



آشکارسازی و تحلیل روند خشکسالی حوضه آبخیز جازموریان در ارتباط با شاخص‌های جوی - اقیانوسی

طیبه اکبری ازیرانی^۱*

^۱استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۶/۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۷/۲۴

چکیده

ارزیابی مخاطره خشکسالی در حوضه‌های آبخیز سرزمین ایران واقع در کمربند خشک و نیمه خشک جهان از ابعاد مختلف اهمیت ویژه‌ای دارد. در این میان نقش الگوهای پیوند از دور در بررسی مخاطرات آب و هوایی در دهه‌های اخیر توسط محققان مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. در همین راستا، توجه به تغییرات رطوبتی و بررسی و تحلیل خشکسالی حوضه آبخیز جازموریان نماینده یکی از زیر حوضه‌های آبریز مرکزی ایران، هدف این مقاله است. لذا با بررسی تغییر شاخص‌های طیفی رطوبتی در سالهای اخیر و تعیین شدت خشکسالی در ارتباط با شاخص‌های جوی - اقیانوسی با استفاده از داده‌های ثبت شده موجود ناهنجاری‌های رطوبتی بررسی شد. تحلیل طیفی شاخص رطوبتی در سه بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۰۰، ۲۰۱۳-۲۰۰۰ و ۲۰۲۰-۲۰۱۳ در حوضه جازموریان نشان داد که هر دو شاخص MNDWI و NDWI در سه بازه زمانی مورد مطالعه وجود خشکی و ناهنجاری‌های رطوبتی منفی در حوضه را نشان می‌دهند و تقویت جزئیات خشکی فراهم نشد. استفاده از شاخص شدت خشکسالی هواشناسی تبخیر-ترقرق استاندارد SPEI حاکی از روند منفی معنادار شدت خشکسالی از سال ۱۹۹۹ تاکنون است. بررسی ارتباط بین شاخص شدت خشکسالی SPEI دوازده ماهه و نوسانات جوی اقیانوسی با استفاده مدل رگرسیون چندگانه انجام شد. نتایج نشان داد که خشکسالی حوضه آبخیز جازموریان با شاخص‌های جوی اقیانوسی نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس (AMO) و شاخص نوسان جنوبی (SOI) رابطه معنادار قویتری در سطح خطای ۵ درصد دارند و بر اساس نتایج مدل رگرسیون چندگانه، شاخص چند دهه‌ای اقیانوس اطلس بیش از ۷۰ درصد خشکسالی حوضه آبخیز جازموریان را تبیین می‌کند. تحلیل همدید خشکسالی نشان داد که شرایط پایداری و جریان مداری جو در طی فاز گرم نوسان AMO باعث فرونشینی و شرایط پایداری هوا شده و بر شدت خشکسالی در حوضه آبخیز جازموریان در فاز گرم از سال ۱۹۹۹ تاکنون افزوده است.

واژه‌های کلیدی: مخاطرات اقلیمی، دور پیوند، سنجش از دور، شاخص طیفی ترکیبی رطوبتی، نوسان جوی - اقیانوسی

مقدمه

حوضه‌های آبخیز بصورت واحدهای طبیعی از دیرباز با تعیین مرز بین سرزمین‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. دریاچه‌ها و تالاب‌ها به‌عنوان پایاب حوضه‌های آبخیز نیز منابع آبی با ارزش تعدیل کننده آب و هوای زمین هستند که بدلیل اینکه محاط در خشکی‌ها هستند، به شدت از گرمایش و خشکسالی‌ها متأثر بوده و با افزایش فرایند خشکسالی از مساحت

آنها کاسته شده و در صورت تداوم این فرایند، بر میزان بیابانزایی نواحی اطراف دریاچه‌ها و تالاب‌ها افزوده خواهد شد (Roshan and Mohammadnejadaroq, 2013). در بررسی تغییرات بیلان آبی حوضه‌های آبخیز و همچنین خشکی پهنه‌های آبی توجه به علت آن در الویت است. در این خصوص الگوهای حاکم بر اقیانوس و جو از سازندگان سامانه آب و هوا و تاثیر گذار بر بیلان حوضه‌های آبی می‌باشند (Akbari Azirani and Pazhoh, 2022).

آمارهای بلند مدت می‌تواند از akbari@sbu.ac.ir

*نویسنده مسئول: t_akbari@sbu.ac.ir

خصوصیات اقلیم منطقه ای را تا اندازه زیادی نمایش دهند (Ebrahimi et al., 2016). بدنبال خشکی پهنه‌های آبی، تغییرات محیطی شامل جو اطراف، محیط بالادست و عوامل انسانی سبب ناهنجاریهای رطوبتی می شود که می تواند بعنوان مخاطرات محیطی روی جوامع زیستی اثر گذارد و عواقب زیادی بر بخش‌های اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و زیست محیطی دارد. منابع اصلی آب سرزمین ایران شامل شش حوضه آبریز اصلی است که بررسی خشکسالی حوضه آبخیز جازموریان از زیرحوضه‌های آبریز مرکزی واقع در ناحیه آب و هوایی خشک ایران، هدف این پژوهش است. اطلاعات ثبت شده حاکی از آن است که از سال ۱۹۰۱ تا ۲۰۱۲، دمای سطح زمین به طور متوسط در حدود ۰/۸۹ درجه سلسیوس افزایش یافته است (IPCC, 2013: 3). مخاطراتی همچون خشکسالی و سیل و افزایش پدیده‌های حدی اقلیمی از مهمترین پیامدهای تغییر اقلیم هستند که امروزه با دوره بازگشت کوتاه تر از گذشته معمولاً غیرقابل پیش بینی بوده ولی اثرات مخربی بر روی کشاورزی و اکوسیستمهای طبیعی دارند (Marengo, et al., 2009: 2242). رضی و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی خشکسالی هواشناسی در منطقه سیستان و بلوچستان به این نتیجه رسیدند که در ایستگاههای استان گاهی خشکسالی با تداوم بیش از ۲۸ ماه متوالی رخ داده است و لذا خشکسالی در شرایط بحرانی منطقه جنوب شرق ایران بویژه از نظر شدت و تداوم خشکسالی در جنوب استان بعنوان مخاطره ای جدی مطرح است. حوضه آبریز جازموریان بعنوان یکی از زیرحوضه‌های هفت گانه حوضه آبریز مرکزی است که نقش ویژه ای در شرایط زیستی محیط اطراف خود دارد. بر اساس آمار بارش ثبت شده در ایستگاههای حوضه آبخیز جازموریان و شاخص استاندارد بارش، وقوع خشکسالی‌های فراگیر در سطح حوضه از درجه شدید تا بسیار شدید شناسایی شده است

(Derini et al., 2018). همچنین نواحی شرقی و محدوده استان سیستان و بلوچستان بدلیل حساسیت

نسبتاً بالا نسبت به پدیده خشکسالی دارای میزان فراوانی، تداوم و شدت خشکسالی بیشتری به سمت نواحی شرقی و جنوب شرقی دارد (Lotfi Nasab Asl et al., 2017). استفاده همزمان شاخص استاندارد بارش و شاخص پوشش گیاهی NDVI برای ارزیابی خشکسالی حوضه آبخیز جازموریان نشان داد که روند افزایش شدت خشکسالی در سطح حوضه جازموریان معنادار است (Eskandari Damaneh, 2018). پلایای جازموریان در طی زمان دستخوش ناهنجاری‌های متعدد رطوبتی بوده است که بر اساس رسوبات بادی، بیابانی و کانی‌های تبخیری موجود در مغزه رسوبی، خشکی اقلیم جازموریان در حدود ۱۱ هزار سال قبل مشخص شده است که جایجایی جنوبی کمربند همگرایی حاره ای را در ناهنجاری رطوبتی گذشته را موثر می دانند (Vaezi et al., 2019). شاخص انسو در خشکسالی‌های ایران تاثیر گذار است (Khosh Akhlagh, 2017). در بررسی تغییرات بارشی بدلیل برهم کنش پیچیده و غیر خطی اثر انسو با دیگر پدیده‌های بزرگ مقیاس جوی و اقیانوسی باید بطور همزمان تاثیر بیش از یک الگوی پیوند از دور را بر تغییرات رطوبت محیط بررسی نمود (Ahmadi Givi et al., 2009). بررسی نقش الگوهای پیوند از دور نیمکره شمالی در شدت و گستره خشکسالی‌های فراگیر استان سیستان و بلوچستان در بازه زمانی ۲۰۰۰-۱۹۵۷ نشان داد که در مجموع بیش از ۷۰ درصد از تغییرات شاخص استاندارد بارش بوسیله الگوهای پیوند از دور چند متغیره انسو، نوسان شمالی، آرام شمالی، دهه ای اقیانوس آرام و قطبی اوراسیا قابل توجیه است (Khosravi, 2013). از طرف دیگر بسیاری از الگوهای پیوند از دور در سالهای اخیر معرفی شده و مرور سابقه تحقیق در منطقه مورد مطالعه نشان داد که تاکنون تحلیل خشکسالی حوضه آبخیز جازموریان با استفاده از شاخص خشکسالی تبخیر و تعرق استاندارد (SPEI) انجام نشده است. با توجه به اهمیت مساله تبخیر در مناطق خشک هدف این پژوهش ارزیابی خشکسالی با رویکرد ترکیبی استفاده از شاخص تبخیر و تعرق استاندارد و ماهواره

ای در ارتباط با شاخص‌های جوی اقیانوسی منتخب موثر بر خشکسالی حوضه آبخیز جازموریان است. همچنین چشم انداز نقش الگوهای جوی اقیانوسی در رخداد مخاطره خشکسالی و بررسی کارایی شاخص‌های طیفی با بکارگیری موتور مجازی پردازش انجین برای آشکارسازی ناهنجاری‌های رطوبتی از سایر اهداف این پژوهش است.

روش تحقیق

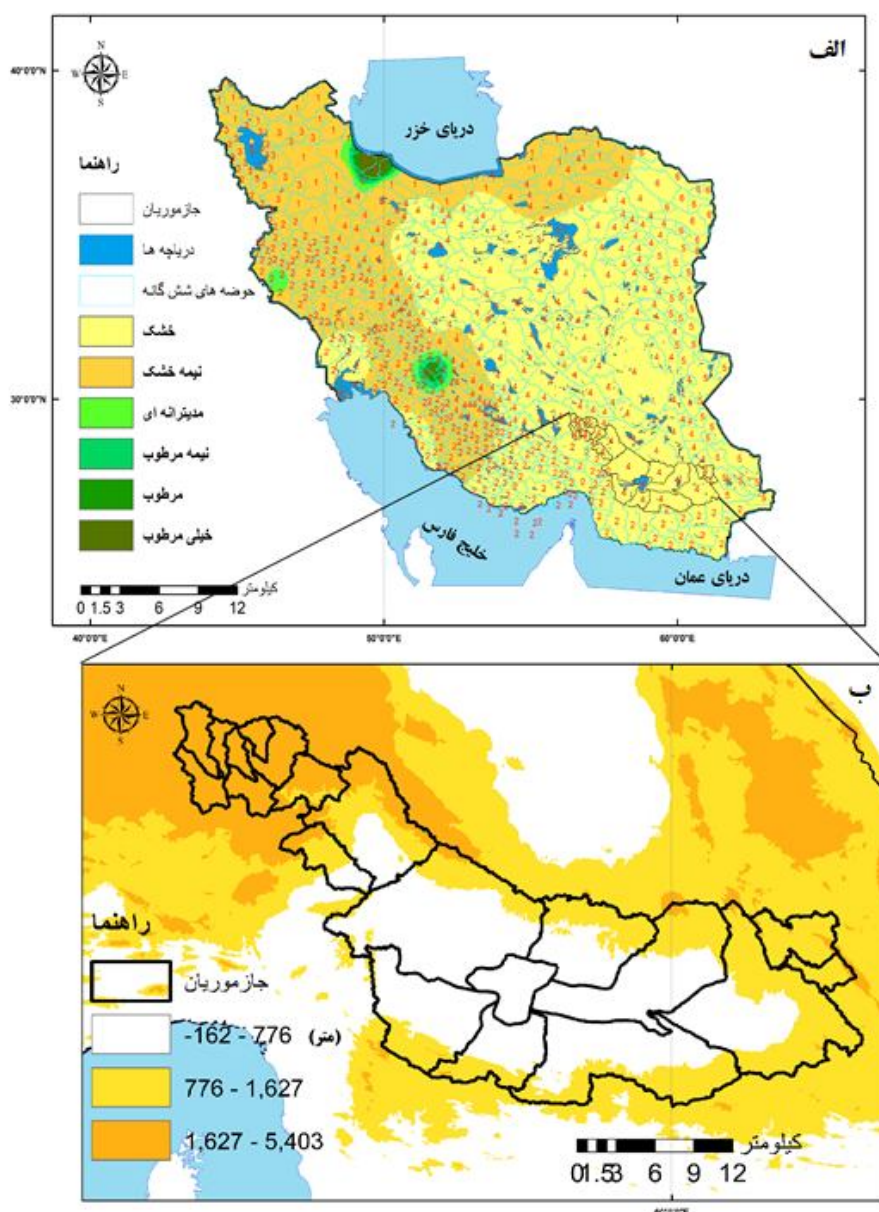
منطقه مورد مطالعه: منابع اصلی آب کشور ایران شامل شش حوضه آبریز اصلی است. در این مطالعه حوضه آبخیز جازموریان در جنوب شرق ایران زیرحوضه ای از حوضه مرکزی با شماره کد ۴ از بین حوضه‌های ایران انتخاب شد. حوضه جازموریان در جنوب شرقی ایران و در یک فرورفتگی تکتونیکی قرار گرفته که توسط کوه‌های بلند احاطه شده است. ارتفاعات حوضه از سازندهای کنگلومرا، مارن، شن، گچ و ماسه سنگ تشکیل شده اند که به عنوان نهشته کواترنر در حوضه غالب است (Alaei Taleghani, 2002). این حوضه از سوی شمال با سلسله جبال بارز و از جنوب بوسیله رشته کوه‌های بشاگرد بسته شده و آبهای سطحی به پلایای هامون جازموریان می ریزد. در حوضه آبخیز جازموریان با مساحت ۶۹۶۰۰ کیلومتر مربع پنج رودخانه جریان دارد که مهمترین منابع آبی حوضه، رودخانه هلیل است که از میان حوضه جازموریان می‌گذرد. بر اساس پهنه‌بندی اقلیمی دمارتون جازموریان زیر حوضه‌ای از بزرگترین حوضه ایران شامل حوضه آبخیز مرکزی است و نماینده آب و هوای خشک است (شکل ۱). حوضه جازموریان بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن، در محدوده اقلیم خشک و نیمه خشک و بر اساس روش کوپن نیز در اقلیم خشک و بیابانی Bwhs قرار می‌گیرد. ارتفاع متوسط حوضه حدود ۳۵۰ متر از سطح دریا است و میانگین بارندگی سالانه آن کمتر از ۱۳۰ میلی‌متر است. بارش سالانه در حوضه متفاوت است که بر اساس داده‌های سازمان هواشناسی ایران از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۸، میانگین بارش سالانه در ایستگاه

سینوپتیک جیرفت ۱۷۷ میلی‌متر و در ایستگاه سینوپتیک ایرانشهر ۱۱۱ میلی‌متر است. میانگین سالیانه دما ۲۶/۳ درجه سانتی‌گراد با میانگین حداکثر دما ۴۴ درجه سانتی‌گراد در خرداد و تیر و میانگین حداقل دما در ماه ژانویه ۶/۹ درجه سانتی‌گراد است. این حوضه در تابستان تحت تأثیر بارش‌های مونسون قرار می‌گیرد. در خشکسالی‌های بی سابقه اخیر رودخانه‌ها خشک شده و بستری برای فرسایش بوسیله بادهای محلی در سطح حوضه فراهم آمده است که از نظر زیستی در محیط موثر است. مرکز حوضه جازموریان از آب فصلی در طی ترسالی‌ها پوشیده شده است که در طول سال تغییر می‌کند. حجم آب رودخانه‌های این حوضه تابع ذوب شدن برف در ارتفاعات استان کرمان و بارشهای جوی است و معمولا دارای جریان سیلابی و یا بصورت رودهای کم آب فصلی و خشک‌رود یا مسیل در سطح حوضه می‌باشند. آب و هوای گرم در حوضه و کمبود بارش باعث می‌شود میزان تبخیر بالایی در حدود ۲۵۰۰ میلی‌متر در سال از سطح حوضه انجام شود که به طور قابل توجهی بیشتر از کل بارش و منابع آب در حوضه است (شکل ۱).

داده‌ها: در این مطالعه از دو دسته داده‌های ماهواره ای و هواشناسی برای بررسی ناهنجاری رطوبتی و محاسبه شاخص‌های بررسی خشکسالی در حوضه آبخیز جازموریان استفاده شد. بررسی ناهنجاری رطوبتی منطقه مورد مطالعه با استفاده از داده‌های بازتاب سطحی تصحیح اتمسفری شده ماهواره لندست با توان تفکیک مکانی ۳۰ متر برای بررسی ناهنجاری‌های رطوبتی از طریق محاسبه‌ی شاخص‌های طیفی انجام شد. داده‌های مورد استفاده شامل تصاویر ماهواره‌ای مربوط به باندهای مرئی و فروسرخ تصاویر لندست ۵ در بازه زمانی ۱۹۸۵ تا پایان سال ۲۰۱۲ است. همچنین باندهای مرئی، فروسرخ و باند طول موج کوتاه تصاویر لندست ۸ در بازه زمانی ۲۰۲۲-۲۰۱۳ است. داده‌های شاخص خشکسالی هواشناسی (SPEI) در بازه زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۱ با استفاده از داده‌های تارنمای <https://global->

(۱۹۸۵) شامل نوسان قطبی (AO)، چند دهه ای اقیانوس اطلس (AMO)، نوسان اطلس شمالی (NAO) و نوسان جنوبی انسو (ENSO) مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱).

drought-crops.csic.es در مقیاس ماهانه برای حوضه آبخیز جازموریان استخراج شد. برای بررسی اثر الگوهای پیوند از دور بر شرایط رطوبتی پهنه‌های آبی از داده‌های ماهانه شاخص‌های ناهنجاری جوی- اقیانوسی از تارنمای NCAR در دوره زمانی (۲۰۱۱-۲۰۱۱-)



شکل ۱: الف) موقعیت حوضه آبخیز جازموریان به همراه طبقه بندی اقلیمی دمارتون با استفاده از داده‌های دما و بارش (۲۰۱۸-۱۹۸۰) ب) نقشه رقومی ارتفاع حوضه با استفاده از داده‌های سازمان نقشه برداری (با قدرت تفکیک ۳۰ متر)

تحلیل‌های آماری

محاسبه شاخص‌های طیفی مستلزم بکارگیری داده‌های بازتاب سطحی (SR) است که در مقایسه با بازتاب‌های بالای جو (TOA) از دقت بالاتری برخوردارند. داده‌های بازتاب سطحی برای کانال‌های مرئی، فروسرخ نزدیک، فروسرخ کوتاه و مادون قرمز حرارتی توسط سازمان زمین شناسی ایالات متحده (USGS) ارائه شده و در سامانه پردازشی گوگل ارث انجین بصورت تصحیح اتمسفری شده بطور کامل در دسترس و آماده بکارگیری برای لندست ۸-۴ است. مزیت بکارگیری این مجموعه داده از بازتاب‌های سطحی آن است که نه تنها تصحیح اتمسفری بر روی آنها اعمال شده است، بلکه پوشش ابری، سایه، آب و برف موجود در این تصاویر با استفاده از الگوریتم‌های موجود حذف گردیده است.

سامانه گوگل ارث انجین یک سامانه تحت وب است که داده‌های رستری و برداری سری‌های زمانی ماهواره ای جهانی را با دسترسی به الگوریتم‌های لازم برای محاسبات فراهم می‌کند (Kumar and Mutanga, 2018). این سامانه برای کار با سری‌های زمانی ابزار قدرتمندی است که مساله نبود سخت افزار قوی برای پردازش تعداد زیاد تصاویر را جبران می‌کند. همچنین بسیاری از تصاویر و داده‌های ماهواره ای ارائه شده توسط گوگل ارث انجین نیازی به پیش پردازش‌ها و تصحیحات اولیه ندارند، بلکه آن‌ها به صورت آماده برای پردازش عرضه می‌شوند (Ahrari, 2018:6). در این پژوهش با استفاده از سامانه موتور مجازی پردازش انجین امکان استفاده از تعداد بیش از ۵۰۰ تصویر با پوشش ابر کمتر از ۱۰ درصد برای ایجاد سری زمانی شاخص‌های رطوبتی فراهم آمد. با کدنویسی در محیط انجین در سه بازه زمانی ۲۰۰۰-۱۹۸۵، ۲۰۱۳-۲۰۰۰ و ۲۰۲۲-۲۰۱۳ با استفاده از آماره میانه مقادیر باندهای تصاویر لندست ۵ و ۸ هر یک از سه بازه زمانی، شاخص‌های رطوبتی NDWI و MNDWI محاسبه و تصاویر آن تولید شد. سرانجام بوسیله نرم‌افزار ENVI 5.3 پردازش و تحلیل

طیفی شاخص‌ها و تهیه نقشه‌های چند زمانه انجام و در نرم افزار ArcGIS 10.3 نمایش داده شد.

محاسبه شاخص‌های رطوبتی NDWI و

MNDWI: مطالعه ناهنجاری رطوبتی پهنه‌های آبی مستلزم محاسبه شاخص‌های طیفی است. به این منظور شاخص‌های تفاضل نرمال شده آب (NDWI)^۱ و شاخص اصلاحی تفاضل نرمال شده آب (MNDWI)^۲ از تصاویر بازتاب سطحی تصحیح اتمسفری شده ماهواره لندست با وضوح مکانی ۳۰ متر در سامانه پردازشی گوگل ارث انجین شد. از آنجا که تصاویر انتخابی از نظر اتمسفری تصحیح شده بطور مستقیم شاخص‌های ذکر شده با نوشتن یک کد در قالب فراخوانی تصاویر بازتاب سطحی، اعمال فیلترهای مکانی و زمانی لازم، انتخاب باندهای مربوطه و انجام عملیات تفاضل نرمال شده^۳ (روابط ۱ و ۲) در فضای کد ادیتور^۴ سامانه پردازشی گوگل ارث انجین محاسبه گردیدند (https://code.earthengine.google.com).

شاخص‌های رطوبتی NDWI: چون آب در باند سبز بیشترین بازتاب را دارد بنابراین از مقادیر نرمال شده تفاوت باندهای ۲ و ۴ در تصاویر لندست ۵ و باندهای شماره ۳ و ۵ در لندست ۸ برای محاسبه شاخص نرمال شده پهنه‌های آبی استفاده می‌شود (Soltanian and Halabian, 2018: 168). بر اساس رابطه (۱) باند b نشان داده شده است

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \rightarrow NDWI_{L5} = \frac{Band2 - Band4}{Band2 + Band4}, \quad NDWI_{L8} = \frac{Band3 - Band5}{Band3 + Band5}$$

رابطه (۲)

$$MNDVI = \frac{Green - SWIR}{Green + SWIR} \rightarrow MNDVI_{L5} = \frac{Band2 - Band7}{Band2 + Band7}, \quad MNDVI_{L8} = \frac{Band3 - Band7}{Band3 + Band7}$$

1. Normalized Difference Water Index
2. Modification of normalized difference water index
3. Normalized Difference
4. Code Editor

شاخص‌های رطوبتی MNDWI: این شاخص نسبت به شاخص قبلی اندکی حساسیت بیشتری برای نمایش پهنه‌های آبی دارد چون مقادیر باند موج کوتاه شماره ۲ را نیز در محاسبه در نظر می‌گیرد و به عبارت دیگر این شاخص را می‌توان اصلاح شده شاخص رطوبتی NDWI دانست. مقادیر حد آستانه پهنه‌های آبی شامل اعداد مثبت بزرگتر از صفر در هر دو شاخص است (Soltanian and Halabian, 2018: 168).

شاخص خشکسالی هواشناسی در رابطه با شاخص‌های جوی اقیانوسی (الگوهای پیوند از دور): وضعیت خشکسالی در حوضه آبخیز جازموریان با بررسی شاخص خشکسالی تبخیر-تعرق استاندارد (SPEI) با استفاده از داده‌های تارنمای <https://global-drought-crops.csic.es> در مقیاس ۱۲

ماهه در سالهای ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۱ میلادی در پهنه حوضه آبخیز مورد بررسی قرار گرفت. همچنین مقیاس تعیین شدت خشکسالی بصورت جدول مشخص شده است (جدول ۲). همچنین شاخص‌های جوی اقیانوسی (پیوند از دور) منتخب شامل نوسان اطلس شمالی (NAO)، نوسان قطبی (AO)، نوسان جنوبی (SOI) و نوسان چند دهه ای اقیانوس اطلس (AMO) در ارتباط با شدت خشکسالی در سالهای مورد مطالعه (۱۹۸۵-۲۰۱۱) با استفاده از مدل آماری رگرسیون چندگانه ارزیابی شد. همچنین به منظور بررسی علل همدید خشکسالی در جنوب شرق ایران سالهای منتخب خشک جنوب شرق ایران بررسی و براساس تاثیر فعالیت الگوهای پیوند از دور یک فاز منتخب قوی از الگوی پیوند از دور موثرتر در خشکسالی، انتخاب و از نظر همدیدی بررسی شد.

جدول ۱: شاخص‌های جوی-اقیانوسی مورد مطالعه در این پژوهش

ردیف	الگوهای پیوند از دور	مخفف لاتین	موقعیت مکانی
۱	نوسان قطبی ^۱	AO	عرض‌های بالا حدود ۴۵ درجه شمالی
۲	نوسان چند دهه‌ای اطلس ^۲	AMO	اقیانوس اطلس شمالی
۳	نوسان اطلس شمالی ^۳	NAO	شمال اقیانوس اطلس در ایسلند
۴	نوسان جنوبی ^۴	SOI	در اقیانوس آرام بین جزیره‌های داوین و تاهیتی

جدول ۲: مقیاس تعیین شدت خشکسالی (Vicente-Serrano et al., 2010)

مقدار شاخص SPEI	وضعیت خشکسالی
فوق‌العاده مرطوب	(۳) - (۲)
خیلی مرطوب	(۲) - (۱/۵)
نسبتاً مرطوب	(۱/۵) - (۱)
نزدیک به نرمال	(۱) - (-۱)
نسبتاً خشک	(-۱) - (-۱/۵)
خشکسالی شدید	(-۱/۵) - (-۲)
فوق‌العاده خشک	(-۲) - (-۳)

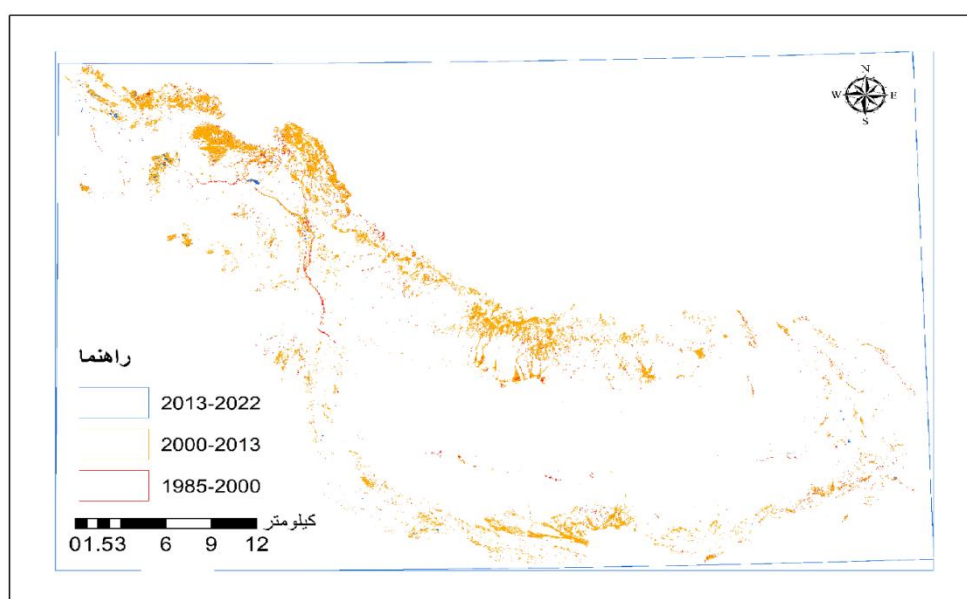
1. Arctic Oscillation
2. Atlantic Multi-decadal Oscillation
3. North Atlantic Oscillation
4. Southern Oscillation

گیرند (احراری، ۱۳۹۸، ۲۱۰). بنابراین مقادیر آستانه این شاخص به مقدار بیشتر از ۰/۱ برای آشکارسازی پهنه‌های آبی در این پژوهش در نظر گرفته شد. ترکیب شاخص طیفی رطوبتی برای بررسی وجود آب در تالاب در بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۰۰ نشان داد که شاخص NDWI نمایانگر وجود پوشش آب کمتری نسبت به دوره ۱۹۸۵=۲۰۰۰ در سطح تالاب بوده که در طیف نیز وجود خط یکنواخت بدون هیچ عارضه‌ای مشخص است در حالیکه در همین بازه زمانی شاخص MNDWI با مقادیر بیشینه حدود صفر در طیف این شاخص نمایانگر وجود رطوبت بسیار کم در سطح حوضه آبخیز جازموریان در این بازه زمانی است (شکل ۲). شاخص ترکیبی حاصل از هر دو شاخص رطوبتی بصورت یک پهنه رطوبتی در بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۰۰ نسبت به بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۰۰ به رنگ زرد روشن تر نشان داده شده است (شکل ۲). ترکیب شاخص طیفی رطوبتی برای بررسی وجود آب در تالاب در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۱۳ نشان داد که شاخص NDWI و MNDWI نمایانگر عدم وجود پوشش آب در سطح حوضه آبخیز جازموریان بوده است (شکل ۳ و ۴).

تجزیه و تحلیل یافته‌ها

بر اساس نتایج محاسبه شاخص‌های رطوبتی مشخص شد که هر یک از دو شاخص مورد بررسی اطلاعات مستقلی از تغییرات میزان رطوبت حوضه آبخیز جازموریان را نشان می‌دهند (شکل ۲). نقشه چندزمانه بدست آمده از ترکیب شاخص‌های رطوبتی NDWI و MNDWI در شکل ۲ نشان داده شده است. این شکل حاصل مطالعه سری زمانی داده‌های ماهواره‌ای لندست و شاخص‌های رطوبتی استخراج شده است که در ادامه یافته‌های هر یک از شاخص‌های رطوبتی در دوره‌های زمانی مورد بررسی به تفصیل مورد بحث قرار می‌گیرد:

آشکارسازی ناهنجاری‌های رطوبتی پهنه‌های آبی مورد مطالعه در بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۲۲:
آشکارسازی ناهنجاری رطوبتی در حوضه آبخیز جازموریان با محاسبه دو شاخص NDWI و MNDWI انجام شد. این شاخص معمولاً پهنه‌های آبی را با مقادیر بزرگ تر از صفر نشان می‌دهد. اما با توجه به اینکه معمولاً حد آستانه اشاره شده باعث ایجاد اغراق در نتایج می‌گردد مقدار بزرگتر از ۰/۱ را به عنوان حد آستانه نهایی برای شناسایی پهنه‌های آبی در حوضه‌های آبریز در نظر می‌

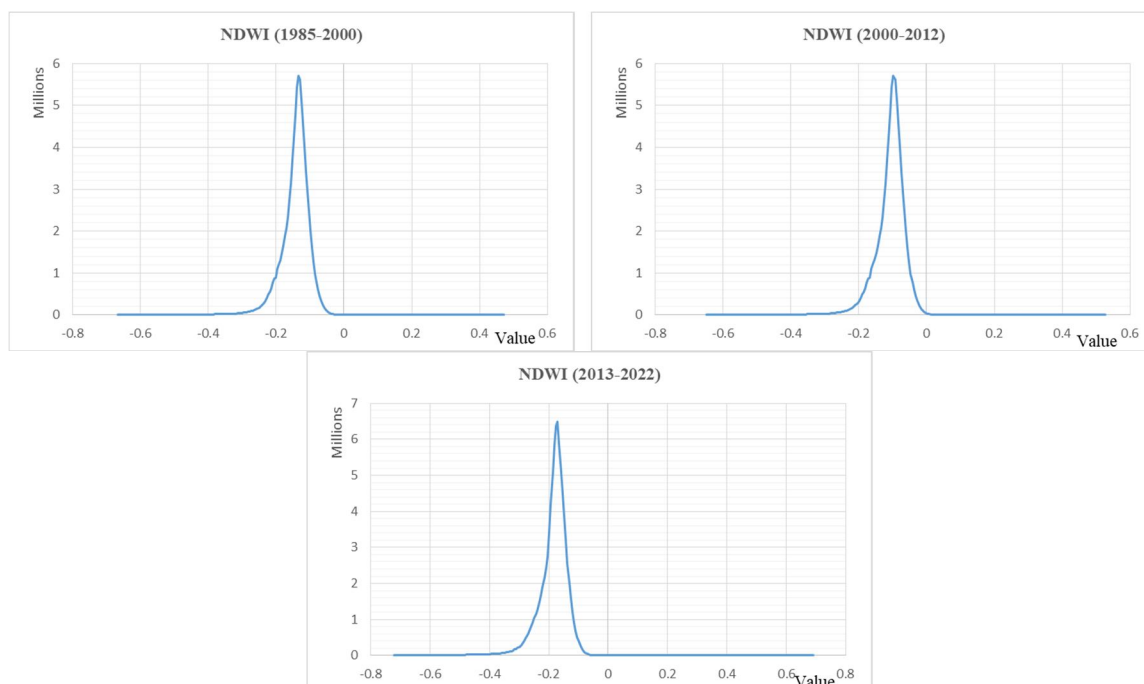


شکل ۲: نقشه ترکیبی شاخص رطوبتی NDWI و MNDWI در بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۲۲ در حوضه جازموریان

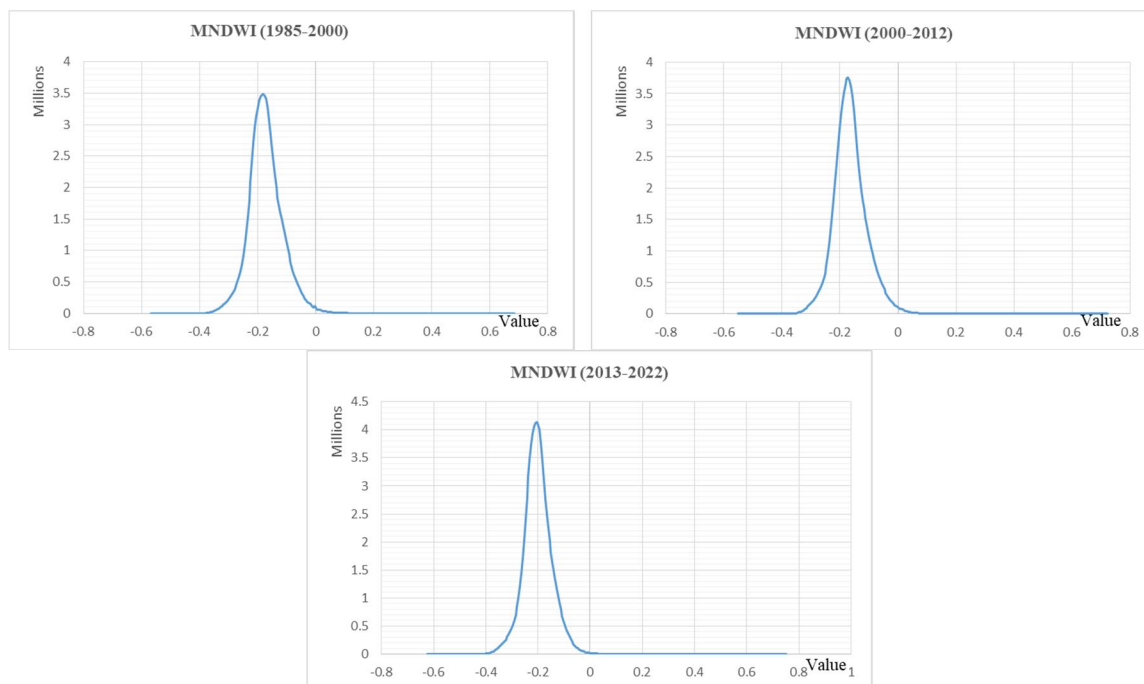
نتوانست جزئیات شرایط رطوبتی در طی سال‌های ۲۰۲۲-۱۹۸۵ را آشکار کند.

تحلیل روند شدت خشکسالی هواشناسی در رابطه با شاخص‌های جوی اقیانوسی: در حوضه آبخیز جازموریان شاخص خشکسالی تبخیر-تعرق استاندارد (SPEI) در مقیاس ۱۲ ماهه محاسبه و تحلیل روند طی بازه زمانی (۲۰۱۱-۱۹۸۵) بررسی شد (شکل ۵). بر اساس تغییرات این شاخص، از سال ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۷ مقادیر شاخص خشکسالی مثبت و از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۱ شاخص خشکسالی دارای مقادیر منفی می‌باشد. سال ۲۰۰۰ کمترین مقدار شاخص ۱/۲- شرایط نسبتاً خشک در جازموریان را نشان می‌دهد. بنابراین بر اساس شاخص ناهنجاری رطوبتی NDWI و MNDWI بدست آمده از تصاویر ماهواره ای از بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۰۰ به بعد افزایش شدت خشکی در حوضه جازموریان بطور آشکار نمایان است (شکل ۲) و درستی این نتیجه با ارقام منفی شاخص خشکسالی تبخیر-تعرق استاندارد از سال ۱۹۹۸ و وجود شرایط خشک تر در حوضه جازموریان تایید می‌شود.

بنابراین مقایسه ناهنجاری رطوبتی در سه بازه زمانی با استفاده از شاخص NDWI و MNDWI حاکی از خشکی کامل تالاب جازموریان در بازه زمانی ۲۰۲۲-۲۰۱۳ است و بدلیل عدم وجود پوشش گیاهی کافی شاخص MNDWI نیز نتوانست در آشکارسازی رطوبت، ناهنجاری‌های رطوبتی حوضه را بهتر نمایش دهد. حوضه جازموریان بوسیله شاخص میانگین سالانه NDWI و MNDWI در سه بازه زمانی بین سال‌های ۲۰۲۲-۱۹۸۵، شرایط خشکی را بویژه در دوره اخیر نشان می‌دهد. تحلیل طیفی این دو شاخص در محدوده مقادیر بزرگتر از صفر آشکار کننده وجود رطوبت در حوضه است (شکل ۳ و ۴). این درحالیست که شاخص MNDWI نسبت به شاخص NDWI ناهنجاریهای رطوبتی را با وجود یک پیک با مقادیر حدود صفر آشکار نمود و برتری چندانی نسبت به شاخص NDWI در آشکارسازی ناهنجاری رطوبتی حوضه نداشته است که دلیل آن شاید بدلیل عدم وجود رطوبت کافی حتی در قالب پوشش گیاهی در سطح حوضه باشد. بنابراین در هر سه دوره زمانی شاخص NDWI به‌طور میانگین شرایط خشکی در منطقه را آشکار نمود و ترکیب دو شاخص رطوبتی نیز



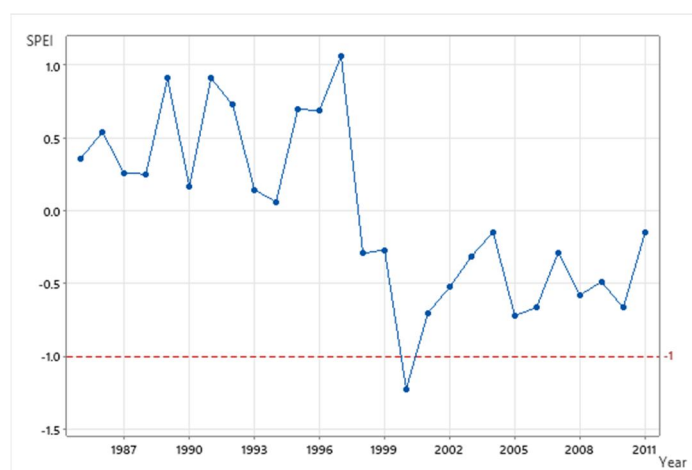
شکل ۳: اطلاعات توصیفی شاخص رطوبتی NDWI در حوضه جازموریان طی سه بازه زمانی مورد مطالعه



شکل ۴: اطلاعات توصیفی شاخص رطوبتی MNDWI در حوضه جازموریان طی سه بازه زمانی مورد مطالعه

درصد معنادار است و شدت خشکسالی به‌طور معناداری از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۱ در سطح حوضه آبخیز بیشتر شده است. مقدار شدت خشکسالی دارای افزایش حدود ۵۱ درصدی در طی صدسال می باشد (شکل ۵ و جدول ۳).

نتایج تحلیل روند خشکسالی براساس روش ناپارامتری من کندال و شیب سن روند تغییرات شاخص خشکسالی به‌همراه آماره معناداری در جدول ۳ مشخص شد. بر اساس نتایج، روند کاهشی اعداد شاخص خشکسالی جازموریان در سطح خطای پنج



شکل ۵: تغییرات شاخص خشکسالی استاندارد تبخیر تعرق SPEI حوضه آبخیز جازموریان

جدول ۳: بررسی معناداری روند شاخص خشکسالی SPEI (۱۹۸۰-۲۰۲۰) به روش من کندال در سطح خطای ۵ درصد

حوضه آبخیز	نوع روند	معناداری (p value)	مقدار Z محاسبه شده	مقدار شیب سن
حوضه جازموریان	کاهشی معنادار	۰/۰۰۰۶	-۳/۲۰۵۸	-۰/۰۰۵۱

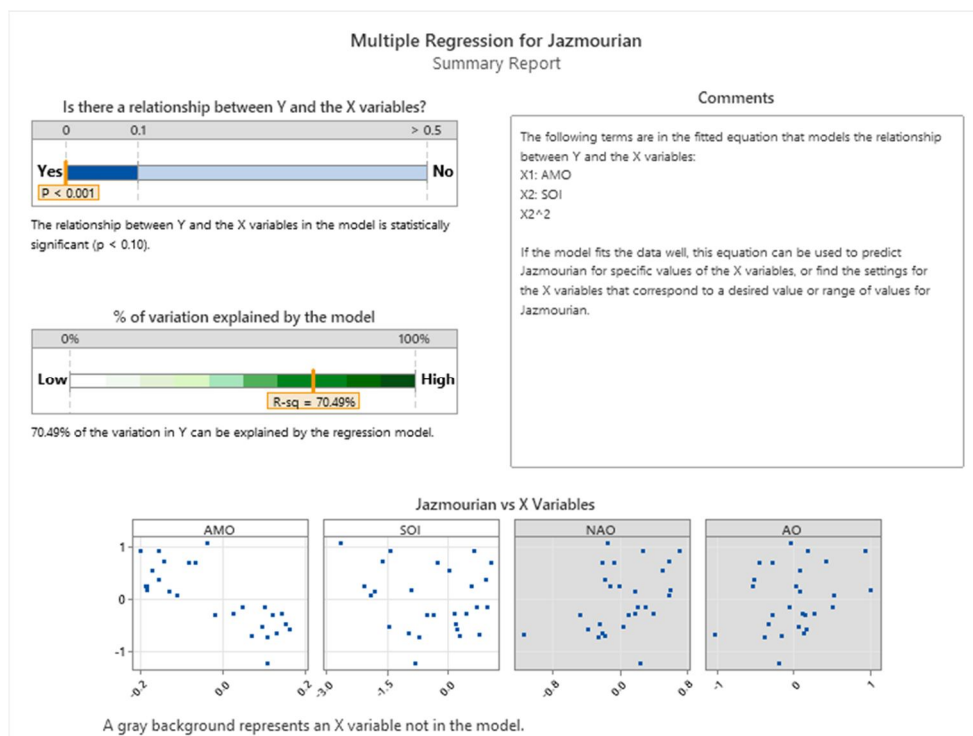
جهت بررسی ارتباط دوره‌های خشک با شاخص پیوند از دور در حوضه آبخیز جازموریان به تحلیل مدل رگرسیون چندگانه و بررسی همبستگی شدت خشکسالی با چهار شاخص منتخب جوی اقیانوسی اطلس شمالی (NAO)، نوسان قطبی (AO)، نوسان جنوبی (SOI) و نوسان چند دهه ای اقیانوس اطلس (AMO) در سالهای مورد مطالعه (۱۹۸۰-۲۰۱۱) و نتایج آن در شکل ۶ و جدول ۴ خلاصه شد:

بر اساس مدل رگرسیون دوبعدی می توان رابطه شاخص خشکسالی را با هر یک از شاخص‌های پیوند از دور در سطح خطای ۵ درصد بدست آورد. نتایج نشان داد که شاخص چند دهه ای اقیانوس اطلس بیش از ۶۲ درصد از تغییرات شدت خشکسالی در حوضه

جازموریان را می تواند تبیین کند و با یک مدل خطی می‌تواند شدت خشکسالی را بطور معناداری برآورد کند. شاخص نوسان جنوبی انسو در اولویت بعدی برای پیش بینی شدت خشکسالی حوضه جازموریان قرار دارد و با یک مدل رگرسیون دو بعدی می‌تواند تا ۲۵ درصد تغییرات شاخص خشکسالی سطح حوضه آبخیز جازموریان را توجیه کند. شاخص‌های نوسان اطلس شمالی و نوسان قطبی در اولویت‌های بعدی برای پیش بینی شاخص خشکسالی حوضه جازموریان قرار دارند و با مدل‌های خطی می‌توانند کمتر از ۱۵ درصد تغییرات خشکسالی حوضه را بطور معناداری برآورد کنند.

جدول ۴: مشخصات مدل رگرسیون دو متغیره شاخص شدت خشکسالی SPEI با شاخص‌های جوی - اقیانوسی در سطح خطای پنج درصد (۱۹۸۰-۲۰۱۱).

متغیر	ضریب تعیین	معناداری	بهترین مدل رگرسیون برازش داده شده
AMO	62.75%	0.001	$SPEI = -0.07238 - 3.658 (AMO)$
SOI	25%	0.032	$SPEI = -0.2573 + 0.2404 + 0.2791 (SOI)^2$
NAO	14.35%	0.051	$SPEI = -0.0342 + 0.5669 (NAO)$
AO	6.94%	0.184	$SPEI = -0.0169 + 0.3547 (AO)$



شکل ۶: نتیجه گرافیکی مدل رگرسیون چندگانه برای آزمون فرض وجود رابطه بین شاخص خشکسالی استاندارد تبخیر تعرق SPEI و شاخص‌های پیوند از دور حوضه آبخیز جازموریان

خشکسالی حوضه جازموریان است. Enfield et al. (2010) میانگین ناهنجاری‌های دمای سطح آب اقیانوس اطلس را به‌عنوان شاخص AMO در قالب دو فاز گرم و سرد معرفی نمودند و بر اساس تغییرات شاخص، نیمه دهه ۹۰ فاز گرم یا مثبت این پدیده چیره گشته است. در طول دوره گرم یا فاز مثبت AMO دمای سطح اقیانوس اطلس شمالی (۶۰-۰ درجه شمالی) گرم‌تر از میانگین دوره بلندمدت بوده و در فاز سرد، دمای آب سردتر می‌باشد. بر اساس شکل ۷ تغییرات شاخص AMO بیانگر دو فاز مشخص سرد (منفی) و گرم (مثبت) به‌ترتیب در دو بازه زمانی ۱۹۹۹-۱۹۸۵ و ۲۰۱۱-۱۹۹۹ است.

در حوضه آبخیز جازموریان واقع در جنوب شرق ایران نیز از سال ۱۳۹۹ همزمان با فاز گرم شاخص AMO، شاخص SPEI روند افزایشی داشته است. بررسی شرایط سطح دریا در فاز گرم شاخص AMO حاکی از شرایط پایداری جو و گسترش و نفوذ پرفشار سبیری به سوی شمال ایران با ایجاد مراکز بسته شده است. نقشه ناهنجاری فشار نیز نشان دهنده افزایش فشار هوا و پایداری جو در سطح دریا در مناطق شرقی اروپا و ایران است (شکل ۸). بطور همزمان در تراز میانی جو نیز شرایط پایداری بصورت جریان مداری هوا و شرایط آرام جوی با فاصله گرفتن خطوط هم ارتفاع از هم دیده می‌شود (شکل ۹). این پایداری و فرونشینی پیوسته هوا همراه با شکل‌گیری هسته‌های پر ارتفاع در اروپا و گسترش آن به سایر مناطق اطراف بوده و مانع فعالیت سیکلونهای مدیترانه‌ای و کم فشارهای حرارتی سودان و عربستان شده و شرایط پایداری جریان هوا تشدید شده است. همچنین سایر شاخص‌های پیوند از دور نیز می‌توانند بر شدت و ضعف فاز گرم شاخص AMO اثر گذار باشند. در بررسی رابطه الگوی انسو با بارش ایران در بازه زمانی ۱۹۵۱-۲۰۰۰ مشخص شد که در نیم سده گذشته بارش ایران با انسو در ارتباط است (Azizi, 1998; Masoudian, 2005).

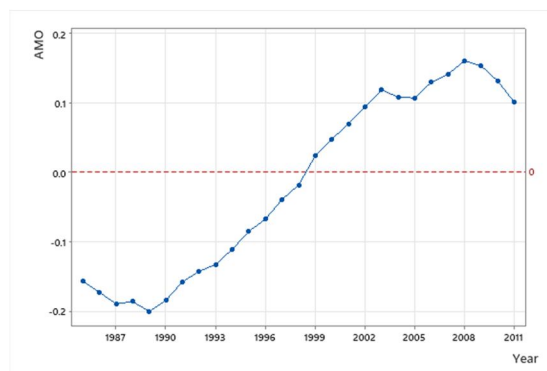
مدل رگرسیون چندگانه: اگر شاخص خشکسالی به‌عنوان یک متغیر وابسته تابعی از مجموعه متغیرهای الگوهای پیوند از دور چند دهه‌ای اقیانوس اطلس، نوسان جنوبی، نوسان اطلس شمالی و نوسان قطبی در نظر گرفته شود. می‌توان مطابق شکل ۷ بیش از ۷۰ درصد تغییرات خشکسالی سطح حوضه آبخیز جازموریان را بطور معناداری پیش‌بینی نمود. بنابراین بر اساس مدل رگرسیون چندگانه، شاخص چنددهه‌ای اقیانوس اطلس دارای بیشترین ارتباط معنادار با شاخص خشکسالی به‌صورت مدل خطی درجه دوم می‌باشد که ضریب همبستگی ۰/۷۹- نشان‌دهنده رابطه معکوس شاخص نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس با شدت خشکسالی در سطح حوضه آبخیز می‌باشد. همچنین مدل رگرسیون چندگانه برای پیش‌بینی خشکسالی حوضه آبخیز جازموریان نشان داد که شاخص نوسان جنوبی با یک مدل درجه دوم با ضرایب ۰/۲۰۳ و ۰/۱۷۲۰ رابطه معنادار دارد (رابطه ۳). نتایج تحلیل مدل رگرسیون چندگانه در حوضه آبخیز جازموریان نشان داد که از میان شاخص‌های جوی اقیانوسی مورد مطالعه، دو شاخص نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس و نوسان جنوبی انسو وارد معادله شده و شاخص‌های نوسان اطلس شمالی و نوسان قطبی به ترتیب در پیش‌بینی خشکسالی بدلیل سهم کمتر از مدل رگرسیون چندگانه حذف شده است:

رابطه (۳)

$$SPEI = -0.1974 + 3.310 (AMO) + 0.203 (SOI) + 0.1720 (SOI)^2$$

تحلیل هم‌دید خشکسالی‌ها در رابطه با الگوهای

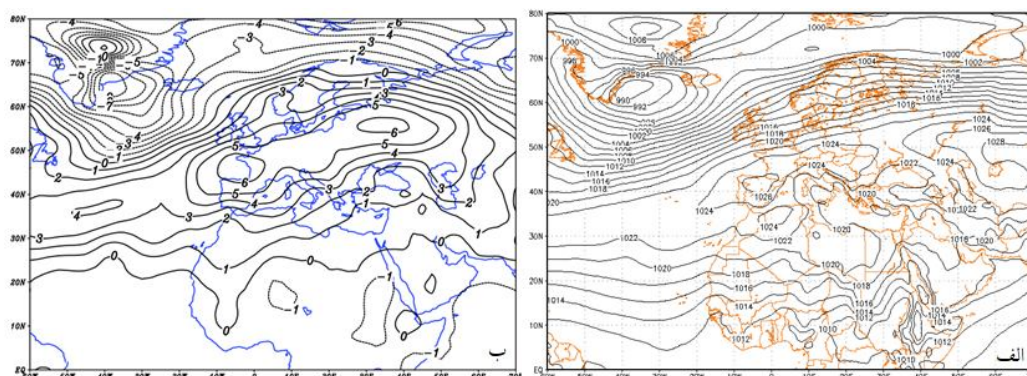
پیوند از دور مورد مطالعه: در بخش قبلی مشخص شد که روند شدت خشکسالی در حوضه آبخیز جازموریان به گونه‌ای است که از سال ۱۹۹۹، شدت خشکسالی دارای روند معنادار افزایشی بوده و شدیدترین خشکسالی‌ها را تجربه نموده است. همچنین یافته‌های حاصل از مدل رگرسیون چندگانه حاکی از آن است که الگوی نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس (AMO) تاثیر گذارترین الگوی پیوند از دور نسبت به سایر الگوهای مورد بررسی در شدت



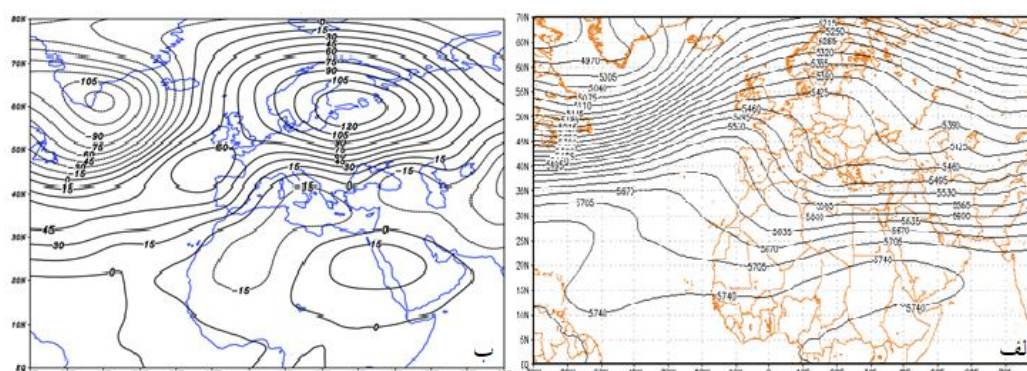
شکل ۷: مقادیر شاخص پیوند از دور نوسان چند دهه ای اقیانوس اطلس و فاز مثبت از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۱

الگوی نوسان جنوبی در خشکسالی حوضه جازموریان دارد. این نتیجه با نتایج Azhdari Moghadam et al. (2013) هماهنگی دارد.

تغییرات انسو بین ۱۵ تا ۲۵ درصد تغییرات بارش مناطق شرقی ایران را مشخص می‌کند (Masoudian, 2005). نتایج این پژوهش حاکی از نقش پررنگ تر الگوی نوسان چند دهه ای اقیانوس اطلس نسبت به



شکل ۸: شرایط همدید فاز مثبت منتخب نوسان چند دهه ای اقیانوس اطلس (الف) میانگین فشار تراز دریا ب: ناهنجاری فشار تراز دریا در طی فاز مثبت نوسان AMO دسامبر ۲۰۰۷



شکل ۹: شرایط همدید فاز مثبت منتخب نوسان چند دهه ای اقیانوس اطلس (الف) میانگین فشار تراز میانی جو ب: ناهنجاری فشار تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در طی فاز مثبت نوسان AMO دسامبر ۲۰۰۷

فشار پاکستان در تراز زیرین است که مانع از گسترش سامانه‌های بارشی و حاکمیت خشکسالی بر روی جنوب شرق ایران در دوره گرم و سرد سال می‌شود (Lashkari, 2013). بنابراین بنظر می‌رسد علت اصلی پدید آمدن الگوهای جوی همدید ایجاد کننده خشکسالی‌ها، ترکیب اثر الگوهای پیوند از دور نظیر AMO و انسو و تغییر فاز سرد به گرم و به دنبال آن گرم شدن آبهای سطحی اقیانوس و دریاها باشد که منجر به شدت خشکسالی‌های فصل سرد ایران بویژه در جنوب شرق ایران می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش ناهنجاری‌های رطوبتی حوضه آبخیز جازموریان با استفاده همزمان از سری‌های زمانی داده‌های ماهواره ای و هواشناسی آشکار شد و مورد تحلیل قرار گرفت. با بررسی ترکیبی طیفی شاخص‌های رطوبتی بنظر می‌رسد که شاخص NDWI و MNDWI در سه بازه زمانی مورد مطالعه شرایط خشکی را نشان می‌دهد و امکان تفکیک جزئیات خشکی با استفاده از این دو شاخص فراهم نشد. بنابر این این دو شاخص به‌عنوان ابزار مناسبی برای آشکارسازی ناهنجاری‌های رطوبتی در سری زمانی داده‌های تصاویر لندست در حوضه آبخیز جازموریان شناسایی نشد. همچنین آشکارسازی ناهنجاری رطوبتی با بکارگیری شاخص ترکیبی در حوضه جازموریان ایده ترکیب تعداد بیشتری از شاخص‌ها را برای آشکارسازی پهنه‌های آبی داخل ایران بویژه حوضه آبریز مرکزی در مطالعات آتی پیشنهاد می‌دهد. بررسی شاخص خشکسالی تبخیر و تعرق استاندارد (SPEI) که نوعی خشکسالی هواشناسی است روند معنادار افزایش شدت خشکسالی را در سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۱۱ نسبت به دوره ۱۹۸۵-۱۹۹۹ در حوضه آبخیز جازموریان نشان می‌دهد. بررسی رابطه شدت خشکسالی با شاخص‌های پیوند از دور با استفاده از مدل رگرسیون چندگانه نشان داد که شاخص نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس (AMO) و شاخص نوسان جنوبی (SOI) به‌ترتیب بیشترین تاثیر را بر روی شدت

شاخص نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس (AMO) و شاخص نوسان جنوبی (SOI) به ترتیب با تأخیرهای زمانی صفر، یک و دوماهه، بیشترین ارتباط را با خشکسالی‌های زاهدان داشته و عوامل اقلیمی مناسبی برای پیش‌بینی بارش می‌باشند (Azhdari Moghadam et al., 2013). همچنین ضریب همبستگی و سطح معنی‌داری شاخص AMO با بارش میانگین ایران به ترتیب با ۰/۳۸۸- و ۰/۰۳ نشان از تأثیر قوی فاز منفی شاخص بر مقادیر بارندگی کشور به‌ویژه در فصول سرد می‌باشد (Ahmadi, 2013). رخداد دوران خشک پائیزه در ایران هم‌زمان با چیرگی فاز لانینا و فاز مثبت AMO است. در حالیکه چیرگی فاز لانینو و فاز منفی AMO با افزایش میانگین بارش زمستانه و رخداد دوران تر و غالبیت دوران لانینا و فاز مثبت AMO با کاهش میانگین بارش و کمبود منابع آبی کشور در بخش‌هایی از شمال، شمال خاور، شمال باختر، باختر، مرکز و جنوب کشور، می‌شود (Mostafazadeh, Kamel, 2012).

تحلیل خشکسالی در جنوب شرق ایران با بررسی شاخص انسو در ارتباط با تغییرات بارش جنوب شرق ایران حاکی از نقش فازهای سرد انسو در کاهش بارش فصل سرد سال و شدت خشکسالی منطقه می‌باشد. این در حالی است که در فازهای گرم انسو در فصل پاییز که گذار از فصل گرم به فصل سرد است با تغییر مسیر رودباده‌ها به عرض‌های جنوب تر و حرکات مداری تر آن ترسالی‌ها و بارش‌های بالاتر از نرمال در منطقه جنوب شرق به‌همراه دارد (Ghayor and Khosravi, 2001). همچنین علت اصلی خشکسالی‌ها در جنوب شرق ایران، تغییر در الگوی گردشی جو نسبت به شرایط نرمال شناسایی شده است و بررسی همدید خشکسالی‌های چهار سال نشان داد که حرکات غرب و جنوب سوی پرفشار جنب حاره ای عربستان در ترازهای میانی تروپوسفر و گسترش زبانه پرفشار سبیری از سمت شرق و شمال شرق در تراز زیرین در دوره سرد سال و در مقابل خشکسالی‌های فصل گرم سال حاصل گسترش ویزه پشته پرفشار جنب حاره ای عربستان به سمت شرق و زبانه کم

الگوهای پیوند از دور و حوضه مورد مطالعه ممکن است تاثیر همزمان شاخص‌های پیوند از دور مشاهده نگردد و نتایج این مطالعه پیشنهاد می‌کند که اثر شاخص‌های پیوند از دور با تاخیرهای یک یا چند ماهه نیز مورد بررسی قرار گیرد.

خشکسالی در حوضه آبخیز جازموریان داشته اند. بر اساس نتایج تحلیل همید، پایداری جو و استقرار مراکز ناهنجاری مثبت فشاری در تراز میانی جو عامل اصلی جریان مداری هوا و فرونشینی پیوسته هوا و شدت خشکسالی در این پژوهش شناسایی شد. هرچند که به علت دوری مسافت بین موقعیت مکانی

منابع

1. Abdulahi, E. (2016). The effect of climate change on the condition of settlements around the Jazmurian lagoon, master's thesis. University of Tehran.
2. Ahrari M.H. (2018). The Virtual Engine of Satellite Image Processing: Google Earth Engine System Training, Key Education Publications, Tehran, 242 p.
3. Ahmadi M. (2013). Analyzing the relationship between teleconnection patterns and precipitation characteristics of Iran, PhD in Climatology Dissertation, Department of Physical Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, Tarbiat Modares University.
4. Ahmadi Givi, F., Parhishkar, D., Hajam, S. (2009). Investigating the effect of ENSO on seasonal rainfall distribution in Iran during 1971-2000. *Physics of Earth and Space*, 35(4)
5. Akbari Azirani T., Pazhoh F. (2022). Teleconnection patterns and atmospheric-oceanic feedbacks, Jihad Publication of Shahid Beheshti University, V.1, Tehran, Iran, ISBN: 9-964479-194-978, 248 p.
6. Alaei Taleghani M. (2002). Geomorphology of Iran, Publication of Ghome, V. 3, Tehran, Iran.
7. Azhdari Moghadam M., Khosravi M., Hosseinpour Niknam H., Jafari Nadushan E. (2013). Drought forecasting using fuzzy-neural model, climate indicators, rainfall and drought index (case study: Zahedan), *Journal of Geography and Development*. 26: 61-72.
8. Azizi Q. (1998). El Niño and periods of drought and drought in Iran. *Geographical Research*, 32(38), 71-84. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=11910>
9. Derini, J., Heydari M., Faryabi N., and Niknejad S.A. (2018). Analysis of the extent of droughts in the Jazmurian basin using the standardized precipitation index (SPI), National Conference on Water Crisis in Agriculture and Natural Resources, Tehran, <https://civilica.com/doc/70792>.
10. Ebrahimi, Zohreh, Vali, Abbasali, Khosrowshahi, Mohammad, (2016). Investigating the role of dried surfaces of the Bloody Cow wetland on the production of indoor dust using Landsat images and mud storms, *Scientific and Research Quarterly of Iran's Pasture and Desert Research*, Volume 24, Number 1.
11. Enfield D.B., Mestas-Núñez A.M., Trimble P.J. (2001). The Atlantic multidecadal oscillation and its relationship to rainfall and river flows in the continental U.S. *Geophys. Res. Lett.*, 28: 2077-2080.
12. Eskandari Damaneh HAD, Eskandari Damaneh HAM, Khosravi H, Gholami H (2018). Drought analysis and monitoring using NDVI vegetation cover index (case study: Jazmurian lagoon west basin). *Pasture*, 13(3), 461-475. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=526158>
13. Ghayor H., Khosravi, M. (2001). The effect of Enso phenomenon on the anomalies of summer and autumn rainfall in the southeastern region of Iran. *Geographical Research*, 16(3 (serial 62)), 141-174. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=19214>
14. Hosseini Abri, S.J. 2017. Zayandeh Rood from Sarcheshme to Mardab, Golha Publications.
15. IPCC, 2013. Summary for Policymakers. In: Stocker, T.F., Qin, D.,

- Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom; New York, New York, USA.
16. Khosravi M. (2013). Investigation of the relationship between the patterns of macro-scale atmospheric circulation of the Northern Hemisphere and the annual droughts of Sistan and Baluchistan, *Quarterly of Geography and Development*, 3: 167-188.
17. Khosh Akhlagh F. (2017). Enso phenomenon and its effect on Iran's rainfall regime, *Geographical Research*, , No. 51.
18. Kumar L. and Mutanga O. (2018). Google Earth Engine Applications Since Inception: Usage, Trends, and Potential, *remote sensing, Remote Sens.* 2018, 10, 1509; doi:10.3390/rs10101509
19. Lashkari, H. (2013). Synoptic analysis of circulation patterns leading to widespread and severe droughts in the south and southeast of Iran, 12th Congress of the Geographical Association of Iran with a focus on land management, the Iranian-Islamic model of progress, Najafabad, <https://civilica.com/doc/389393>
20. Lotfi Nasab Asl S., Gohardost A., Khosrowshahi M. (2017). Evaluation and application of geostatistics in identifying and analyzing drought characteristics of Jazmurian Basin. *Watershed Management Research Journal*, 9(18), 12-25. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=559008>
21. Marengo, J.A., et al. (2009). Future Change of Temperature and Precipitation Extremes in South America as Derived from the PRECIS Regional Climate Modeling System. *International Journal of Climatology*, 29, 2241-2255. <https://doi.org/10.1002/joc.1863>
22. Masoudian S.A. (2005). Enso effect on Iran's rainfall, <https://civilica.com/doc/1353616>
23. Mirahsani, Marzieh Sadat et al., (2016). Drought monitoring in Zayandeh Rood watershed area based on time series changes of VCI index of MODIS sensor and SPI index. *Geography and dangers of Mahi during* pp. 1-22.
24. Mostafazadeh, Kamel (2012). Evaluation of the simultaneous effect of AMO and ENSO phenomena on the occurrence of meteorological droughts in Iran with an emphasis on Fars province, Master's thesis in the field of agricultural meteorology, Faculty of Agriculture, Shiraz University.
25. Razinei, T., Thaqfian A., Shekhi, B. (2013). Forecasting the intensity, duration and frequency of drought using probabilistic methods and time series (case study: Sistan and Baluchestan province, *Biyaban magazine*, 8: 2.
26. Roshan G.R., Mohammadnejadaroq V. (2013). prediction of hydrological changes in the water level of Lake Urmia with an approach to different hypothetical plans of global warming in the coming decades, *Quantitative Geomorphology Researches*, first year of winter 2013, number 3, pp. 69-88
27. Soltanian M., Halabian, A.H. (2017). The application of remote sensing in environmental sciences: methods of processing satellite images in ENVI, Isfahan University Jihad Publications, first edition, 307 p.
28. Vaezi A., Ghazban F., Tavakoli V., Routh J., Beni A.N., Bianchi T.S., Kylin H. (2019). A Late Pleistocene-Holocene multi-proxy record of climate variability in the Jazmurian playa, southeastern Iran. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 514, 754-767.
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. www.mdpi.com/journal/remotesensing.
31. <https://earthengine.google.com/datasets/>
32. <https://global-drought-crops.csic.es>
33. <https://www.usgs.gov>

