکوسیستم ها در مواجهه با خشکسالی هستند

(۶). حوزه آبخیز جراحی و زهره از تنوع اقلیمی و زیستگاه‌های مختلفی برخوردار است و مناطق حفاظت‌شده و تحت مدیریت متعددی از هر دو نوع اکوسیستم‌های آبی و خشکی داراست. علاوه بر این، حوزه آبخیز جراحی و زهره بخشی وسیعی از کانون‌های مهم گردوغبار ایران را در برمی‌گیرد (۳۶). با این وجود این حوزه از مناطقی است که خشکسالی در آن کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. با توجه به این اهمیت، حوزه جراحی و زهره به عنوان منطقه مطالعه تحقیق انتخاب شد و وضعیت خشکسالی در بخش‌های مختلف حوزه آبخیز در سه رویداد مهم خشکسالی منطقه در سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۵ شمسی با استفاده از شاخص وضعیت تبخیر تعرق تحلیل شد.

روش تحقیق

معرفی منطقه مطالعه

حوزه‌های آبخیز جراحی و زهره بخشی از حوزه آبخیز خلیج فارس هستند و در دامنه‌های جنوبی زاگرس میانی و بین مختصات جغرافیایی $48^{\circ} 18'$ تا $52^{\circ} 19'$ طول شرقی و 30° تا $31^{\circ} 42'$ عرض شمالی محصور شده‌اند. این دو زیر حوزه یک واحد هیدرولوژیک را تشکیل داده‌اند و بخش‌هایی از استان‌های خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد، چهارمحال و بختیاری، فارس و بوشهر را پوشش می‌دهند. ۴۵ درصد حوزه را کوهستان و ۵۴ درصد آن را دشت و کوهپایه تشکیل می‌دهد. دو رودخانه اصلی جراحی و زهره در این حوزه جریان دارند. این حوزه دارای تنوع اقلیمی و زیستگاه‌های مختلف خشک و نیمه‌خشک است و مناطق حفاظت‌شده و تحت مدیریت متعددی داراست. تالاب و پناهگاه حیات‌وحش شادگان به عنوان اکوسیستم آبی و مناطق کرای، شالو و مونگشت، تنگ سولک، کوه سرخ و ... اکوسیستم‌های خشکی حفاظت‌شده این حوزه هستند (۳۶).



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعه و ایستگاه‌های سینوپتیک

Fig 1. Study Area and synoptic Stations

داده‌های تحقیق

داده‌های زمینی

در حال حاضر، حوزه آبخیز جراحی و زهره ۸ ایستگاه سینوپتیک فعال دارد. از این میان ۶ ایستگاه رامهرمز، بندر ماهشهر، امیدیه (آغاجری)، بهبهان، دو گنبدان و هندیجان طول دوره آماری مناسب دارند. این ایستگاه‌ها به عنوان مرجع انتخاب شدند و برای ارزیابی نتایج مورد استفاده قرار گرفته است. شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک را نشان داده است.

داده‌های ماهواره‌ای

برای محاسبه شاخص‌های خشکسالی از محصولات دما، پوشش گیاهی و تبخیر تعرق سنجنده مادیس (MODIS) استفاده شده است. این محصولات از سنجنده مادیس ماهواره ترا (Terra) با توان تفکیک مکانی یک کیلومتر تهیه شده است. دوره آماری انجام مطالعات سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۶ شمسی (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ میلادی) بوده است. در این بازه، محصولات دما و تبخیر تعرق به صورت ۸ روزه و محصول پوشش گیاهی ۱۶ روزه بکار گرفته شده است. کلیه داده‌های ۸ و ۱۶ روزه به داده‌های ماهانه تبدیل شد و شاخص‌های سنجش‌ازدوری خشکسالی بر مبنای این داده‌های ماهانه، محاسبه شد. جدول ۱ توضیح کامل‌تری از داده‌های مورد استفاده و مشخصات آن‌ها ارائه می‌کند.

جدول ۱. داده‌های مورد استفاده جهت محاسبه شاخص‌های خشکسالی

Table 1. Data used to calculate drought indices

پارامتر	ماهواره	نام محصول	پوشش مکانی	توان تفکیک مکانی	پوشش زمانی	توان تفکیک زمانی	منبع
پوشش گیاهی	Terra	MOD13A2.006	جهانی	۱۰۰۰	۲۰۰۰- تاکنون	۱۶ روز	https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13A2.006
دما	Terra	MOD11A2.006	جهانی	۱۰۰۰	۲۰۰۰- تاکنون	۸ روز	https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD11A2.006
تبخیر تعرق	Terra	MOD16A2.006	جهانی	۵۰۰	۲۰۰۱- تاکنون	۸ روز	https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD16A2.006

محاسبه شاخص‌های خشکسالی

شاخص‌های سنجش‌ازدوری وضعیت پوشش گیاهی، وضعیت دما و وضعیت تبخیر تعرق برای مطالعه خشکسالی حوزه جراحی و زهره با استفاده از محصولات سنجنده مادیس تهیه شدند و با شاخص ایستگاهی بارش استاندارد شده مقایسه شدند. در این بخش متدولوژی تحقیق ارائه شده است.

با توجه به حجم بالای داده‌های مورد استفاده در دوره آماری مطالعه، کلیه پردازش‌ها و محاسبات شاخص‌های سنجش‌ازدوری خشکسالی در سامانه Google Earth Engine اجرا شده است. پس از محاسبه شاخص‌های سنجش‌ازدوری خشکسالی، محاسبات و آزمون‌های آماری در محیط نرم‌افزار آماری IBMSPSS پیاده‌سازی و اجرا شد. همچنین نقشه‌ها و خروجی‌ها در محیط نرم‌افزار ArcMap تهیه شد.

شاخص‌های ایستگاهی

برای ارزیابی شاخص‌های خشکسالی سنجش‌ازدوری نیاز به داده مرجع وجود دارد. شاخص بارش استاندارد شده شش ماهه به عنوان داده مرجع بکار گرفته شد. شاخص‌های خشکسالی ایستگاهی در تحقیقات مختلف بکار گرفته شده‌اند (۱۰). از پرکاربردترین این شاخص‌ها می‌توان به شاخص بارش استاندارد شده اشاره کرد. در سال ۲۰۰۹ در کارگاه منطقه‌ای شاخص‌ها و سیستم هشدار زودرس خشکسالی، شاخص بارش استاندارد شده به عنوان بهترین شاخص مطالعه خشکسالی هواشناسی انتخاب شد (۳۴). این شاخص کاهش بارندگی یک منطقه را نسبت به میانگین بلندمدت منطقه، ارزیابی می‌کند. امکان محاسبه این شاخص در

مقیاس‌های زمانی متفاوت وجود دارد و بنابراین قابلیت ارائه مشخصات خشکسالی را برای کاربردهای مختلف فراهم می‌آورد (۱۹). بر اساس منابع مختلف شاخص بارش استاندارد شده سه ماهه برای مطالعه خشکسالی هواشناسی و شاخص بارش استاندارد شده شش ماهه برای مطالعه خشکسالی کشاورزی مناسب هست (۲۸ و ۳۷). با توجه به اینکه هدف این تحقیق مطالعه خشکسالی کشاورزی است، شاخص شش ماهه به عنوان داده مرجع بکار گرفته شده است. برای تعیین شدت خشکسالی در سال‌های مختلف لازم است که آستانه‌هایی بر شاخص بارش استاندارد شده اعمال شود. جدول ۲ آستانه‌های ارائه شده توسط مک کی (۱۷) را نشان می‌دهد (۱۷).

جدول ۲. طبقه‌بندی شاخص بارندگی استاندارد شده (۱۷)

Table 2. Standardized precipitation Index Classes

شاخص SPI	وضعیت خشکسالی هواشناسی
۲ و بیشتر	ترسالی فرین
۱/۵ - ۱/۹۹	ترسالی شدید
۱ - ۱/۴۹	ترسالی متوسط
-۰/۹۹ - ۰/۹۹	نزدیک به نرمال
-۱ - ۱/۴۹	خشکسالی متوسط
-۱/۵ - -۱/۹۹	خشکسالی شدید
-۲ و کمتر	خشکسالی فرین

مورد استفاده در تحقیق اشاره شده‌اند. جدول ۳ شاخص‌های سنجش‌ازدوری و روش محاسبه هریک را نشان داده است.

شاخص‌های سنجش‌ازدوری

انواع مختلفی از شاخص‌های سنجش‌ازدوری برای مطالعه خشکسالی طراحی شده‌اند. در این بخش شاخص‌های

جدول ۳. شاخص‌های سنجش‌ازدوری و روش محاسبه هر شاخص

Table 3. Remote Sensing Drought Indices and their equations

منبع	رابطه	نام شاخص	شاخص
(۱۵)	$VCI = \frac{NDVI_i - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}$	شاخص وضعیت پوشش گیاهی	VCI
(۱۴)	$TCI = \frac{BT_{max} - BT_i}{BT_{max} - BT_{min}}$	شاخص وضعیت دما	TCI
(۳۸)	$ETCI = \frac{AET_s - AET_{min}}{AET_{max} - AET_{min}}$	شاخص وضعیت تبخیر تعرق	ETCI

ارزیابی دقت و آستانه‌ها

برای تهیه نقشه خشکسالی از نتایج شاخص‌های سنجش‌ازدوری خشکسالی نیاز به آستانه گذاری بر شاخص‌ها و تعیین طبقات خشکسالی است. در این تحقیق از آستانه‌های پیشنهادی ژانگ (۳۹) مطابق جدول ۴ استفاده شده است. این آستانه‌ها به صورت مشابه در تحقیقات دیگر محققین نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۹، ۳۰ و ۳۹).

در این روابط $NDVI_{min}$ و $NDVI_{max}$ به ترتیب حداقل طولانی‌مدت، حداکثر طولانی‌مدت برای هر پیکسل و $NDVI_i$ مقدار شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی در پیکسل مورد بررسی است. BT_{min} و BT_{max} به ترتیب کمینه دمای روشنایی طولانی‌مدت و بیشینه دمای روشنایی طولانی‌مدت و BT_i مقدار دمای روشنایی پیکسل مورد بررسی است. همچنین AET_{min} و AET_{max} به ترتیب تبخیر تعلق واقعی حداقل و حداکثر طولانی‌مدت برای هر پیکسل و AET_i مقدار تبخیر تعلق واقعی پیکسل مورد بررسی است.

جدول ۴. آستانه‌های طبقه‌بندی شاخص‌های سنجش‌ازدوری خشکسالی

Table 4. Remote sensing Drought Indices Classification Thresholds

نام کلاس	VCI	TCI	VHI
خشکسالی فرین	۰-۰/۱	۰-۰/۱	۰-۰/۱
خشکسالی شدید	۰/۰-۱/۲	۰/۰-۱/۲	۰/۰-۱/۲
خشکسالی متوسط	۰/۰-۲/۳	۰/۰-۲/۳	۰/۰-۲/۳
خشکسالی خفیف	۰/۰-۳/۴	۰/۰-۳/۴	۰/۰-۳/۴
نزدیک به نرمال	۰/۰-۴/۵	۰/۰-۴/۵	۰/۰-۴/۵
بدون خشکسالی	۰/۱-۵	۰/۱-۵	۰/۱-۵

نتایج

شاخص‌های ایستگاهی

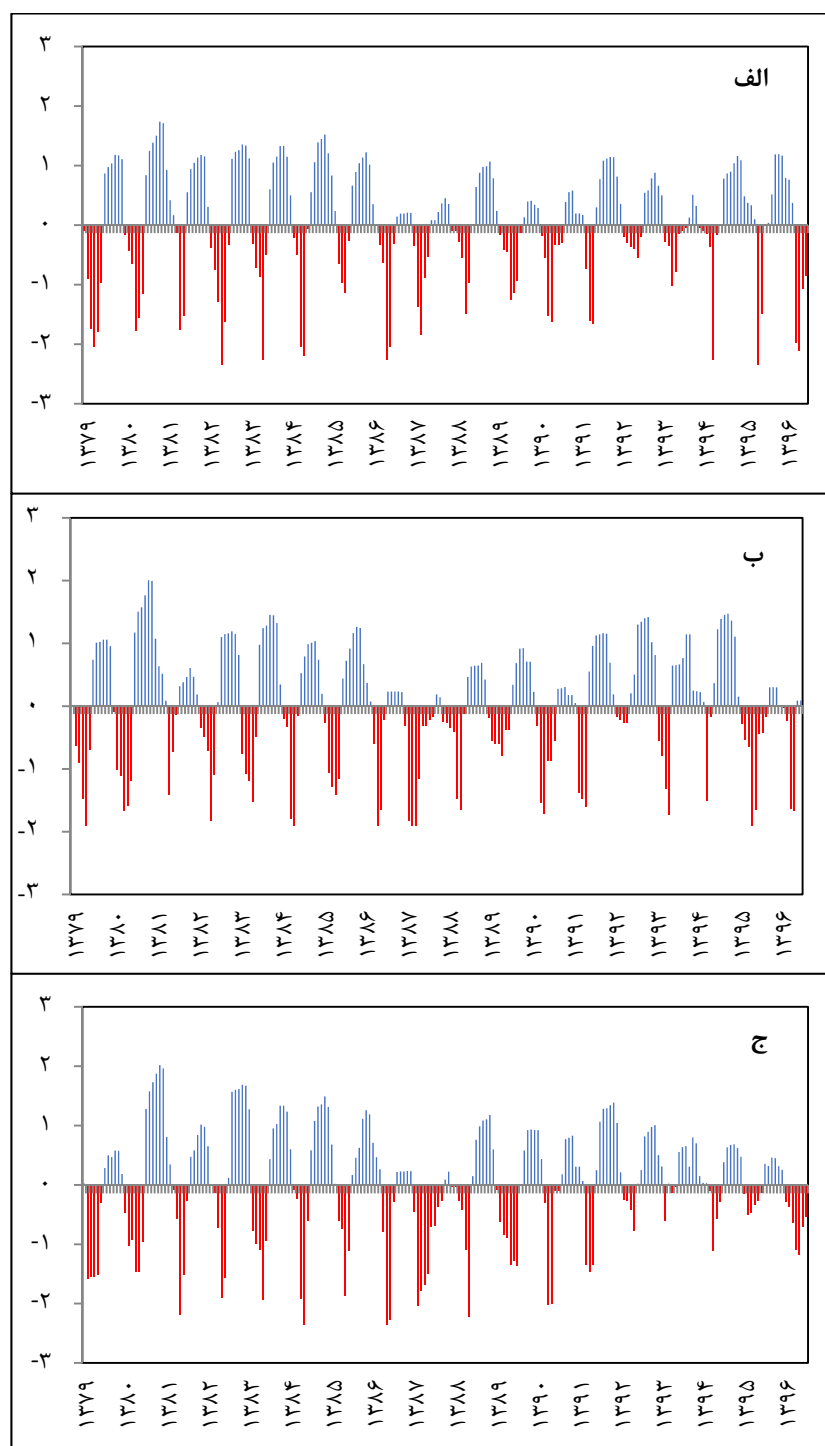
شکل ۲ شاخص بارش استاندارد شده شش ماهه ایستگاه‌های رامهرمز، هندیجان و دو گنبدان را در بازه سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۶ شمسی نشان می‌دهد. با توجه به اینکه ابتدای دوره آماری دی‌ماه ۱۳۷۸ است، اولین شاخص محاسبه شده منتهی به ماه خرداد سال ۱۳۷۹ است و پس از آن به ترتیب شاخص منتهی به ماه‌های بعدی محاسبه شده است و آخرین شاخص منتهی به ماه آذر سال ۱۳۹۶ است. لازم به ذکر است که ایستگاه دو گنبدان نسبتاً مرتفع است، ایستگاه رامهرمز در منطقه دشتی واقع شده است و ایستگاه هندیجان در منطقه دشتی و نزدیک ساحل قرار گرفته است.

برای ارزیابی دقت شاخص‌های سنجش‌ازدوری از معیارهای ضریب همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) مطابق روابط ۱ و ۲ استفاده شده است و شاخص‌های سنجش‌ازدوری با شاخص ایستگاهی بارش استاندارد شده شش ماهه مقایسه شده است.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad [1]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2} \quad [2]$$

در این روابط x_i مقادیر محاسبه شده، $\bar{X}$ میانگین مقادیر محاسبه شده، y_i مقادیر مشاهداتی و $\bar{Y}$ میانگین مقادیر مشاهداتی است.



شکل ۲. تغییرات ماهانه شاخص بارش استاندارد شده در مقیاس شش ماهه در ایستگاه‌های مختلف (الف) رامهرمز، (ب) هندیجان، (ج) دو گنبدان

Fig 2. The monthly variations of SPI on the 6-month time scales at different stations, (a) Ramhormoz, (b) Hendijan, (c) DoGonbadan

شاخص‌های سنجش ازدوری

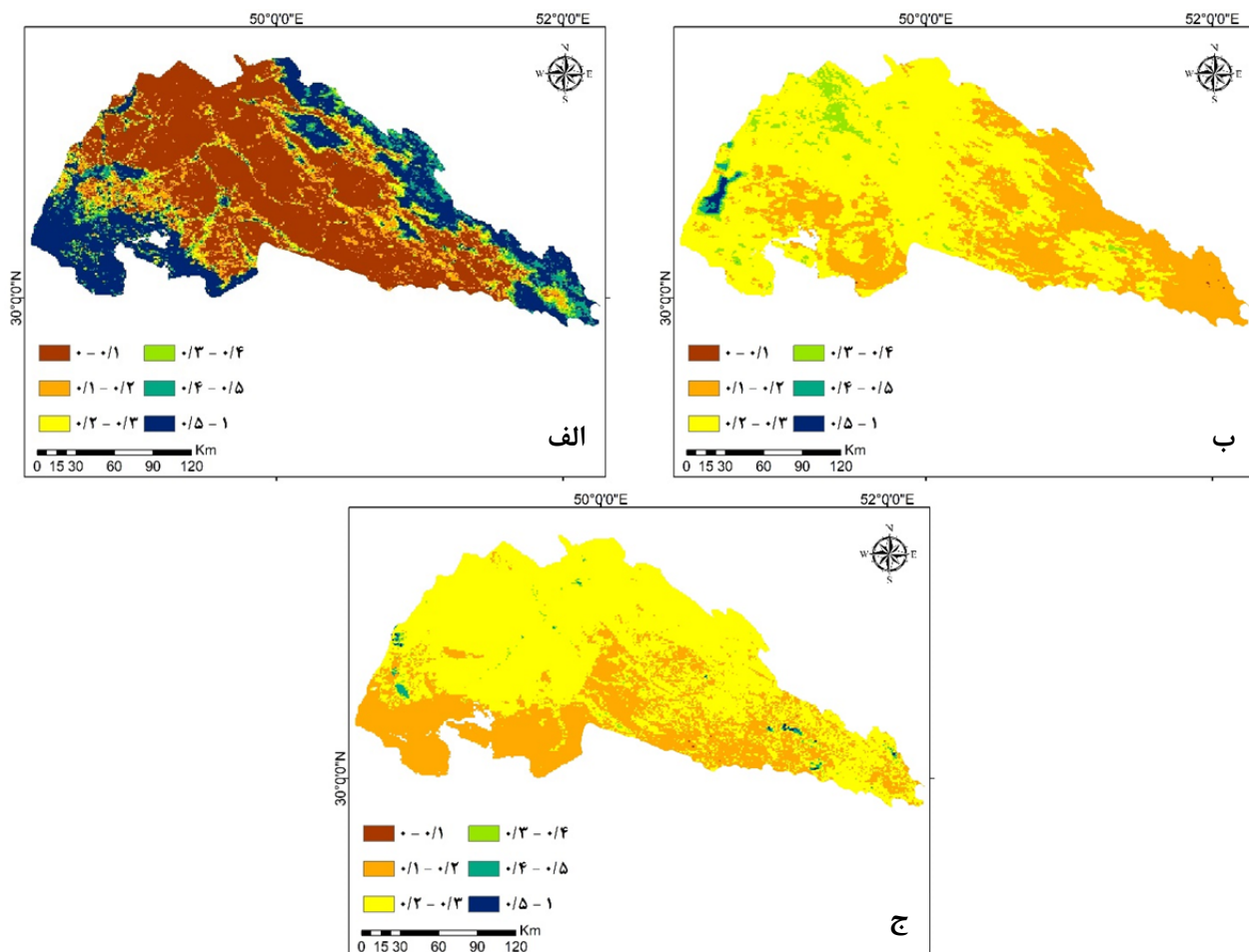
شمسی به عنوان سال‌های دارای خشکسالی در منطقه مطالعه در

نظر گرفته شد و نقشه‌های خشکسالی برای ماه شهریور

بر اساس نتایج به دست آمده سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۵

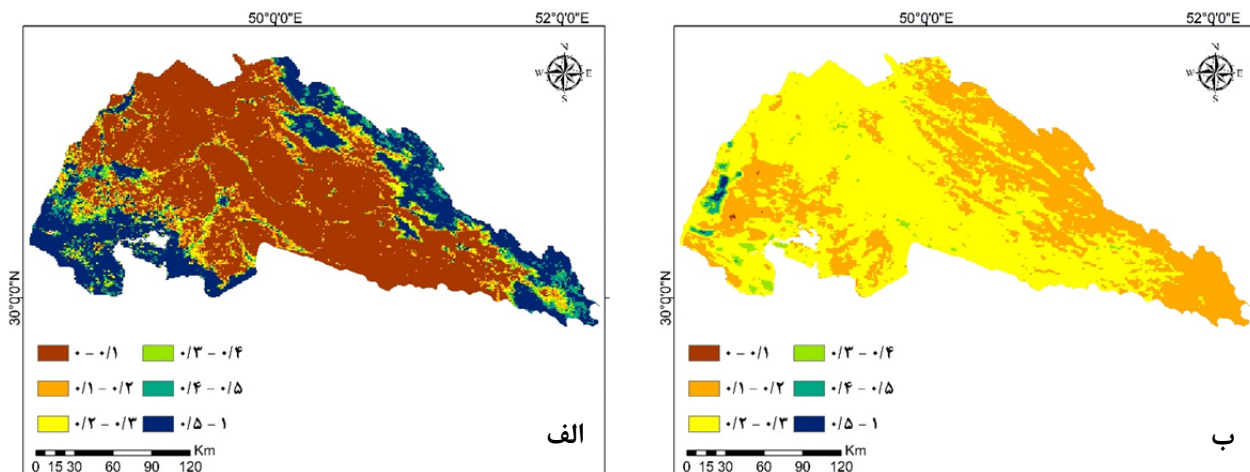
خشکسالی حوزه آبخیز جراحی و زهره را به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۵ نشان می‌دهد.

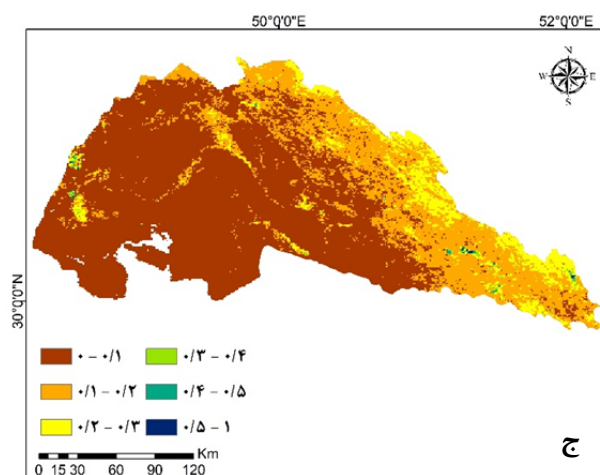
(سپتامبر) به‌عنوان ماه مشترک دارای خشکسالی در هر سه سال مورد ارزیابی قرار گرفت. شکل‌های ۳ تا ۵ نقشه کلاس‌های



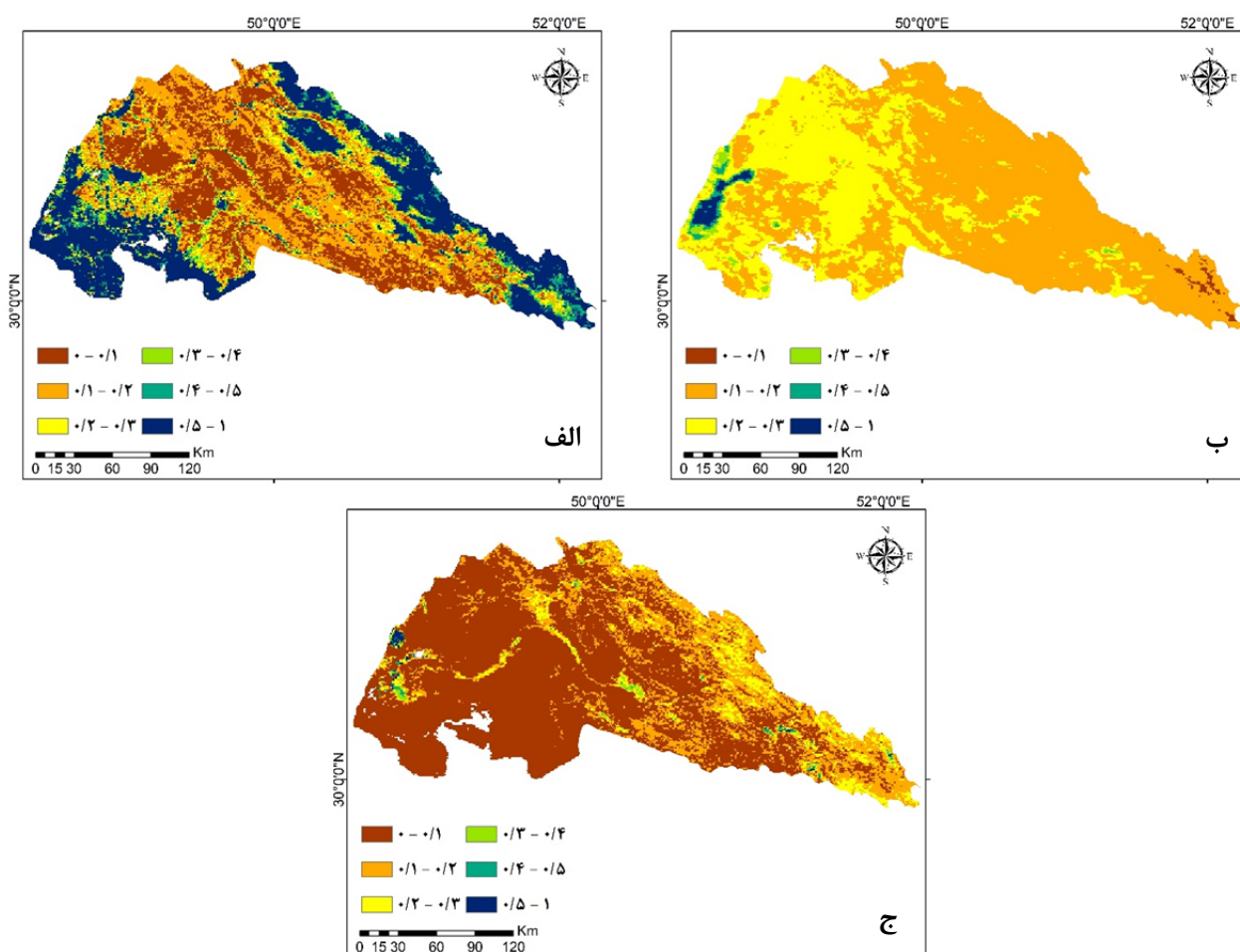
شکل ۳. نقشه‌های خشکسالی منطقه مطالعه در شهریور ماه سال ۱۳۸۷، (الف) شاخص VCI، (ب) شاخص TCI، (ج) شاخص ETCI

Fig 3. Drought maps of the study area in 2008, (a)VCI, (b)TCI, (c)ETCI





شکل ۴. نقشه‌های خشکسالی منطقه مطالعه در شهریور ماه سال ۱۳۸۸، (الف) شاخص VCI، (ب) شاخص TCI، (ج) شاخص ETCI
Fig 4. Drought maps of the study area in 2009, (a)VCI, (b)TCI, (c)ETCI



شکل ۵. نقشه‌های خشکسالی منطقه مطالعه در شهریور ماه سال ۱۳۹۵، (الف) شاخص VCI، (ب) شاخص TCI، (ج) شاخص ETCI
Fig 5. Drought maps of the study area in 2016, (a) VCI, (b) TCI, (c) ETCI

ارزیابی دقت

نیز برای هر شاخص محاسبه شد. نتایج ارزیابی دقت در جدول ۵ نشان داده شده است. همان طور که در جدول ۵ مشاهده می شود، شاخص وضعیت تبخیر تعرق بالاترین ضریب همبستگی و کمترین مقدار خطا را داشته است.

همبستگی شاخص های سنجش از دوری و شاخص ایستگاهی بارش استاندارد شده شش ماهه در دوره مطالعه محاسبه شده است. همچنین مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا

جدول ۵. مقادیر ضریب همبستگی پیرسون و ریشه میانگین مربعات خطا شاخص های سنجش از دوری

Table 5. Correlation coefficients and Root mean square error of RS-indices

شاخص	شاخص وضعیت پوشش گیاهی	شاخص وضعیت دما	شاخص وضعیت تبخیر تعرق
R	۰/۴۸	-۰/۴۹	-۰/۵۷
RMSE	۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۴۷

بحث و نتیجه گیری

خشکسالی یکی از پرهزینه ترین بلایای طبیعی است (۴۰) و در سال های اخیر مسئله ای جهانی شده است (۳۸). عوامل مختلفی بر بروز خشکسالی تأثیر دارند، از این رو شاخص های متنوعی برای پایش خشکسالی ارائه شده است (۱۶ و ۳۳). در این تحقیق خشکسالی حوزه جراحی زهره با استفاده از شاخص های سنجش از دوری وضعیت پوشش گیاهی، وضعیت دما و وضعیت تبخیر تعرق پهنه بندی شده است. علاوه بر این عملکرد این سه شاخص در مقایسه با شاخص ایستگاهی بارش استاندارد شده ارزیابی شده است. شاخص های وضعیت پوشش گیاهی و وضعیت دما از پرکاربردترین شاخص های سنجش از دوری خشکسالی محسوب می شوند (۲۳ و ۳۷). همچنین در این تحقیق قابلیت شاخص های مبتنی بر تبخیر تعرق برای پهنه بندی خشکسالی مورد ارزیابی قرار گرفته است. با این هدف، به کمک اطلاعات ایستگاه های سینوپتیک سه رویداد خشکسالی در منطقه مطالعه شناسایی شده و سپس عملکرد شاخص های سنجش از دوری در برآورد این خشکسالی ها ارزیابی شده است.

از داده های سنجنده مادیس برای محاسبه شاخص های سنجش از دوری استفاده شده است. با توجه به توان تفکیک مکانی و زمانی مناسب، این تصاویر برای پایش پارامترهای محیطی مطلوب هستند. با در نظر گرفتن تنوع محصولات

سنجنده مادیس، امکان پایش خشکسالی از طریق داده های پوشش گیاهی، دما و تبخیر تعرق میسر است.

شاخص های ایستگاهی

در شکل ۲ مشاهده می شود که منطقه مطالعه به دفعات رویدادهای خشکسالی متوسط تا شدیدی را تجربه کرده است. بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی شاخص بارش استاندارد شده شش ماهه (شکل ۲) در بازه سال های ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۶، در ایستگاه های مورد بررسی، شدت خشکسالی در سال های ۱۳۸۲، ۱۳۸۴، ۱۳۸۷، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۵ بیشتر از سایر سال ها بوده است. مقادیر شاخص بارش استاندارد شده نشان می دهد، ایستگاه های مورد مطالعه در سال های مذکور در طبقه خشکسالی شدید و فرین قرار داشته اند. همچنین در این شکل ها به خوبی مشخص است که تداوم خشکسالی های بلندمدت در منطقه مطالعه قابل توجه است. این ویژگی به ویژه در ایستگاه های منطقه دشتی حوزه چشمگیر است. بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی شاخص بارش استاندارد شده (شکل ۲)، ایستگاه رامهرمز بیشترین شدت خشکسالی (شدت ۲/۴-) را در مقایسه با سایر ایستگاه ها تجربه کرده است. همچنین رویدادهای خشکسالی فرین در این ایستگاه تکرار بالاتری (۱۰ ماه) در مقایسه با سایر مناطق داشته است. بنابراین، از بین ایستگاه های مورد اشاره ایستگاه رامهرمز بدترین وضعیت را داشته است و

اصلی تالابی کاهش نشان می‌دهد و بخش‌هایی از پهنه‌های آبی در این سال از بین رفته است.

بر اساس شکل ۴ (الف)، شاخص وضعیت پوشش گیاهی در سال ۱۳۸۸، خشکسالی فرین را در محدوده میانی حوزه نشان می‌دهد و ارتفاعات و نواحی تالابی از این نظر شرایط بدون خشکسالی و یا نزدیک به نرمال دارند. با این وجود در مقایسه با سال ۱۳۸۷، در این سال محدوده‌های تالابی بدون خشکسالی کاهش یافته است که نشان‌دهنده وضعیت آسیب‌پذیر این محدوده حفاظت‌شده محیط زیستی است. از نظر شاخص وضعیت دما، در سال ۱۳۸۸، مشابه سال ۱۳۸۷ قسمت اعظم حوزه خشکسالی شدید و متوسط را تجربه کرده است (شکل ۴ ب)، اما درصد مناطق تحت تأثیر خشکسالی شدید افزایش یافته است. نکته قابل توجه آن است که افزایش دما نیست به میانگین مورد انتظار، حتی در پهنه‌های تالابی نیز مشاهده می‌شود. شاخص وضعیت تبخیر تعرق سال ۱۳۸۸ (شکل ۴ ج) نشان‌دهنده خشکسالی فرین در بخش وسیعی از حوزه علی‌الخصوص در مناطق دشتی و کم ارتفاع است و بر اساس این شاخص در مناطق کوهستانی، خشکسالی شدید تا متوسط حکم فرماست. این شرایط به خوبی معرف عدم وجود رطوبت در دسترس در منطقه مطالعه است. در مقایسه با سال ۱۳۸۷، در سال ۱۳۸۸ محدوده‌های تحت خشکسالی فرین، افزایش یافته است. همچنین محدوده‌های تالابی کاهش نشان داده‌اند. این موضوع حساسیت اکوسیستم تالابی به مخاطره خشکسالی را آشکار می‌نماید.

با توجه به آنکه رویدادهای خشکسالی سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ متوالی بوده‌اند، اثر تشدیدکننده در کاهش منابع آب و کیفیت محیط زیست حوزه داشته‌اند.

در سال ۱۳۹۵، شاخص وضعیت پوشش گیاهی منطقه میانی حوزه را تحت تأثیر خشکسالی فرین و شدید نشان می‌دهد که به صورت پراکنده توزیع شده است (شکل ۵ الف). در این سال، شاخص وضعیت دما در شکل ۵ (ب) نشان می‌دهد که در ارتفاعات نسبت به میانگین بلندمدت دما افزایش قابل توجهی داشته است، اما در مناطق دشتی شدت افزایش دما

آسیب‌پذیرترین بخش حوزه از نظر مخاطره خشکسالی محسوب می‌شود.

نکته حائز اهمیت موجود در شکل ۲ آن است که در بازه زمانی مورد مطالعه، مقادیر حداکثر ترسالی نیز روند کاهشی را نشان می‌دهد که در کنار وقوع خشکسالی‌های متعدد، کاهش منابع آب را در منطقه مورد مطالعه تشدید می‌نماید.

شاخص‌های سنجش ازدوری

به کمک شاخص‌های سنجش ازدوری می‌توان وضعیت مکانی خشکسالی را در سطح حوزه مطالعه نمود. در این بخش نتایج مطالعه مکانی خشکسالی حوزه در سه رویداد خشکسالی ۱۳۸۷، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۵ ارائه شده است.

پهنه‌بندی خشکسالی

بر اساس شکل ۳ (الف)، شاخص وضعیت پوشش گیاهی در سال ۱۳۸۷، نشان‌دهنده خشکسالی شدید در بخش میانی حوزه است. و ارتفاعات و پهنه تالاب‌ها شرایط بدون خشکسالی را نشان می‌دهند. همچنین در نیمه میانی حوزه در مناطق حاشیه مسیل‌ها و رودها، به صورت جزئی شدت خشکسالی کاهش یافته است. شاخص وضعیت دما در سال ۱۳۸۷ (شکل ۳ ب) نشان می‌دهد که تمام منطقه مطالعه به استثناء بخشی کوچک در محدوده تالابی، دماهای بالاتر از میانگین مورد انتظار را داشته‌اند و از این نظر در کلاس خشکسالی شدید تا متوسط قرار می‌گیرند. این موضوع توسط شاخص وضعیت تبخیر تعرق نیز تأیید می‌گردد، همان‌طور که در شکل ۳ (ج) مشاهده می‌شود در این سال تمام منطقه مطالعه وضعیت دما و رطوبت در دسترس به نحوی بوده است که مقادیر تبخیر تعرق در مقایسه با میانگین بلندمدت منطقه مطالعه کاهش چشمگیری یافته است و شاخص وضعیت تبخیر تعرق حاکی از شرایط خشکسالی متوسط تا شدید در حوزه است. قابل ذکر است که با وجود آنکه در این تاریخ محدوده تالابی شرایط نزدیک به نرمال و یا بدون خشکسالی را نشان می‌دهد، اما محدوده‌های آبی در این سال نسبت به محدوده‌های

کمتر بوده است. همچنین وضعیت بخشی از تالاب در مقایسه با سال ۱۳۸۸ بهبود یافته است. شاخص وضعیت تبخیر تعرق (شکل ۵ د) نشان می‌دهد که منابع رطوبتی در حوزه به صورت قابل توجهی کاهش یافته است و بخش زیادی از حوزه تحت تأثیر خشکسالی فرین قرار دارد. با ارزیابی توأم نقشه‌های حاصل از شاخص وضعیت دما و وضعیت تبخیر تعرق، دیده می‌شود که افزایش دما در ارتفاعات بیشتر از مناطق دشتی بوده

است اما کاهش تبخیر تعرق در مناطق دشتی شدیدتر بوده است، بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که کاهش رطوبت در مناطق دشتی شدت بیشتری از ارتفاعات داشته است. جدول ۶ درصد مساحت هر یک از کلاس‌های خشکسالی را در سطح حوزه برای سال‌های مختلف نشان داده است. این طبقات خشکسالی بر اساس نتایج حاصل از شاخص وضعیت تبخیر تعرق استخراج شده است.

جدول ۶. درصد مساحت طبقات خشکسالی در حوزه

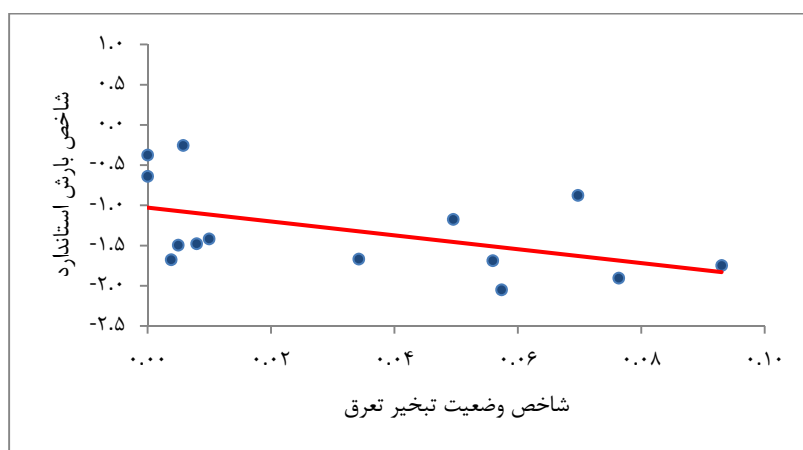
Table 6. The percentage of the basin under each drought class

نام کلاس	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۹۵
خشکسالی فرین	۰/۰۲	۶۳/۰۲	۶۷/۰۱
خشکسالی شدید	۳۳/۰۲	۲۸/۳۶	۲۳/۹۵
خشکسالی متوسط	۶۵/۹۰	۸/۱۴	۷/۶۹
خشکسالی خفیف	۰/۵۵	۰/۲۷	۰/۶۷
نزدیک به نرمال	۰/۴۰	۰/۱۷	۰/۳۹
بدون خشکسالی	۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۲۹

مطالعه درصد مساحت کلاس‌های مختلف خشکسالی نشان می‌دهد، در هر سه سال موردبررسی کمتر از یک درصد حوزه شرایط نرمال و یا نزدیک به نرمال داشته‌اند. در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۵ بیش از ۶۰ درصد حوزه تحت تأثیر خشکسالی فرین قرار داشته‌اند. در سال ۱۳۸۷ بخش عمده حوزه (۶۵ درصد) شاهد شرایط خشکسالی متوسط بوده است. نکته قابل توجه آن است که در هر سه رویداد موردبررسی، بیش از ۹۰ درصد سطح حوزه با خشکسالی‌های متوسط تا فرین مواجه بوده‌اند.

ارزیابی دقت شاخص‌های سنجش‌ازدوری خشکسالی

نتایج ارزیابی دقت مطابق جدول ۵ نشان داد، شاخص وضعیت تبخیر تعرق که به کمک داده‌های تبخیر تعرق واقعی محاسبه می‌شود، مناسب‌ترین شاخص برای مطالعه خشکسالی منطقه مطالعه محسوب می‌شود و بالاترین همبستگی را با داده‌های مرجع با مقدار ۰/۵۷- داشته است که در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بوده است. همچنین این شاخص کمترین مقدار ریشه میانگین مربعات خطا را با مقدار ۰/۴۷ دارا بوده است (جدول ۵). شکل ۶ نمودار پراکندگی مقادیر شاخص بارش استاندارد شده و شاخص وضعیت تبخیر تعرق را نشان داده است.



شکل ۶. نمودار پراکندگی مقادیر شاخص SPI و شاخص ETCI در ایستگاه‌های مختلف

Fig 6. Scatter plot of SPI and ETCI values at different stations

تحقیق مشابه نتایج کارنیلی (۱۳) بوده است. کارنیلی (۱۳) نشان داد که در مناطق بوته‌زار و ارتفاعات کوهستانی رابطه دما و پوشش گیاهی که برای مطالعه خشکسالی مورد استفاده قرار می‌گیرد در مقایسه با سایر مناطق، معکوس می‌گردد.

همچنین نتایج تحقیق در تطابق با نتایج ژانگ (۳۸)، اندرسون (۲) و ناراشیمهان (۲۱) است که استفاده از داده‌های تبخیر تعرق را برای مطالعه خشکسالی توصیه می‌کنند. هرچند استفاده از داده‌های تبخیر تعرق ایستگاهی برای پایش خشکسالی از سال‌ها قبل مورد توجه قرار گرفته است (۲۹)، اما به‌ندرت تحقیقاتی به استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای تبخیر تعرق برای مطالعه خشکسالی پرداخته‌اند که از نوآوری‌های تحقیق به حساب می‌آید.

نتایج تحقیق نشان داد استفاده از شاخص خشکسالی مبتنی بر تبخیر تعرق به دلیل آنکه به‌صورت توأم تحت تأثیر پارامترهای دما و رطوبت در دسترس قرار دارد، می‌تواند در تحلیل دقیق‌تر خشکسالی مؤثر باشد و جزئیات بیشتری از شرایط منطقه‌ای فراهم نماید. باین‌وجود تاکنون از شاخص‌های مبتنی بر تبخیر تعرق واقعی برای برآورد خشکسالی استفاده نشده است.

در این تحقیق قابلیت شاخص وضعیت تبخیر تعرق برای پهنه‌بندی خشکسالی کشاورزی بررسی شده است. با توجه به دقت بالای این شاخص، می‌توان عملکرد آن را برای مطالعه

باوجود اینکه تحقیقات مختلف به قابلیت شاخص‌های مبتنی بر پوشش گیاهی برای مطالعه خشکسالی اشاره کرده‌اند (۷ و ۴۰)، اما در منطقه مطالعه عملکرد شاخص مبتنی بر تبخیر تعرق بالاتر بوده است (جدول ۵). این نتایج با تحقیقات یون (۳۵)، شاه‌زمان (۲۶)، ژانگ (۳۹) و دماوندی (۵) همخوانی دارد. یون (۳۵) و شاه‌زمان (۲۶) اشاره کرده‌اند که شاخص‌های پوشش گیاهی عملکرد بسیار خوبی نداشته‌اند. طبق نتایج ژانگ (۳۹) همبستگی شاخص وضعیت پوشش گیاهی با شاخص خشکسالی ایستگاهی وابسته به نوع پوشش گیاهی بوده و در علفزارها بالاترین و در نواحی بوته‌زار کمترین بوده است. همچنین بر اساس نتایج دماوندی (۵) اثرات خشکسالی بر پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین متفاوت است و تابع عواملی مانند فصل سال، خصوصیات پوشش گیاهی و شرایط دمایی آن‌ها است.

در این تحقیق، شاخص وضعیت دما دقت پایین‌تری در مقایسه با شاخص وضعیت تبخیر تعرق داشته است. شاخص وضعیت دما بر اساس تأثیر کاهش رطوبت در دسترس بر افزایش دما ارائه شده است (۱۴)، لذا، بین شاخص وضعیت دما و خشکسالی رابطه مستقیمی وجود دارد. اما در مناطق کوهستانی به دلیل کاهش طبیعی دما و همچنین بارش برف در نیمه سرد سال، رابطه اشاره‌شده بین دما و خشکی مختل می‌گردد و می‌تواند سبب کاهش دقت شاخص شود. نتایج این

خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژی نیز مورد آزمون قرار داد.

همچنین نتایج نشان داد با تلفیق نتایج حاصل از شاخص‌های مختلف سنجش‌ازدوری خشکسالی می‌توان به دید جامع‌تری از وضعیت خشکسالی در منطقه مطالعه دست یافت که با استفاده از یک شاخص به‌تنهایی میسر نیست. به کمک شاخص‌های مختلف پارامترهای متفاوت تأثیرگذار بر خشکسالی نظیر رطوبت خاک، دما و بارش به‌صورت توأم در نظر گرفته می‌شود که اطلاعات کامل‌تری را فراهم می‌آورد.

نتایج تحقیق نشان می‌دهد که در رویدادهای خشکسالی مورد مطالعه بخش میانی حوزه تحت تأثیر شدیدترین خشکسالی‌ها قرار داشته و آسیب‌پذیرترین بخش حوزه است. با توجه به آنکه این محدوده دارای سه منطقه حفاظت‌شده زیست‌محیطی است، حاکی از اهمیت مطالعه و مدیریت مخاطره خشکسالی و اثرات آن در حوزه آبخیز جراحی و زهره چشمگیر است.

همچنین نتایج نشان داده است، خشکسالی‌های متعدد بر وضعیت و وسعت تالاب تأثیر قابل‌توجهی دارد. تالاب شادگان یکی از اکوسیستم‌های آبی حفاظت‌شده مهم است که لزوم توجه به پایداری آن در شرایط خشکسالی بیش‌ازپیش مشخص می‌گردد.

منابع مورد استفاده

1. Ali, S., Tong, D., Xu, Z. T., Henchiri, M., Wilson, K., Siqi, S., & Zhang, J. (2019). Characterization of drought monitoring events through MODIS-and TRMM-based DSI and TVDI over South Asia during 2001–2017. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(32), 33568-33581.
2. Anderson, M. C., Hain, C., Wardlow, B., Pimstein, A., Mecikalski, J. R., & Kustas, W. P. (2011). Evaluation of drought indices based on thermal remote sensing of evapotranspiration over the continental United States. *Journal of Climate*, 24(8), 2025-2044.
3. Brown, J. F., Wardlow, B. D., Tadesse, T., Hayes, M. J., & Reed, B. C. 2008. The Vegetation Drought Response Index (VegDRI): A new integrated approach for monitoring drought stress in vegetation. *GIScience & Remote Sensing*, 45(1), 16-46.
4. Chang, S., Chen, H., Wu, B., Nasanbat, E., Yan, N., & Davdai, B. 2021. A Practical Satellite-Derived Vegetation Drought Index for Arid and Semi-Arid Grassland Drought Monitoring. *Remote Sensing*, 13(3), 414.
5. Damavandi, A., Rahimi, M., Yazdani, M., Noroozi, A. 2016. Spatial Monitoring of Agricultural Drought through Time Series of NDVI and LST indices of MODIS data (Case study: Markazi Province). *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 25(99): 115-126. (In Persian).
6. Ebrahimikhusfi, Z., Khosroshahi, M., Naeimi, M., Zandifar, S. 2019. Evaluating and monitoring of moisture variations in Meyghan wetland using the remote sensing technique and the relation to the meteorological drought indices. *Journal of RS & GIS for Natural Resources*, 10(2): 1-14. (In Persian).

مقایسه نتایج حاصل از شاخص‌های سنجش‌ازدوری و شاخص ایستگاهی بارش استاندارد شده حاکی از دقت مناسب شاخص‌های سنجش‌ازدوری در برآورد خشکسالی است. لازم به ذکر است که در این تحقیق از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک به‌عنوان داده‌های مرجع استفاده شده است. کمبود تعداد ایستگاه‌های سینوپتیک با طول دوره آماری مناسب در منطقه مطالعه از محدودیت‌های تحقیق بشمار می‌رود.

شاخص‌های سنجش‌ازدوری جزئیات مکانی وضعیت خشکسالی در بخش‌های مختلف در سطح حوزه را ارائه می‌کنند، بنابراین، در مطالعات مدیریت مخاطرات می‌توانند اطلاعات ارزشمندی برای مطالعه در سطح حوزه فراهم نمایند. مزیت استفاده از مقادیر تبخیر تعرق واقعی آن است که به‌صورت مستقیم تحت تأثیر وضعیت رطوبت، دما و پوشش گیاهی منطقه قرار دارد و می‌تواند دید جامعی از تغییرات رطوبت در دسترس فراهم نماید.

تقدیر و تشکر

این مقاله حاصل پایان‌نامه با عنوان کارایی داده‌های ماهواره‌ای در ارتقای مدل خشکسالی در مقطع دکترا در سال ۱۴۰۱ است که با حمایت دانشگاه تهران اجرا شده است.

7. Gouveia, C. M., Trigo, R. M., Beguería, S., & Vicente-Serrano, S. M. (2017). Drought impacts on vegetation activity in the Mediterranean region: An assessment using remote sensing data and multi-scale drought indicators. *Global and Planetary Change*, 151, 15-27.
8. Gu, Y., Brown, J. F., Verdin, J. P., & Wardlaw, B. 2007. A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States. *Geophysical research letters*, 34(6).
9. Han, Y., Li, Z., Huang, C., Zhou, Y., Zong, S., Hao, T., ... & Yao, H. 2020. Monitoring droughts in the Greater Changbai Mountains using multiple remote sensing-based drought indices. *Remote Sensing*, 12(3), 530.
10. Heim Jr, 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.
11. Ionita, M., Scholz, P., & Chelcea, S. 2016. Assessment of droughts in Romania using the Standardized Precipitation Index. *Natural Hazards*, 81(3), 1483-1498.
12. Jiao, W., Tian, C., Chang, Q., Novick, K. A., & Wang, L. 2019. A new multi-sensor integrated index for drought monitoring. *Agricultural and forest meteorology*, 268, 74-85.
13. Karnieli, A., Bayasgalan, M., Bayarjargal, Y., Agam, N., Khudulmur, S., & Tucker, C. J. (2006). Comments on the use of the vegetation health index over Mongolia. *International Journal of Remote Sensing*, 27(10), 2017-2024.
14. Kogan, F.N. 1995. Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar orbiting satellite data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76, 655-668.
15. Kogan, F.N. 1995. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*, 15, 91-100.
16. Lu, X., Wang, L., Pan, M., Kaseke, K. F., & Li, B. 2016. A multi-scale analysis of Namibian rainfall over the recent decade—comparing TMPA satellite estimates and ground observations. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 8, 59-68.
17. McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183).
18. Mishra, A. K., & Singh, V. P. 2010. A review of drought concepts. *Journal of hydrology*, 391(1-2), 202-216.
19. Mishra, A. K., Desai, V. R., & Singh, V. P. 2007. Drought forecasting using a hybrid stochastic and neural network model. *Journal of Hydrologic Engineering*, 12(6), 626-638.
20. Mohammadi, J, Vafaeinezhad, A, Behzadi, S, Aghamohammadi, H, Hemmasi, A. 2022. The effect of kernel optimization in modeling drought phenomenon using computational intelligence (Case study: Sanandaj). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, (), -. (In Persian).
21. Narasimhan, B., & Srinivasan, R. (2005). Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring. *Agricultural and forest meteorology*, 133(1-4), 69-88.
22. Navabi, N, Moghaddasi, M, Gangi, N., 2021, Assessment of Agricultural Drought Monitoring Using Various Indices based on Ground-based and Remote Sensing Data (Case Study: Lake Urima Basin), *Journal of Watershed Engineering and Management*, Volume 13, Issue 1, 2021, Pages 1-12, (In Persian).
23. Prodhan, F. A., Zhang, J., Yao, F., Shi, L., Pangali Sharma, T. P., Zhang, D., ... & Mohana, H. P. 2021. Deep Learning for Monitoring Agricultural Drought in South Asia Using Remote Sensing Data. *Remote Sensing*, 13(9), 1715.
24. Quiring, S. M., & Ganesh, S. 2010. Evaluating the utility of the Vegetation Condition Index (VCI) for monitoring meteorological drought in Texas. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(3), 330-339.
25. Shabani, M. 2022. Evaluation of indices based on remote sensing in drought monitoring of Neyriz city. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, (), -. (In Persian).
26. Shahzaman, M., Zhu, W., Bilal, M., Habtemicheal, B. A., Mustafa, F., Arshad, M., ... & Iqbal, R. 2021. Remote Sensing Indices for Spatial Monitoring of Agricultural Drought in South Asian Countries. *Remote Sensing*, 13(11), 2059.
27. Solaimani, K, Darvishi, Sh, Shokrian, F. 2019. Analysis of agricultural drought using remote sensing indices (Case study: Marivan city). *Journal of RS & GIS for Natural Resources*, 10(2): 15-33. (In Persian).
28. Svoboda, M., Hayes, M., Wood, D., 2012. Standard Precipitation Index User Guide. World Meteorological Organization.
29. Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of climate*, 23(7), 1696-1718.
30. Wei, W., Zhang, J., Zhou, L., Xie, B., Zhou, J., & Li, C. 2021. Comparative evaluation of drought indices for monitoring drought based on remote sensing data. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(16), 20408-20425.
31. Wilhite, D. A., Svoboda, M. D., & Hayes, M. J. 2007. Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and

- preparedness. *Water resources management*, 21(5), 763-774.
32. Wilhite, D. A. 2000. Preparing for drought: a methodology. Published in *Drought: A Global Assessment*, Vol. II, edited by Donald A. Wilhite, chap. 35, pp. 89-104 (London: Routledge, 2000).
33. Winkler, K., Gessner, U., & Hochschild, V. 2017. Identifying droughts affecting agriculture in Africa based on remote sensing time series between 2000-2016: rainfall anomalies and vegetation condition in the context of ENSO. *Remote Sensing*, 9(8), 831.
34. World Meteorological Organization (WMO). 2012. *Guidelines on Ensemble Prediction Systems and Forecasting*; World Meteorological Organization: Geneva, Switzerland, 2012.
35. Yoon, D. H., Nam, W. H., Lee, H. J., Hong, E. M., Feng, S., Wardlow, B. D., ... & Kim, D. E. (2020). Agricultural drought assessment in East Asia using satellite-based indices. *Remote Sensing*, 12(3), 444.
36. Zandifar, S., Fijani, E., Naeimi, M., Khosroshahi, M., 2020, Spatiotemporal variations of groundwater drought indices, Case study: Zohreh- Jarrahi watershed, *journal of Hydrogeology*, 4(2): 108-130, (InPersion).
37. Zhang, Y., Liu, X., Jiao, W., Zeng, X., Xing, X., Zhang, L., ... & Hong, Y. 2021. Drought monitoring based on a new combined remote sensing index across the transitional area between humid and arid regions in China. *Atmospheric Research*, 264, 105850.
38. Zhang, Z., Xu, W., Shi, Z., & Qin, Q. 2021. Establishment of a Comprehensive Drought Monitoring Index Based on Multisource Remote Sensing Data and Agricultural Drought Monitoring. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 2113-2126.
39. Zhang, L., Jiao, W., Zhang, H., Huang, C., & Tong, Q. 2017. Studying drought phenomena in the Continental United States in 2011 and 2012 using various drought indices. *Remote sensing of environment*, 190, 96-106.
40. Zhong, S., Sun, Z., & Di, L. (2021). Characteristics of vegetation response to drought in the CONUS based on long-term remote sensing and meteorological data. *Ecological Indicators*, 127, 107767.



Agricultural drought monitoring based on remote sensing-based Evapotranspiration Condition Index in the Jarahi Zohreh basin

Maedeh Behifar¹, Ata Abdollahi^{2*}, Majid Kiavarz³, Ghasem Azizi⁴

Received: 2022-04-11 / Accepted: 2022-05-17 / Published: 2023-09-23

Abstract

Drought is one of the most important natural hazards in Iran that has many destructive environmental and economic effects. Drought is affected by various factors, and different indices have been developed to monitor it. Drought studies have been performed using temperature and vegetation data, but few studies have used satellite evapotranspiration data. In this research, vegetation condition index, temperature condition index, and evapotranspiration condition index have been used to study drought in Jarahi and Zohreh catchments. For this purpose, drought indices have been calculated on a monthly basis using MODIS satellite products from the 2000 to 2017 period. The six-month Standardized Precipitation Index was used to evaluate the remote sensing-based drought indices.

The results showed that the evapotranspiration condition Index had the highest correlation with the six-month SPI index and was considered the most appropriate index to study the drought. The correlation of ETCI with SPI was equal to -0.57 and the RMSE was 0.47. A drought severity map was prepared using remote sensing indices to depict six classes of drought severity including severe drought, moderate drought, mild drought, near normal, and without drought for 2008, 2009, and 2016, when the study area was suffering from drought. The results of the spatial assessment showed that the central part of the basin which contains ecologically important protected areas was the most vulnerable part during dry years, and during the study period, it has experienced over 10 months of severe drought. In this period, the coastal part had the lowest drought intensities. However, during different years, the wetland area of the basin, which is one of the protected water ecosystems, has decreased. The results showed that compared to other indices, the satellite-based evapotranspiration data can provide a good tool for monitoring drought in hot areas with sparse vegetation such as Iran.

Maedeh Behifar¹, Ata Abdollahi²(✉), Majid Kiavarz³, Ghasem Azizi⁴

1. Remote Sensing Department, University of Tehran.

2. University of Tehran

3. University of Tehran

4. University of Tehran

DOI: 10.30495/girs.2023.691224

e-mail: a.a.kakroodi@ut.ac.ir

Statement of the Problem:

Drought is known as one of the most destructive natural hazards in the country that has many destructive environmental and economic effects. Compared to other disasters, drought-induced damage is considerably greater due to its socioeconomic and environmental consequences. Over recent years, drought monitoring through remote sensing (RS) has progressed worldwide. Drought is affected by various factors such as Precipitation, Temperature and soilmoisture, and different indices have been developed to monitor it. The actual evapotranspiration parameter well stores the interaction of the mentioned factors and can be used as a suitable indicator for studying drought. So far, various studies have used remote sensing indices to study drought, most focusing on temperature and vegetation-based indices, while satellite-based evapotranspiration has not yet been used.

Purpose:

The purpose of this study is to investigate the ability of evapotranspiration-based index to study drought and compare it with other indices. For this purpose, in this study, the performance of the evapotranspiration condition index (ETCI), which is calculated using satellite-based actual evapotranspiration data, was evaluated and compared with the VCI and TCI indices. In recent years, many parts of the country have experienced severe and extreme. Jarahi and Zohreh basin have various climates and arid and semi-arid habitats. Shadegan Wetland is protected ecosystems of this basin as aquatic ecosystem. Therefore, Jarahi and Zohreh basins were selected as the study area and the drought in different parts of the basin in three drought events in 2008, 2009 and 2016 was investigated using VCI, TCI and ETCI indices.

Methodology:

The RS-based drought indices were calculated using the MODIS temperature, vegetation and evapotranspiration products. The MODIS land products were accordingly obtained from the Google Earth Engine platform. The study covered the period 2000 to 2017. 8- day temperature and evapotranspiration products, and 16-day vegetation products were used. All 8- and 16-day data were converted into monthly data and remote sensing-based drought indices were calculated using these monthly data.

VCI, TCI and ETCI indices were calculated using MODIS products and were compared with the six-

month SPI index. To assess the performance of each index, the Pearson correlation and the RMSE values of the RS-based indices at each station location were calculated. A drought severity map was prepared using remote sensing indices to depict six classes of drought severity including severe drought, moderate drought, mild drought, near normal, and without drought for 2008, 2009, and 2016, when the study area was suffering from drought.

Results and discussion:

Drought is a destructive and costly natural disaster (40) and has turned into a global concern in recent years (38). In this research, based on VCI, TCI, and ETCI, the drought map of Jarahi Zohreh has been prepared. Additionally, the performance of these indices has been evaluated against the station-based SPI. VCI and TCI are the most widely used remote sensing-based drought indices. Furthermore, in this research, the capability of evapotranspiration-based indices for drought monitoring has been evaluated. In order to accomplish this, three drought events were identified in the study area based on synoptic station data, and then the performance of remote sensing indices was evaluated.

Station-Based Index

Based on the results of the SPI index, the study area has repeatedly experienced moderate to severe drought events. Therefore, in the six-month drought event of 2003, 2005, 2008, 2009 and 2016, they experienced the most severe drought intensities. The SPI values show that the studied stations experienced severe and extreme drought in the mentioned years. The results also showed that the duration of long-term droughts in the study area is significant. SPI results indicate Ramhormoz station has experienced the highest drought intensity (-2.4 intensity) among the stations. In addition, extreme droughts occurred at this station more frequently (10 months) than in other areas. Therefore, 2008, 2009 and 2016 were considered as drought years in the study area and drought maps based on remote sensing data for September as a common month with drought in all years were evaluated.

Accuracy Assessment

The correlation between remote sensing indices and station-based SPI index and RMSE has been calculated. The results showed that the ETCI index, which is calculated using actual

evapotranspiration data, is the most appropriate index for studying the drought in the study area compared to the vegetation condition and temperature condition. The correlation of ETCI with SPI was equal to -0.57 and the RMSE was 0.47. The TCI index then performed better than VCI.

Remote Sensing-based Indices

Vegetation condition index in 2008 indicates severe drought in the central part of the basin. And the mountains and the wetlands indicate drought-free conditions. Also, in the middle half of the basin, in the areas along the rivers, the intensity of drought has slightly decreased. Temperature condition index in the same year shows that the whole study area, except for a small part of the wetland area, had temperatures above the expected average and are in the category of severe to moderate drought. This is also confirmed by the evapotranspiration condition index. It is noteworthy that although on this date the wetland area shows conditions near to normal or without drought, but the water bodies is reduced compared to the main wetland area.

Area of different drought classes shows that in all studied years, less than one percent of the basin had normal or near normal conditions. In 2009 and 2016, more than 60% of the basin was affected by extreme drought. In 2008, most of the basin (65%) faced moderate drought conditions. It is noteworthy that in all three events, more than 90% of the basin has experienced moderate to extreme droughts.

Conclusion:

The results showed that the use of evapotranspiration-based index can be effective in accurate analysis of drought and provide more details of spatial conditions, because it is jointly affected by available temperature and humidity parameters. However, so far, evapotranspiration-based index has not been used to monitor drought. The results show that in the studied drought events, the middle part of the basin is affected by the most severe droughts and experienced more than 10 months of extreme drought during the study period. Due to the fact that this area has three ecologically protected areas, it indicates the importance of studying and managing the risk of drought and its effects on the Jarahi and Zohreh basin. The results also show that multiple droughts have a significant effect on the condition and size of the wetland. Shadegan wetland is one of the important protected aquatic ecosystems, the need to pay attention to its sustainability in drought conditions is already clear.

This research evaluated the capability of the evapotranspiration condition index for agricultural drought mapping. Due to the high precision of the index, its performance can be evaluated for meteorological and hydrological droughts.

Remote sensing-based index are able to provide spatial details of drought, therefore, in risk management can provide valuable information. The advantage of using actual evapotranspiration data is that it is directly affected by the humidity, temperature and vegetation of the area and can provide a comprehensive view of the available moisture changes.

Keywords: Remote Sensing, Drought, Drought Indices, Evapotranspiration.

Please cite this article as: Behifar M., Abdollahi A., Kiavarz M., Azizi G. Agricultural drought monitoring based on remote sensing-based Evapotranspiration Condition Index in the Jarahi Zohreh basin. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 14(4): 27-49.