

## Assessing the role of meteorological and hydrological droughts on the drying up of the Bakhtegan and Tashk lakes

Morteza Mozafari<sup>1\*</sup>, Zeinab Hosseini<sup>2</sup>, Elham Fijani<sup>3</sup>

1. *Corresponding Author*, Assistant Prof., School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran
2. MSc. Student at School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran
3. Assistant Prof., School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

Article Info	ABSTRACT
<p><b>Article type:</b> Research Article</p> <p><b>Article history:</b> <b>Received:</b> 05 August 2021 <b>Revised:</b> 20 January 2022 <b>Accepted:</b> 08 February 2022</p> <p><b>Keywords:</b> Bakhtegan and Tashk lakes, drought, Precipitation standard index, Runoff standard index.</p>	<p>The Bakhtegan and Tashk lakes, as the second largest lakes in Iran, have been faced with a drought since 2007. Consequently, the ecology of the region has been disrupted and the social, health and environmental problems have been appeared. The purpose of this study is to investigate the role of meteorological and hydrological droughts on the drying up of these lakes. For this purpose, temperature and precipitation data measured at 21 rain gauge stations, flow rate measured at three hydrometric stations and the area obtained from the calculation of the normalized water differential index by processing 46 Landsat satellite images. Pearson correlation coefficient was used to determine the relationship between variables and linear regression method was applied to examine the trend each variable time series. Also, to determine the effect of climatic drought and hydrology on changes in the area of lakes, standardized 12-month rainfall and runoff indices were used. A decreasing trend has been discovered in the lakes area since 2008, and most of the lakes have been dried after 2012. Despite an increasing trend in the basin temperature (0.04°C/year), no significant change in this trend was observed in 2008. Moreover, decreasing trends have been detected in precipitation and discharge of the Kor River (the most important inlet of lakes), especially since 2007. The calculated standard precipitation and runoff indices indicated occurring of meteorological and hydrological droughts in the basin since 2008. Precipitation during the drought period decreased by 47%, but the discharge of the river into the lakes decreased by more than 95%. According to the results of this study, although rising in temperature together with the meteorological and hydrological droughts have caused reducing of the lakes area, but other factors could play an important role in this hazard. To determine the role of other effective factors, considering the role of human factors (especially agricultural development and dam construction) is also suggested.</p>
<p><b>Cite this article:</b> Mozafari, M., Hosseini, Z., &amp; Fijani, E. (2022). Assessing the role of meteorological and hydrological droughts on the drying up of the Bakhtegan and Tashk lakes. <i>Journal of Natural Environmental Hazards</i>, 11(34), 79-100. DOI: 10.22111/jneh.2022.39448.1835</p>	
 <p>© Morteza Mozafari. DOI: 10.22111/jneh.2022.39448.1835</p>	<p>Publisher: University of Sistan and Baluchestan</p>

\* Corresponding Author Email: [mmozafari@ut.ac.ir](mailto:mmozafari@ut.ac.ir)

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۱، شماره ۳۴، زمستان ۱۴۰۱

## ارزیابی نقش خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی بر خشکیدن دریاچه‌های بختگان و طشک

مرتضی مظفری<sup>۱\*</sup>، زینب حسینی<sup>۲</sup>، الهام فیجانی<sup>۳</sup>

۱. استادیار دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران

۳. استادیار دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۴</p> <p>تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۱۰/۳۰</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۹</p> <p>واژه‌های کلیدی: دریاچه بختگان و طشک، خشکسالی، شاخص بارش و رواناب استاندارد.</p>	<p>دریاچه‌های بختگان و طشک به عنوان دومین دریاچه‌های ایران از نظر بزرگی، از سال ۱۳۸۷ با بحران کم آبی و خشکی شدید روبرو شده‌اند. این پدیده سبب به هم خوردن زیست بوم منطقه و بروز کاستی‌های اجتماعی، بهداشتی و محیط زیستی شده است. هدف از این پژوهش بررسی نقش خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی بر خشکیدن این دریاچه‌ها است. برای این منظور، از داده‌های دما و بارش اندازه‌گیری شده در ۲۱ ایستگاه باران‌سنجی، دبی‌سنجیده شده در سه ایستگاه هیدرومتری و مساحت حاصل از محاسبه شاخص تفاضلی بهنجار شده آب (با پردازش ۴۶ تصویر ماهواره لندست) استفاده شد. برای تعیین رابطه بین متغیرها از ضریب همبستگی پیرسون و جهت بررسی روند تغییرات هر متغیر از روش رگرسیون خطی استفاده گردید. همچنین برای تعیین اثر خشکسالی اقلیمی و آب‌شناسی بر تغییرات مساحت دریاچه‌ها از شاخص‌های بارش و رواناب استاندارد شده دوازده ماهه استفاده شد. با تعیین روند تغییرات مساحت دریاچه‌ها در بازه زمانی بین سال‌های ۱۳۵۲ تا ۱۳۹۹ مشخص شد که وسعت پهنه آبی آنها از سال ۱۳۸۷ روند کاهشی به خود گرفته و از سال ۱۳۹۱ به این سو در بیشتر زمان‌ها این دریاچه‌ها خشک بوده‌اند. با وجود روند افزایشی در دمای حوضه به میزان ۰/۴ درجه سانتی‌گراد در هر ده سال، تغییر چشمگیری در مقدار این روند در سال ۱۳۸۷ (همزمان با خشکیدن دریاچه‌ها) دیده نشده است. بررسی بارش حوضه و آورد رود کر (مهمترین ورودی دریاچه‌ها) نشانگر وجود روند کاهشی در بارش و آورد رودخانه، بویژه از سال ۱۳۸۷ به این سو است. محاسبه شاخص‌های بارش و رواناب استاندارد نیز از آغاز خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه از سال ۱۳۸۷ حکایت دارد. مقدار بارش در دوره خشکسالی به میزان ۴۷ درصد کاهش یافته اما آبدهی ایستگاه هیدرومتری نزدیک به دریاچه کاهش بیش از ۹۵ درصدی را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج این پژوهش، هر چند کاهش بارش و افزایش دما سبب کاهش مساحت دریاچه‌های بختگان و طشک شده، اما عوامل دیگری نیز در این رخداد نقش دارند. بنابراین به نظر می‌رسد که خشکسالی اقلیمی تنها عامل خشکیدن این دریاچه‌ها نیست. برای تعیین نقش سایر عوامل در این پدیده مخرب، مطالعه نقش عوامل انسانی بر خشک شدن دریاچه‌ها پیشنهاد می‌گردد.</p>
<p>استناد: مظفری، مرتضی، حسینی، زینب، فیجانی، الهام. (۱۴۰۱). ارزیابی نقش خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی بر خشکیدن دریاچه‌های بختگان و طشک. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۱(۳۴): ۱۰۰-۷۹. DOI: 10.22111/jneh.2022.39448.1835</p> <p>ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان      © مرتضی مظفری*، زینب حسینی، الهام فیجانی.</p>	



## مقدمه

دریاچه‌های طبیعی اگرچه مساحت کمی از سطح زمین را دربر می‌گیرند (در حدود ۲/۸ درصد از مساحت سطح قاره‌ها)، اما در چرخه زیست‌بوم محلی و جهانی دارای اهمیت حیاتی هستند (می<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). خشکیدن دریاچه‌ها و تالاب‌ها در درازمدت خطرهای زیادی را برای زندگی انسان و سایر جانداران به همراه خواهد داشت. دریاچه‌ها دارای غنای زیستی مهمی هستند و با فراهم کردن آب و توان زادآوری اولیه نقش مهمی در بقای گونه‌های جانوری و گیاهی وابسته به خود (بویژه آبزیان، دوزیستان و پرندگان آبی و کنارآبی) بازی می‌کنند. علاوه بر این، دریاچه‌ها با مقاومت در برابر طوفان و کاهش تخریب سیل، دلپذیر نمودن هوا، نگهداشت خطوط ساحلی و مهار فرسایش، پالایش طبیعی آب و در مواردی تامین آب برای سفره‌های آب‌زیرزمینی و فراهم نمودن آب شرب ساکنین پیرامون خود برای انسان سودمند هستند. در دهه‌های گذشته برخی از دریاچه‌های جهان با بحران کم آبی و یا خشکی روبرو شده‌اند که این پدیده مشکلات اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی را به همراه داشته است. پدیده خشک شدن دریاچه‌ها در جهان توسط برخی پژوهشگرها انجام شده است که در اینجا به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. اسل<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۴) در بررسی عوامل هیدرواقليمی موثر بر افت سطح آب دریاچه‌های بزرگ لورازین<sup>۳</sup> (کانادا) از افزایش دما و در نتیجه افزایش تبخیر به عنوان عامل اصلی پایین رفتن سطح آب این دریاچه‌ها یاد نمودند. لیو و همکاران (۲۰۰۶) در پژوهشی به بررسی دلایل خشک شدن دریاچه بایانگدیان<sup>۴</sup> در کشور چین پرداختند و ثابت نمودند که بیشترین ضریب همبستگی بین سطح آب دریاچه با بارش و بعد از آن با جریان ورودی به دریاچه برقرار است. آلمایهو و همکاران (۲۰۰۷) از سدسازی، جنگل‌زدایی، تسطیح زمین برای ایجاد زمین‌های کشاورزی، افزایش نرخ تبخیر، پمپاژ زیاد آب دریاچه در نتیجه افزایش تقاضای آب در بخش خانگی، صنعت و کشاورزی و برداشت بیش از حد آب‌زیرزمینی را از جمله مهمترین عوامل موثر بر خشک شدن دریاچه‌های هارومایا<sup>۵</sup> و آدله<sup>۶</sup> در کشور اتیوپی دانستند. ژانگ<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده<sup>۸</sup>، تابع متعامد تجربی<sup>۹</sup> و شاخص رواناب استاندارد شده<sup>۱۰</sup>، خشکسالی را در مقیاس زمانی و مکانی حوضه دریاچه پویانگ<sup>۱۱</sup> در چین بررسی کردند. نتایج نشان می‌داد که بروز خشکسالی همراه با آبیگری سد تری‌گرجس<sup>۱۲</sup> تاثیر نامطلوب بر حجم دریاچه پویانگ گذاشته و باعث کاهش حجم آن شده است. سینگ<sup>۱۳</sup> و همکاران (۲۰۱۹) ساخت سدها را به عنوان مهم‌ترین عوامل اصلی خشک شدن دریاچه سوخنا<sup>۱۴</sup> (در شمال هند) دانسته‌اند. ژانگ<sup>۱۵</sup> و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی نشان دادند که خشک شدن دریاچه ابینور<sup>۱۶</sup> (در کشور چین) با افزایش زمین‌های زراعی و کاهش آورد رودخانه (به دلیل خشکسالی)

<sup>1</sup> Mei

<sup>2</sup> Assel

<sup>3</sup> Laurentian lake

<sup>4</sup> Baiyangdian

<sup>5</sup> Haromaya

<sup>6</sup> Adele

<sup>7</sup> Zhang

<sup>8</sup> Standardized precipitation Index

<sup>9</sup> Empirical Orthogonal Function

<sup>10</sup> Standardized Runoff Index

<sup>11</sup> Poyang

<sup>12</sup> Three Gorges Dam

<sup>13</sup> Singh

<sup>14</sup> Sukhna

<sup>15</sup> Zhang

<sup>16</sup> Ebinur

همبستگی زیادی دارد. در بیشتر پژوهش‌های انجام شده، از فعالیت‌های انسانی و تغییرات اقلیمی و به عنوان دو عامل اصلی کاهش سطح آب دریاچه‌ها یا خشکیدن آن‌ها یاد شده است. به طور کلی، رشد جمعیت، افزایش برداشت از آب‌های سطحی و زیرزمینی در نتیجه گسترش کشاورزی و صنعت، سدسازی، تغییر کاربری زمین، افزایش فرسایش خاک و زیاد شدن بار رسوبی وارد شده به دریاچه، از مهمترین عوامل انسانی (آلمایه<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۷؛ داوراز<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۹؛ خزائی و همکاران ۲۰۱۹)، و افزایش دما و کاهش بارش به عنوان مهمترین عوامل اقلیمی (لیو<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۶؛ ام تیلاتیل<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۰) موثر بر افت سطح آب دریاچه‌ها می‌باشد.

دریاچه‌های بختگان و طشک به عنوان دومین دریاچه ایران از نظر بزرگی، درون منطقه حفاظت شده پارک ملی بختگان در استان فارس واقع شده‌اند (شکل ۱) و نقش بسیار مهمی بر محیط زیست حوضه و بقای تنوع ژنتیکی و اکولوژیکی منطقه ایفا می‌کنند. به صورت کلی در محدوده پارک ملی بختگان ۴۶ گونه از پستانداران، ۲۱۸ گونه از پرندگان، ۳۶ گونه خزنده و ۲۳ گونه از ماهی‌ها شناسایی شده است. دریاچه‌های بختگان و طشک در فهرست کنوانسیون‌های رامسر (در سال ۱۳۵۴) و مونتروی آن قرار گرفته‌اند. کشور میزبان تالاب‌های فهرست مونترو باید برای حل مشکلات و ارتقای شاخص‌های این تالاب‌ها و رساندن وضعیت آن‌ها به حالت مطلوب کوشش کند (ساجدی پور و همکاران، ۲۰۱۷).



شکل ۱: موقعیت دریاچه‌های بختگان و طشک در ایران

دریاچه‌های بختگان و طشک از سال ۱۳۸۷ با بحران کم آبی و خشکی روبرو شده‌اند. این پدیده سبب به هم خوردن زیست بوم منطقه و بروز کاستی‌های اجتماعی، بهداشتی و محیط زیستی شده است. با آغاز خشک شدن این دریاچه‌ها، بیشتر گونه‌های آبی و دوزیست منطقه از بین رفته و گونه‌هایی که در جنگل‌های اطراف دریاچه زندگی

<sup>1</sup> Alemayehu

<sup>2</sup> Davraz

<sup>3</sup> Liu

<sup>4</sup> Mtilatila

می‌کرده‌اند نیز به دلیل پخش نمک و شن‌های سطح دریاچه خشک شده، در جنگل‌های اطراف، رو به نابودی هستند (ساجدی‌پور و همکاران، ۲۰۱۷). نابودی زمین‌های کشاورزی در نتیجه پدید آمدن ریزگرد و طوفان شن و نمک، در معرض خطر قرار گرفتن سلامتی افراد بومی مانند شیوع برخی بیماری‌های پوستی یا تنفسی، شور شدن آب‌چاه‌های اطراف دریاچه از دیگر اثرهای خشک شدن این دریاچه‌ها بوده است (رفیعی و همکاران، ۱۳۹۰). در ارتباط با خشکیدن دریاچه بختگان و طشک، پژوهش‌ها بر روی محاسبه تغییرات تراز آب در گذر زمان (هاشمی تنگستانی و بیرانوند، ۱۳۸۹؛ المدرسی و همکاران، ۲۰۱۴؛ ارسنجانی و همکاران، ۲۰۱۵؛ اسکندری و همکاران، ۲۰۱۶)، تعیین علل خشک شدن (کیانی و همکاران، ۲۰۱۷؛ لرستانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ باقری و همکاران، ۱۳۹۵؛ حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶) و همچنین مشکلات زیست محیطی ایجاد شده در اثر خشکیدن این دریاچه‌ها (تیموری و همکاران، ۱۳۹۰؛ ساجدی‌پور و همکاران، ۲۰۱۷) را شامل می‌شود. در نبود داده‌های اندازه‌گیری شده از سطح و یا حجم دریاچه بختگان، برخی پژوهشگرها با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور برای برآورد تغییرات وسعت پهنه آبی آن در گذر زمان کوشیده‌اند. باقری و همکاران (۱۳۹۵) از شش تصویر ماهواره‌ای، ارسنجانی و همکاران (۲۰۱۶) از ۱۲ تصویر ماهواره‌ای و لرستانی و همکاران (۱۳۹۶) تنها از تصویرهای آذرماه یک بازه ۳۳ ساله برای تعیین تغییرات مساحت دریاچه استفاده کرده‌اند. در ارتباط با دلایل خشکیدن دریاچه‌های بختگان و طشک، کیانی و همکاران (۲۰۱۷) تغییرات و تاثیر داده‌های مربوط به شش پارامتر بارش، دما، تبخیر، ساعات آفتابی، روزهای برفی و رطوبت نسبی را در دوره‌ی زمانی ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۹ بر دو دریاچه ذکر شده مورد بررسی قرار دادند و روند تغییر متغیرهای اقلیمی را توسط آزمون من-کندال تهیه نمودند. در ادامه و با محاسبه شاخص بارش استاندارد شده، دو دوره‌ی خشکسالی در سال‌های ۱۳۷۱-۱۳۸۲ و ۱۳۸۵-۱۳۹۰ شناسایی شد که رکورد خشکسالی مربوط به سال ۱۳۸۷ بوده است. نتایج این تحقیق خشکیدن دریاچه‌ها را ناشی از کاهش بارش، افزایش تبخیر، افزایش دما، ساخت و آبریزی سدها دانسته است. لرستانی و همکاران (۱۳۹۶) آبدهی رود کر، تبخیر، بارش (در چهار ایستگاه شاخص حوضه آبریز) و دما و مساحت دریاچه را بررسی کردند که در نتیجه آن مشخص شد روند کاهش دبی رود کر از سال ۱۳۸۶ و روند خشک شدن دریاچه از سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ آغاز شده و در نهایت در سال ۱۳۷۸ به کمترین مقدار (نزدیک به صفر) رسیده است. همچنین روند نزولی بارش از سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ شروع شده و یک دوره خشکسالی تا سال ۱۳۹۲ را نشان می‌دهد، اما دما و تبخیر تغییر چشم‌گیری نداشته است. این پژوهشگران، همخوانی زمان ساخت و بهره‌برداری سد ملاصدرا در سال ۱۳۸۶ و تخصیص بخش قابل ملاحظه آب سد سیوند به مصرف کشاورزی، با شروع روند خشک شدن دریاچه، بهره‌برداری از این سدها را عامل موثر وضعیت کنونی می‌دانند. در مطالعه‌ای که توسط حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) انجام شده است، داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری، ایستگاه‌های بارانسنجی و تبخیر حوضه آبریز را در بخش‌های مختلف بالادست و پایین‌دست سدهای ملاصدرا، درودزن و سیوند مورد بررسی قرار داده‌اند. برخلاف موارد بررسی شده قبلی این پژوهش نشان می‌دهد که تغییرات بارش جزئی بوده و تاثیر چندانی در خشک شدن دریاچه نداشته است ولی دبی سالانه در بالادست سد ملاصدرا و درودزن دارای روند افزایشی و در پایین‌دست این سدها فاقد روند معنی‌داری بوده است. همچنین پس از پیوستن رود سیوند به کر در محل ورود به دریاچه دبی روند کاهشی دارد. بنابراین عامل اصلی، جلوگیری از ورود آب روخانه کر-سیوند توسط سدها و شبکه‌های آبیاری و زهکشی است. باقری و همکاران (۱۳۹۵) با کمک تصویرهای ماهواره لندست و داده‌های

دبی و بارندگی در حوضه دریاچه بختگان و رود کر به تحلیل تغییرات مساحت دریاچه بختگان تحت تاثیر عوامل طبیعی و انسانی پرداختند. این پژوهشگران با استفاده از نرم‌افزار دیپ<sup>۱</sup> و شاخص بارش استاندارد شده از سال ۱۳۵۵ تا ۱۳۹۳ دوره‌های ترسالی و خشکسالی را مشخص کرده و از تصویرهای مناسب در دوره‌های مختلف برای پردازش و تهیه نقشه‌های کاربری زمین استفاده نمودند. نتایج نشان می‌داد که بین سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۳۷۸ روند تغییرات دبی و بارندگی با یکدیگر مطابقت دارد. در نتیجه در این مقطع زمانی یکی از علت‌های اصلی خشک شدن دریاچه تداوم در کاهش بارندگی است. همچنین تغییرات سطح زمین‌های زیر کشت آبی و میزان آب مصرفی در سال‌های ۱۳۵۵-۱۳۸۵ در این حوضه مورد بررسی قرار گرفت. افزایش سطح زیر کشت در نواحی بالادست باعث افزایش برداشت از منابع آبی شده و همچنین در پایین‌دست حوضه توسعه سطوح زیر کشت با کاهش شدید آب‌زیمینی (به دلیل کمبود منابع آب سطحی) همراه بوده است.

در پژوهش پیش رو تلاش شده تا نقش خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی بر خشکیدن دریاچه‌های بختگان و طشک مورد ارزیابی قرار گیرد. این پژوهش نسبت به سایر مطالعه‌های پیشین دارای تفاوت‌هایی است که در اینجا به مهمترین آنها اشاره می‌شود. همانطور که در بخش‌های قبلی اشاره شد، در مطالعه‌های پیشین بیشترین داده مربوط به مساحت دریاچه بختگان از واکاوی ۳۳ تصویر ماهواره‌ای به بدست آمده است. بدیهی است که داده بدست آمده از واکاوی تعداد اندکی تصویر سبب افزایش خطای مطالعه می‌شود. در مطالعه پیش رو تلاش شده تا مساحت دریاچه‌ها با استفاده از واکاوی ۴۶ تصویر ماهواره‌ای فروردین‌ماه مربوط به بازه زمانی بین سال‌های ۱۳۵۲ تا ۱۳۹۹ تعیین شود. افزایش تعداد داده‌ها بهبود ارزیابی و افزایش اعتبار نتیجه‌های پژوهش را به همراه خواهد داشت. از سوی دیگر، مطالعه‌های مربوط به تاثیر تغییر اقلیم در منطقه داده‌های تا سال ۱۳۹۳ را پوشش می‌دهد و از داده‌های سال‌های اخیر استفاده چندانی نشده است. در این پژوهش تلاش شده تا با استفاده از داده‌های جدیدتر و در یک بازه طولانی‌تر تاثیر خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی بر روی خشک شدن دریاچه بختگان سنجیده شود. استفاده از شاخص خشکسالی هواشناسی و آبشناسی نیز از دیگر مزیت‌های پژوهش پیش رو می‌باشد.

## داده‌ها و روش پژوهش

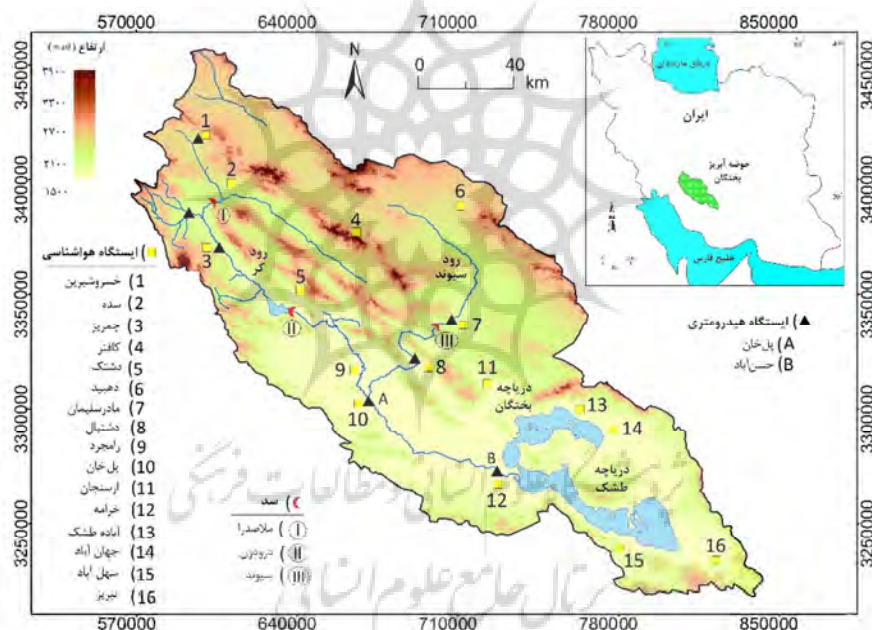
### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در حوضه آبریز بختگان و طشک (شکل ۲) در بخش مرکزی استان فارس قرار دارد. رود اصلی و دائمی حوضه آبریز دریاچه طشک - بختگان رود کر می‌باشد که از ارتفاعات محدوده‌های مطالعاتی خسرو شیرین و اسپاس سرچشمه گرفته، در ادامه مسیر خود از محدوده مطالعاتی دزکرد - کامفیروز گذر کرده و سرانجام در انتهای مسیر از دشت مرودشت - کربال گذشته و به دریاچه بختگان می‌ریزد. رود سیوند مهم‌ترین رودخانه فرعی رود کر است که از بلندی‌های شمال غربی حوضه آغاز شده، در ادامه آب آبراهه‌ها و رودهای کال مشکان، ده بید، دیدگان و گله دار را دریافت می‌کند و پس از عبور از دشت‌های قادرآباد و سعادت آباد سرانجام در محل پل‌خان به رودخانه کر می‌ریزد. ارتفاع متوسط حوضه آبریز کر و سیوند به ترتیب ۲۱۲۰ و ۲۲۲۰ متر بوده، کمترین ارتفاع حوضه ۱۵۲۰

<sup>۱</sup> DIP

متر و در دریاچه طشک - بختگان می‌باشد. سدهای مخزنی ملاصدرا و درودزن بر روی رود کر و سد سیوند بر روی رود سیوند احداث شده است.

اقلیم حوضه آبریز بختگان از نوع خشک تا نیمه خشک سرد و در برخی ایستگاه‌های واقع در بخش شمال غرب نیمه مرطوب سرد است. در این منطقه فصل تر از مهرماه شروع شده و تا اردیبهشت ادامه دارد و فصل خشک نیز بازه زمانی از اردیبهشت تا شهریور را در برمی‌گیرد. بیشترین میزان بارش در فصل زمستان (به ویژه در ماه‌های دی و بهمن) و کمترین مقدار آن در فصل تابستان رخ می‌دهد. بر اساس داده‌های هواشناسی از سال ۱۳۵۲ تا ۱۳۹۹، درجه حرارت متوسط سالانه از ۲۰ درجه سانتی‌گراد در بلندی‌های شمال غربی و شمال شرقی تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد در مناطق مرکزی حوضه و اطراف شیراز متغیر است. مقادیر تبخیر سالانه همچون دما و بارش از تغییرات بلندی پیروی کرده، به گونه‌ای که تبخیر سالیانه از ۱۰۰۰ میلی‌متر در بلندی‌های شمال غربی به ۲۹۰۰ میلی‌متر در دشت‌ها و نواحی مرکزی و شرقی می‌رسد (حسینی، ۱۴۰۰).



شکل ۲: موقعیت محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز بختگان

### سنجش از دور

یکی از موارد مهم در پایش دریاچه‌ها، تعیین تغییرات مساحت آبی آنها است. علاوه بر ابزارهای هیدرومتری، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سنجش از دور در تعیین مساحت دریاچه‌ها بسیار رایج است. بررسی پژوهش‌های انجام شده بر روی خشک شدن دریاچه‌ها نشانگر استفاده فراوان از تصاویر ماهواره‌ای برای تخمین تغییرات تراز آب دریاچه‌ها با گذر زمان است. برای نمونه، با پردازش تصویرهای ماهواره‌ای و محاسبه شاخص تفاضلی بهنجار شده آب<sup>۱</sup>، مساحت

<sup>1</sup> Normalized water index

دریاچه‌های حوضه گنگها<sup>۱</sup> در شمال شرقی فلات تبت (وو<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۶)، دریاچه بوردور<sup>۳</sup> در ترکیه (داوراز و همکاران، ۲۰۱۹)، دریاچه ابینور<sup>۴</sup> در کشور چین (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۰) و دریاچه دریاچه توز<sup>۵</sup> در ترکیه (آیدین<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۲۰) محاسبه گردیده تا روند تغییرات آن در گذر زمان مشخص گردیده است. این شاخص اولین بار توسط مک‌فیتز<sup>۷</sup> (۱۹۹۶) با هدف بررسی وسعت آب‌های سطحی ارائه شده است (رابطه شماره ۱).

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR} \quad (1)$$

در این رابطه، NDWI شاخص تفاضلی بهنجار شده آب، GREEN باند سبز و NIR باند مادون قرمز است. این شاخص می‌تواند دارای مقادیری بین +۱ تا -۱ باشد. سطوح آبی دارای مقادیر شاخص صفر تا یک است؛ در حالی که به دلیل انعکاس بالای باند مادون قرمز نسبت به نور سبز در خاک و گیاهان، این شاخص برای آنها دارای مقادیر صفر یا منفی است.

با توجه به نبود داده‌های مربوط به حجم و یا وسعت دریاچه‌های بختگان و طشک، در این پژوهش نیز از شاخص تفاضلی بهنجار شده آب برای تعیین تغییرات سطح آب دریاچه‌ها استفاده شد. به این منظور، تعداد ۴۶ تصویر ماهواره لندست<sup>۸</sup> از درگاه سازمان زمین‌شناسی امریکا<sup>۹</sup> برگرفته شد. این تصاویر مربوط به ماه فروردین هر سال و با کمترین میزان پوشش ابر بوده‌اند (شکل ۳ الف). انتخاب فروردین ماه جهت تعیین مساحت دریاچه‌ها به این دلیل بود که به طور طبیعی در طول سال بیشترین مساحت دریاچه مربوط به ماه‌های فروردین و اردیبهشت و کمترین آن مربوط به ماه‌های شهریور و مهر می‌باشد. بنابراین کم آبی و یا خشکی دریاچه‌ها در انتهای فصل خشک ممکن است پدیده‌ای طبیعی به نظر برسد اما رخ دادن این پدیده در فصل تر نمود بهتری از تاثیر خشکسالی و یا عوامل انسانی را به دست می‌دهد. از سوی دیگر، با توجه به اینکه بیشترین مقدار آورد رودهای کر و سیوند در فروردین ماه می‌باشد و دبی آنها در انتهای فصل خشک ناچیز و نزدیک به صفر است، تجزیه و تحلیل کمی داده‌های آبشناسی مربوط به در فصل تر کیفیت بهتری برخوردار است. پس از اجرای شاخص تفاضلی بهنجار شده آب بر روی هر یک از تصویرهای ماهواره‌ای، با استفاده از آستانه<sup>۱۰</sup> ارزش طیفی، مقادیر صفر و منفی حذف شدند و تنها مقادیر بزرگتر از صفر انتخاب گردیدند تا پوشش آبی دریاچه‌ها مشخص شود (شکل ۳ ب). در ادامه برای دریاچه حد آستانه مناسب اعمال گردید (شکل ۳ ج) و سپس با تبدیل مرز دریاچه‌ها به شکل وکتوری<sup>۱۱</sup>، ویرایش‌های بعدی و تخمین مساحت دریاچه‌ها انجام شد (شکل ۳ د). شایان ذکر است که در مراحل مختلف پیش پردازش تا استخراج داده‌ها از نرم‌افزارهای آرک-جی-آی-اس<sup>۱۲</sup> و ان-وی<sup>۱</sup> استفاده شد. برای افزایش دقت نقشه‌ها و بهبود کیفیت داده‌ها، بر روی تصویرهای

<sup>1</sup> Gonghe

<sup>2</sup> Wu

<sup>3</sup> Burdur

<sup>4</sup> Ebinur

<sup>5</sup> Tuz

<sup>6</sup> Aydin

<sup>7</sup> McFeeters

<sup>8</sup> LANSAT

<sup>9</sup> www.earthexplorer.usgs.org

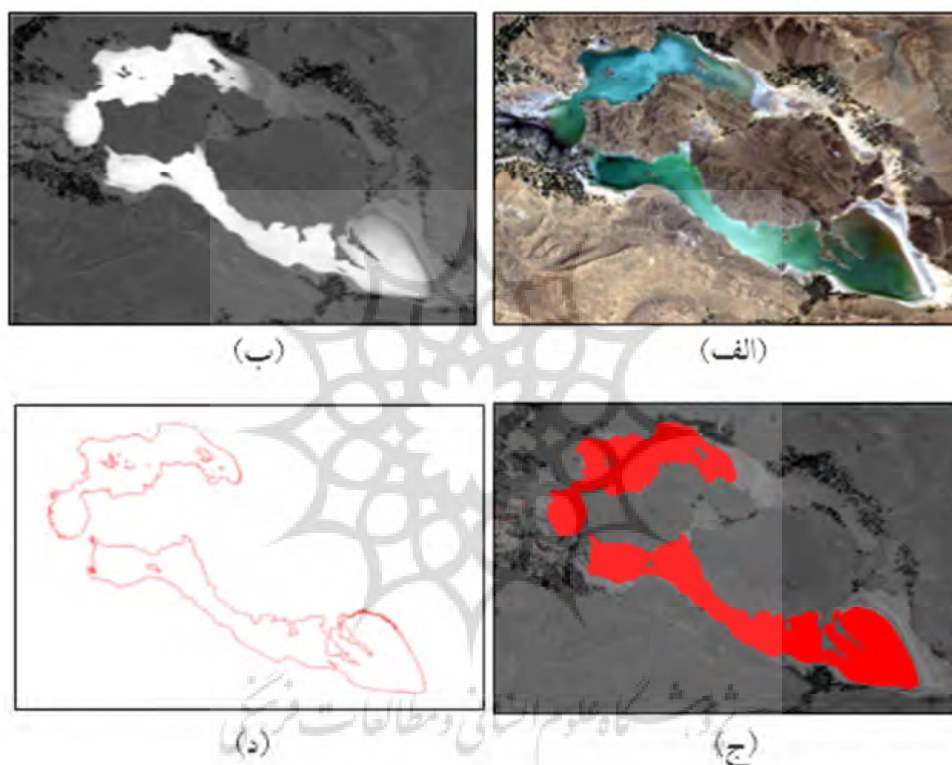
<sup>10</sup> Threshold

<sup>11</sup> Vector

<sup>12</sup> Arc-GIS



ماهواره‌ای یک سری پیش پردازش بر اساس روش ارائه شده توسط شاهاروم<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۸) اعمال شد. به این ترتیب که برای حذف خطاهای رادیومتریک و هندسی بهسازی رادیومتری و هندسی صورت گرفت و علاوه بر حذف نویز، برش محدوده مطالعاتی و موزائیک کردن تصویرهای نیز در مراحل قبل از دسته‌بندی و برگیری داده انجام گردید. در پایان میزان دقت نقشه‌ها با مقایسه نتایج با برخی داده‌های موجود بررسی شد.



شکل ۳: نحوه محاسبه مساحت دریاچه به وسیله شاخص تفاضلی بهنجار شده آب: (الف) تصویر ماهواره‌ای دریاچه‌ها در فروردین ۱۳۷۰، (ب) تصویر شاخص تفاضلی بهنجار شده آب، (ج) اعمال حد آستانه مناسب، و (د) مرز دریاچه در نرم افزار آرک-جی-آی-اس

### داده‌های هواشناسی و آبشناسی

مهمترین داده‌های اقلیمی استفاده شده در این پژوهش مقدار دما و بارش اندازه‌گیری شده در ۲۱ ایستگاه باران سنجی می‌باشد که از کتابخانه سازمان آب منطقه‌ای فارس تهیه شد. موقعیت این ایستگاه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است. در بین ایستگاه‌های برگزیده، طولانی‌ترین بازه زمانی اندازه‌گیری از سال ۱۳۴۳ تا ۱۳۹۷ و در ایستگاه‌های خرامه، پل خان و مهرآباد رامجرد بوده است. کوتاه‌ترین بازه مربوط به ایستگاه خسروشیرین است که اندازه‌گیری سال-

<sup>1</sup> ENVI

<sup>2</sup> Shahrarum

های ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۷ را شامل می‌شود. به دلیل کمبود اندازه‌گیری دما در بیشتر ایستگاه‌های حوضه، برای بررسی تغییرات دمایی در حوضه از داده‌های چهار ایستگاه هواشناسی شیراز، ارسنجان، تخت جمشید و استهبان استفاده شد که از کتابخانه سازمان آب منطقه‌ای فارس تهیه شد. در بین ایستگاه‌ها، شهر شیراز دارای کامل‌ترین و طولانی‌ترین داده‌ها (از سال ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۹) است. مهم‌ترین داده آبشناسی استفاده شده در این پژوهش، دبی اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری خسروشیرین (واقع در ۲۵ کیلومتری بالادست سد ملاصدرا)، پل خان (واقع در ۵۵ کیلومتری پایین دست درودزن و ۷۵ کیلومتری بالادست دریاچه بختگان) و حسن‌آباد خرامه (واقع در ۱۰ کیلومتری بالادست دریاچه بختگان) استفاده شد. بازه زمانی اندازه‌گیری دبی در ایستگاه‌های خسروشیرین و پل خان از سال ۱۳۵۲ تا ۱۳۹۶ و در ایستگاه حسن‌آباد خرامه از سال ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۶ می‌باشد که در این پژوهش از داده‌های این بازه‌ها استفاده شد. شایان ذکر است که یکی از شرایط مهم و اساسی برای تحلیل داده‌های هواشناسی و آبشناسی، برقراری پیش فرض نرمال بودن و یکسانی پراکندگی داده‌هاست. داده‌های استفاده شده در این پژوهش با ترسیم نمودارهای احتمال نرمال و هیستوگرام توسط حسینی (۱۴۰۰) مورد ارزیابی قرار گرفته و نرمال بودن توزیع آنها تایید شده است. همچنین با توجه به صحت قابل قبول داده‌ها، بازسازی خاصی بر روی آنها انجام نشده است.

#### خشکسالی و شاخص‌های بارش و رواناب استاندارد شده

خشکسالی را در چهار گروه هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیک و اجتماعی - اقتصادی دسته‌بندی می‌کنند (ویل‌هایت<sup>۱</sup>، ۱۹۸۵). خشکسالی هواشناسی به معنی کمتر بودن بارش از یک حد مشخص در طول یک دوره زمانی است (مک‌کی<sup>۲</sup>، ۱۹۷۳). در سال‌های اخیر شاخص‌های گوناگونی برای کمی‌سازی ویژگی‌های خشکسالی هواشناسی معرفی شده است که یکی از معمول‌ترین آن شاخص بارش استاندارد شده<sup>۳</sup> است. این شاخص توسط مک‌کی (۱۹۷۳) برای کمی‌سازی کمبود بارش در سری‌های زمانی طراحی و معرفی شد و بر اساس رابطه شماره ۲ محاسبه می‌شود.

$$SPI = \frac{x_i - x_{mean}}{\sigma} \quad (2)$$

در این رابطه  $x_i$  مقدار بارش ماهانه،  $x_{mean}$  مقدار میانگین بارش و  $\sigma$  انحراف معیار داده‌های بارش است. برای برآورد شاخص، نخست همه داده‌های بلند مدت سری بارش بر یک تابع توزیع احتمال مناسب مانند گاما برازش داده و سپس تابع توزیع تجمعی به تابع توزیع هنجار با احتمال مساوی تبدیل می‌شود. در نهایت داده‌ها به یک توزیع هنجار استاندارد با میانگین صفر و انحراف معیار یک منتقل شده و مقدار شاخص بارش استاندارد شده در هر ماه با استفاده از رابطه ۱-۸ به دست می‌آید (مک‌کی، ۱۹۷۳؛ امیرعطایی و منتظری، ۲۰۱۶). یک خشکسالی زمانی اتفاق می‌افتد که مقدار شاخص بارش استاندارد شده به طور متوالی منفی است و زمانی پایان می‌یابد که مقدار این شاخص مثبت

<sup>1</sup> Wilhite

<sup>2</sup> Mc-Kee

<sup>3</sup> SPI (Standardized precipitation Index)

می‌شود (لی و همکاران، ۲۰۱۹). طبقه‌بندی خشکسالی بر اساس مقادیر شاخص بارش استاندارد شده در جدول ۱ ارائه شده است. بر این اساس می‌توان گفت که مقدار شاخص بارش استاندارد شده برای وقوع خشکسالی ۱- یا کمتر از آن است.

جدول ۱: طبقه‌بندی خشکسالی و ترسالی بر اساس شاخص بارش استاندارد شده (مکی و همکاران، ۱۹۹۳)

مقدار شاخص بارش استاندارد شده	وضعیت خشکسالی یا ترسالی
$\geq 2$	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط
۰ تا ۰/۹۹	ترسالی ملایم یا نزدیک به هنجار
۰ تا -۰/۹۹	خشکسالی ملایم یا نزدیک به هنجار
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید
$\leq -2$	خشکسالی بسیار شدید

از تغییرات شاخص بارش استاندارد شده برای بررسی خشکسالی کوتاه تا بلندمدت استفاده می‌شود. این شاخص را می‌توان در بازه‌های زمانی مختلف از ۱ تا ۴۸ ماه محاسبه کرد (اسپینونی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۴). در برآورد شاخص بارش استاندارد شده تنها از متغیر بارش برای بررسی خشکسالی هواشناسی استفاده شده است که این امر استفاده از این شاخص را نسبت به دیگر شاخص‌های خشکسالی آسان‌تر می‌کند. در پژوهش‌های گوناگون از این شاخص برای بررسی خشکسالی هواشناسی در نقاط مختلف جهان استفاده شده است (لیوآدا<sup>۲</sup> و آسیموکوپولوس<sup>۳</sup>، ۲۰۰۶؛ کوآک<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۶؛ امیرعطایی و منتظری، ۲۰۱۷؛ مارینی<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۸؛ لی<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۹؛ ام-تیلاتیل، ۲۰۲۰). همچنین استفاده از این شاخص برای بررسی خشکسالی توسط سازمان هواشناسی جهانی<sup>۷</sup> (۲۰۱۲) نیز پیشنهاد شده است.

خشکسالی آبشناسی به معنی کمتر بودن آورد رودخانه و یا رواناب از یک حد مشخص در طول یک دوره زمانی است. شاخص رواناب استاندارد شده<sup>۸</sup> همانند شاخص بارش استاندارد شده محاسبه می‌شود، با این تفاوت که به جای بارش در رابطه ۱، از سری زمانی دبی رودخانه با هدف بررسی خشکسالی آبشناسی استفاده می‌گردد (شوکل<sup>۹</sup> و وود<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۸).

در پژوهش پیش رو از شاخص‌های بارش و رواناب استاندارد شده دوازده ماهه استفاده شد تا اثر خشکسالی اقلیمی و آبشناسی بر تغییرات مساحت دریاچه‌های بختگان و طشک بررسی شود. به این منظور داده‌های ۲۱ ایستگاه

<sup>1</sup> Spinoni

<sup>2</sup> Livada

<sup>3</sup> Assimakopoulos

<sup>4</sup> Kwak

<sup>5</sup> Marini

<sup>6</sup> Li

<sup>7</sup> World Meteorological Organization (WMO)

<sup>8</sup> SRI (Standardized Runoff Index)

<sup>9</sup> Shukla

<sup>10</sup> Wood

هواشناسی و همچنین ۲ ایستگاه هیدرومتری حوضه استفاده شد و به کمک نرم افزار درینک<sup>۱</sup> شاخص‌های یاد شده محاسبه گردید. از آنجایی که طبق گفته مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) بهتر است تعداد داده‌های بارش، مربوط به سی سال پیاپی باشد، کوشش شده تا ایستگاه‌های با دوره آماری طولانی‌تر و پراکندگی مکانی مناسب در سطح حوضه انتخاب شود.

### ضریب همبستگی و تعیین روند

در این پژوهش به منظور تعیین رابطه بین برخی متغیرها از ضریب همبستگی پیرسون<sup>۲</sup> استفاده شده است که روشی پارامتری است و برای داده‌هایی با توزیع نرمال یا تعداد داده‌های زیاد استفاده می‌شود. ضریب همبستگی پیرسون بین ۱- و ۱ تغییر می‌کند. مقدار مثبت نشانگر رابطه مستقیم، مقدار منفی نشانگر رابطه معکوس و مقدار صفر نشانگر عدم رابطه بین متغیرها است. هر چه ضریب همبستگی به ۱ یا ۱- نزدیکتر باشد، شدت رابطه خطی بین متغیرهای مستقل و وابسته شدیدتر است. در ارتباط با روند تغییرات هر متغیر در بازه زمانی مورد مطالعه، از روش رگرسیون خطی استفاده شده است.

### نتایج و بحث

#### تغییرات مساحت آب دریاچه‌ها

مساحت برآورد شده دریاچه‌های بختگان و طشک در سال‌های مورد سنجش در بازه مورد مطالعه در شکل ۴ نشان داده شده است. به ترتیب محدوده و همانطور که دیده می‌شود در سال ۱۳۸۴ دریاچه‌های بختگان و طشک، به ترتیب با مساحت ۵۱۳/۲۲ و ۳۸۸/۲۸ کیلومتر مربع، در حالت پر آبی بوده‌اند. از سال ۱۳۸۷ تراز آب این دریاچه‌ها روند کاهشی به خود گرفته و از سال ۱۳۹۱ به این سو افت شدیدی را تجربه کرده است.

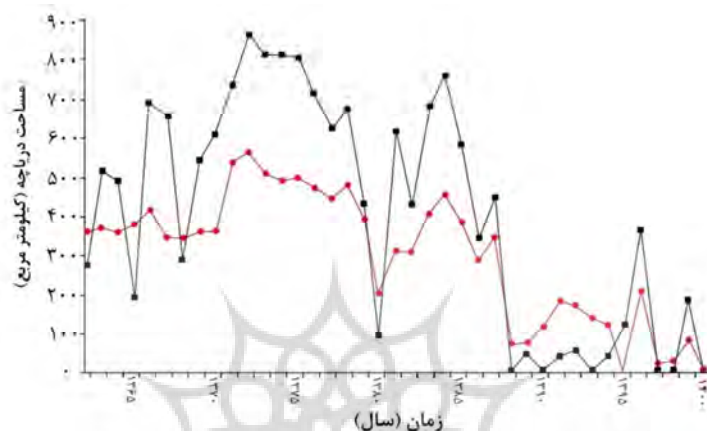
#### تغییرات دما در حوضه

به دلیل کمبود اندازه‌گیری دما در بیشتر ایستگاه‌های حوضه، برای بررسی تغییرات دمایی آن از داده‌های چهار ایستگاه هواشناسی شیراز، ارسنجان، تخت جمشید و استهبان استفاده شد. بررسی تغییرات ماهانه دمای متوسط نشان می‌دهد که ژانویه (دی) سردترین ماه سال با دمای متوسط بین ۱۰- تا ۵- درجه سانتی‌گراد است و جولای و آگوست (تیر و مرداد) با دمای ۳۲- تا ۲۶- درجه سانتی‌گراد یا بیشتر، گرم‌ترین ماه سال است. سری زمانی تغییرات متوسط دمای سالانه این ایستگاه‌ها در شکل ۵ نشان داده شده است. در بین ایستگاه‌ها، شهر شیراز دارای کامل‌ترین و طولانی‌ترین داده‌ها است (که از سال ۱۳۵۲ تا ۱۳۹۹ را در بر می‌گیرد). همانطور که مشاهده می‌شود برای کل دوره مورد مطالعه روند افزایشی دمای بلندمدت در داده‌های دمای ایستگاه‌های شیراز، تخت جمشید و ارسنجان وجود دارد. ایستگاه استهبان در مرز جنوب غربی حوضه قرار دارد و به دلیل قرار گرفتن در ارتفاعات روند گرم شدن

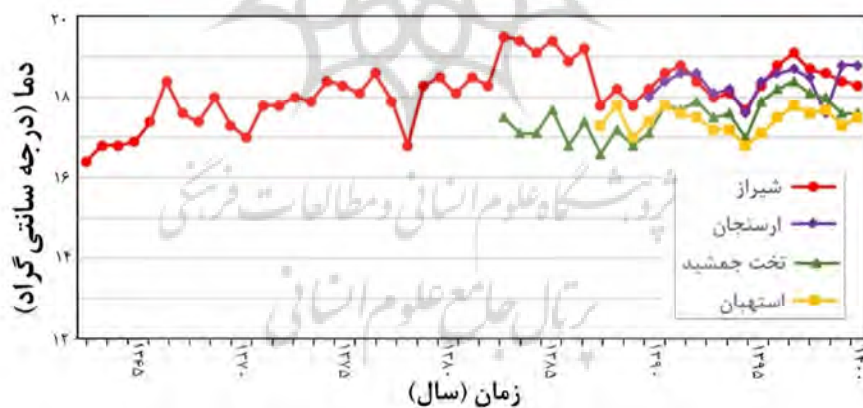
<sup>1</sup> Drinc

<sup>2</sup> Pearson Correlation Coefficient

محسوسی را نشان نمی‌دهد. داده‌های ایستگاه دشت شیراز از ۱/۹ درجه سانتی‌گراد افزایش دما در بازه ۴۸ ساله خبر می‌دهد. با توجه به هم ارتفاع بودن تقریبی ایستگاه شیراز با میانگین ارتفاع دشت‌های حوضه، شاید بتوان چنین گفت که دشت‌های حوضه از نظر اقلیمی در حال گرم شدن به میزان ۰/۴ درجه سانتی‌گراد در هر ده سال است.



شکل ۴: سری زمانی مساحت دریاچه‌های بختگان و طشک



شکل ۵: سری زمانی دمای میانگین سالانه شهرهای حوضه

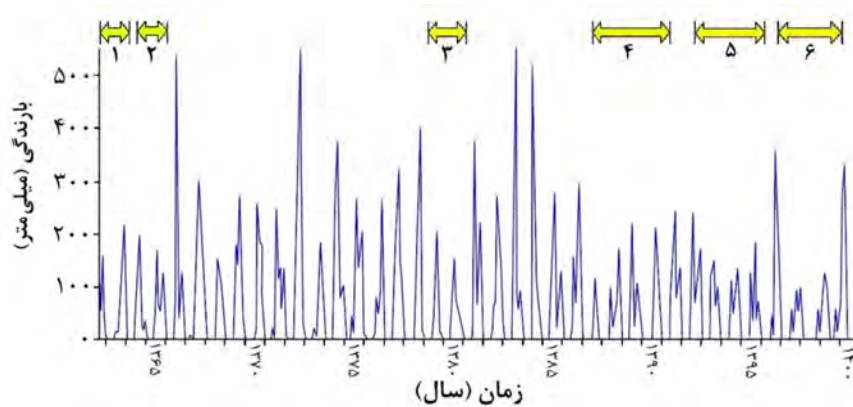
### تغییرات بارش و خشکسالی هواشناسی

میانگین بارش تجمعی سالانه به دست آمده از تمام ایستگاه‌های حوضه در طی دوره ۴۴ ساله (از سال ۱۳۵۳ تا سال ۱۳۹۹) در شکل ۶ نشان داده شده است. بر این اساس، میانگین بارش در حوضه حدود ۳۴۰ میلی‌متر در سال است. کمترین بارش ثبت شده در این دوره مربوط به سال ۲۰۱۰ به مقدار ۱۳۴/۷۴ میلی‌متر و بیشترین میزان بارش مربوط به سال ۲۰۰۴ و به میزان ۶۲۹/۴۶ میلی‌متر است. رگرسیون خطی نشانگر شیب منفی و روند کاهشی سری

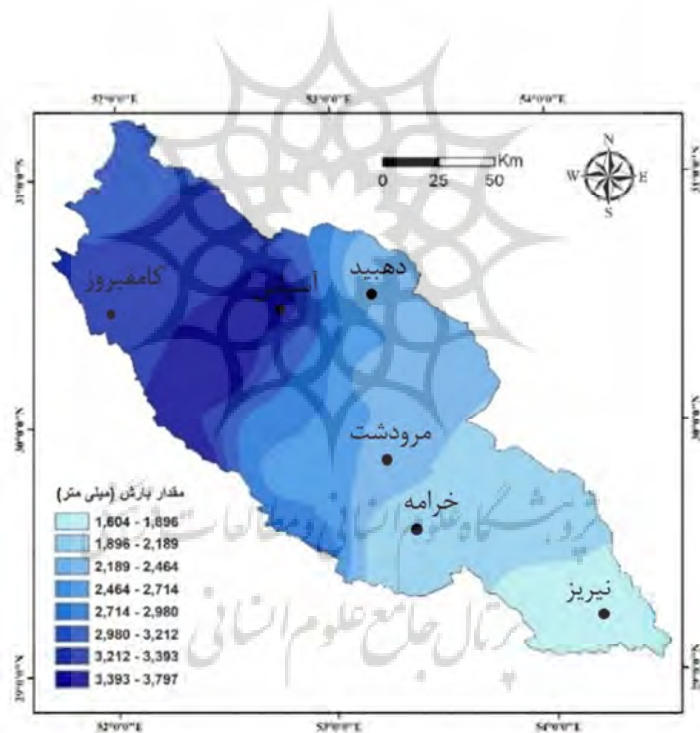
زمانی بارش از سال ۲۰۰۶ به این سو است. به طور کلی بارش سالانه در حوضه، روندی کاهشی معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد و به میزان ۶ تا ۱۸ میلی‌متر در سال را نشان می‌دهد که مقدار قابل توجهی است. با نگاه به داده‌های هر ایستگاه نیز شروع روند کاهشی از سال ۱۳۸۵ در بارش هر ایستگاه دیده می‌شود. در بین داده‌های بارش، ایستگاه‌های چمریز، دشتبال، خرامه، درودزن، مادرسلیمان و سده دارای روند کاهشی شدید است و تنها ایستگاه‌های دهبید، جهان آباد بختگان، آباده طشک و دوبنه روند کاهشی ملایم را نشان می‌دهند. نمودار پراگندگی بارش حوضه طی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۹ در شکل ۶۷ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بارش‌ها بیشتر تحت تغییرات ارتفاع بوده، به طوری که مناطق بلند شمال غربی حوضه دارای بیشترین میزان بارش بوده و با حرکت به سمت نواحی پست در جنوب شرق حوضه از مقدار آن کاسته می‌شود.

برای بررسی خشکسالی هواشناسی در حوضه، از شاخص بارش استاندارد شده دوازده ماهه برای بازه زمانی ۱۳۵۴ تا ۱۳۹۸ استفاده شده است. مقادیر شاخص محاسبه شده در قالب نمودار در شکل ۸ نشان داده شده است. در بازه مورد مطالعه، سال ۱۳۷۲ با بیشترین مقدار شاخص (بزرگتر از ۱/۵ برای همه ایستگاه‌ها)، پرباران ترین سال می‌باشد. در این بازه، مقدار شاخص در سال‌های ۱۳۵۶، ۱۳۶۳ تا ۱۳۶۷، ۱۳۶۸، ۱۳۷۳، ۱۳۷۶، ۱۳۷۹، ۱۳۸۰، ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۰ و ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵، و ۱۳۹۷ منفی است که نشانگر رخداد خشکسالی در این زمان‌ها در حوضه است. بر اساس سری زمانی میانگین بارش رخ داده در حوضه آبریز بختگان به کمک محاسبه شاخص بارش استاندارد، در بازه زمانی مورد مطالعه پژوهش، شش دوره خشکسالی هواشناسی در حوضه آبریز بختگان شناسایی شده که بازه زمانی هر یک از آنها در شکل ۵ نشان داده شده است. خشکسالی‌های رخ داده از سال ۱۳۶۲ تا ۱۳۸۶، دارای شدت کم و بیش یکسان بوده، بیشتر به صورت خشکسالی‌های ملایم (به استثنای سال ۱۳۷۹ با خشکسالی متوسط) با دوره یک یا دو ساله است. این خشکسالی‌ها با سال‌های دارای بارش‌های بیشتر از مقدار میانگین دنبال شده است. از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۹، دوره خشکسالی‌ها طولانی‌تر بوده است. طولانی‌ترین خشکسالی رخ داده در حوضه به مدت ۴۶ ماه و مربوط به سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۰ است. پس از این خشکسالی، برای دو سال (۱۳۹۱ و ۱۳۹۲) بارش بیشتر شده اما از سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ دوباره خشکسالی شدید رخ داده است. سال ۱۳۹۶ همراه با یک ترسالی بسیار ملایم همراه است و دوباره در سال ۱۳۹۷ خشکسالی آغاز شده است.

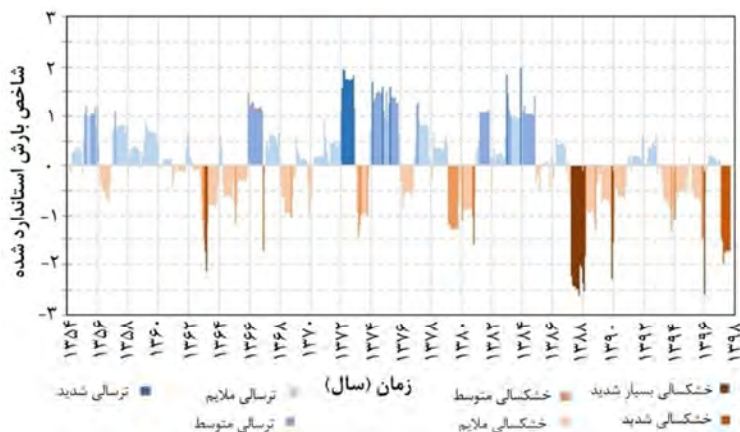
همانطور که اشاره شد شدیدترین خشکسالی حوضه در سال ۲۰۰۸ رخ داده است. بر اساس شاخص بارش استاندارد شده در ایستگاه‌های مختلف، پراکندگی مکانی شدت خشکسالی در این سال در شکل ۹ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود تمامی ایستگاه‌های هواشناسی خشکسالی شدید (شاخص کوچکتر از ۱/۵-) و و برخی نیز خیلی شدید (شاخص کوچکتر از ۲-) را نشان می‌دهند. از سوی دیگر، شدت خشکسالی در این سال در نواحی شرقی و مرکزی حوضه بیشتر بوده است. از سال ۱۳۸۷ به بعد هیچ یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه مقدار شاخص بیشتر از ۱/۵ را ثبت نکرده اند.



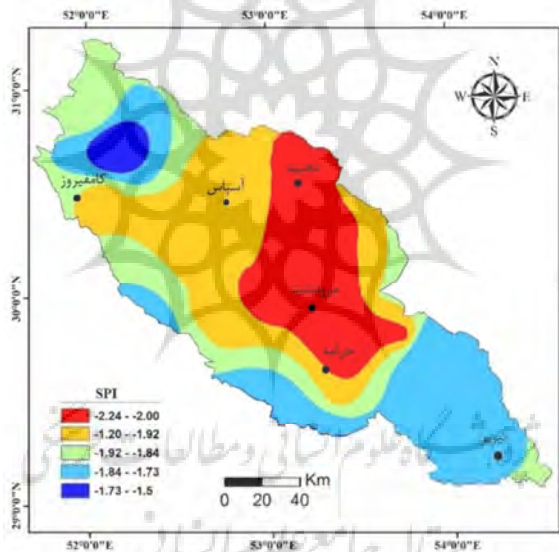
شکل ۶: سری زمانی میانگین بارش سالیانه در حوضه بختگان



شکل ۷: توزیع مکانی بارش تجمعی در حوضه طشک - بختگان در سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۹



شکل ۸: میانگین شاخص بارش استاندارد شده ۱۲ ماهه حوضه



شکل ۹: تغییرات مکانی شاخص بارش استاندارد شده در سال ۱۳۸۷ در حوضه

### تغییرات دبی رودخانه و خشکسالی آبشناسی

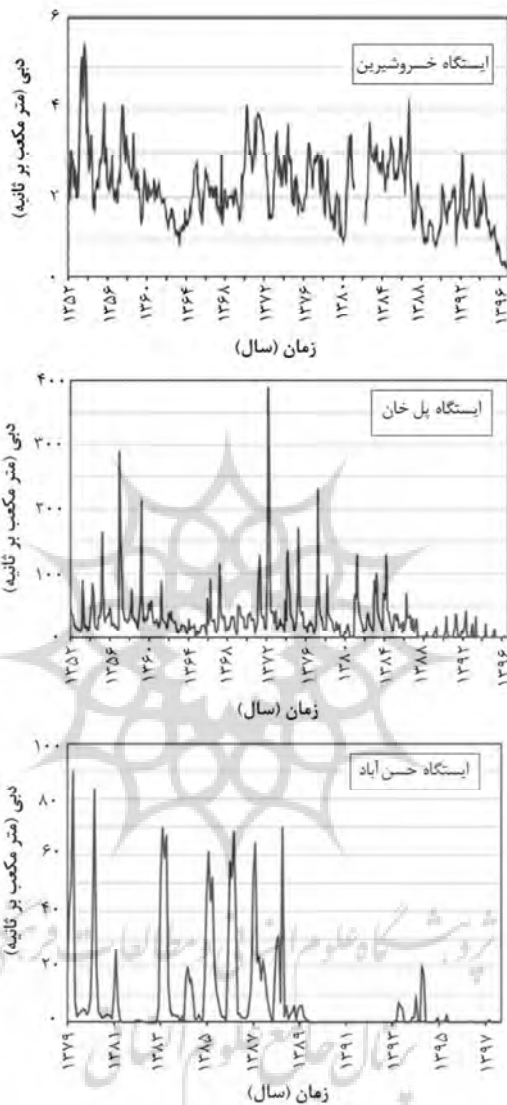
سری زمانی متوسط آبدی سالانه اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های خسروشیرین (واقع در بالادست سد ملاصدرا) و پل‌خان و حسن‌آباد (واقع در پایین دست سد درودزن) در شکل ۱۰ مشخص شده‌است. تغییرات سالانه آبدی این ایستگاه‌ها نشان می‌دهد که تا قبل از سال ۱۳۸۷، مقدار آبدی آنها تحت تاثیر سال‌های تر و خشک (به صورت افزایشی در فصل تر و کاهش در فصل خشک) بوده است. از سال ۱۳۸۸، روند کاهش آبدی ایستگاه‌های مختلف کاملاً آشکار شده است. از این زمان، آبدی در ایستگاه‌های مورد نظر به کمتر از ۳۰ درصد آبدی بیشینه رسیده است. ضریب همبستگی بین بارش و آبدی رودخانه برای ایستگاه خسروشیرین و پل‌خان (که سری زمانی کامل‌تری داشتند) به ترتیب ۰/۶۵ و ۰/۵۳ بدست آمد. همبستگی کمتر در ایستگاه پل‌خان می‌تواند به خاطر تاثیر عملکرد سد



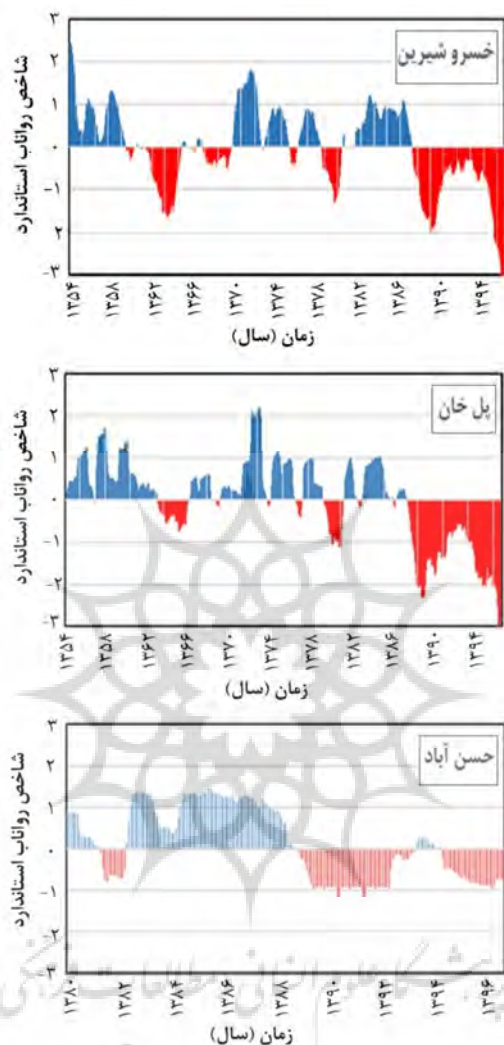
مخزنی درودزن بر آورد رودخانه در این ایستگاه باشد. شیب به دست آمده از روش رگرسیون خطی برای کل دوره (دوره‌ای که داده‌ها موجود بوده است) در هر سه ایستگاه‌ها منفی است که نشانگر وجود روند کاهشی در آورد رودخانه‌ها است.

به وسیله داده‌های دبی ایستگاه‌های هیدرومتری پل‌خان و حسن‌آباد شاخص رواناب استاندارد شده دوازده ماه برای هر یک از ایستگاه‌ها محاسبه شد که در شکل ۱۱ نمایش داده شده است. بررسی نتایج این شاخص نشان می‌دهد که در بازه آماری حوضه آبریز در برخی سال‌ها خشکسالی آبشناسی را تجربه کرده است که مهم‌ترین آن در سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۶۵، سال ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰ و سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸ (تا سالی که داده‌ها موجود بوده است) رخ داده است. خشکسالی آبشناسی آغاز شده از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۶ (و احتمالاً تا زمان انجام این پژوهش) طولانی‌ترین و شدیدترین آن در دوره مورد مطالعه است که در طی این خشکسالی هیچ یک از رودخانه‌ها آبدهی بیشتر از ۲۰ درصد از مقدار هنجار خود را ثبت نکرده است.





شکل ۱۰: آبدهی متوسط سالانه ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه طشک - بختگان (متر مکعب بر ثانیه)



شکل ۱۱: سری زمانی شاخص بارش ۱۲ ماهه ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه آبریز طشک - بختگان

در این پژوهش سری زمانی کم و بیش قابل قبولی از روند تغییرات سطح آب مخزن در بازه زمانی ۴۶ ساله تهیه گردید. این سری زمانی (شکل ۵) نشانگر آغاز خشکیدن دریاچه‌های بختگان و طشک از سال ۲۰۰۸ به این سو است (شکل ۱۲). تغییرات حجم آب هر دریاچه تحت تاثیر تغییرات مقدار ورودی و خروجی آن است. مهم‌ترین خروجی آب از دریاچه بختگان و طشک پدیده تبخیر است. عامل اصلی تاثیرگذار بر افزایش میزان تبخیر، افزایش دما است که در نتیجه افزایش دما میزان تبخیر و تفرق افزایش می‌یابد. بررسی روند تغییر دما بین سال‌های ۱۳۵۲ تا ۱۳۹۹ میلادی در حوضه بختگان نشانگر روند افزایشی آن با نرخ  $0/4$  درجه سانتی گراد در هر دهه است. با وجود اینکه خشک شدن دریاچه‌ها از سال ۱۳۸۷ شدت گرفته اما در این سال هیچ تغییر چشمگیری در روند افزایشی دمای حوضه مشاهده نشده است. بررسی همبستگی بین تغییرات سطح آب دریاچه و دما، ضریب همبستگی  $0/53$ - را نشان می‌دهد که از وجود رابطه‌ای معکوس و با همبستگی متوسط بین دما و سطح آب دریاچه‌ها حکایت دارد.

افزایش دما علاوه بر افزایش تبخیر آب دریاچه بر میزان آبدهی رودخانه نیز تاثیرگذار است. بین دما و آبدهی رودخانه در ایستگاه‌های مختلف نیز رابطه‌ای معکوس با همبستگی ضعیف تا متوسط دیده شده است (به طور مثال ضریب همبستگی بین دما و آبدهی در ایستگاه پل خان ۰/۲۸- است).



شکل ۱۲: تصویر ماهواره‌ای از دریاچه‌های بختگان و طشک در فروردین ماه الف) سال ۱۳۷۲ و ب) سال ۱۳۹۹

بارش سالانه در حوضه در دهه ۷۰ در تمامی سال‌ها در شرایط عادی یا بالاتر از مقدار میانگین بوده اما از سال ۱۳۸۷ به این سو مقدار بارش کمتر از مقدار میانگین بوده و حتی در برخی سال‌ها به زیر ۱۵۰ میلی متر در سال نیز رسیده است. تغییر بارش هم بصورت مستقیم بر روی دریاچه یا زمین‌های پیرامون و هم با تاثیر بر روی آورد رودخانه‌ها، سبب تغییر آب دریاچه‌ها می‌شود. ارتباط مستقیم و متوسط بین بارش و مساحت دریاچه (ضریب همبستگی ۰/۵۶) و ارتباط مستقیم و خوب بین شاخص بارش استاندارد و مساحت دریاچه (ضریب همبستگی ۰/۷۱) برقرار است. ضریب همبستگی بین بارش و دبی رودخانه در ایستگاه پل خان برابر با ۰/۵۲ است که از وجود رابطه مستقیم و متوسط بین این دو متغییر خبر می‌دهد. به نظر می‌رسد که برداشت از آب رودخانه عامل کاهش ضریب همبستگی رودخانه‌ها و آبراهه‌ها عاملی برای افزایش مساحت دریاچه است اما در نهایت رود کر به عنوان اصلی‌ترین عامل تغذیه کننده دریاچه به حساب می‌آید. به همین دلیل رابطه مستقیم و بسیار خوبی بین آبدهی رودخانه در ایستگاه پل خان و مساحت دریاچه (ضریب همبستگی ۰/۸۳) و شاخص استاندارد رواناب در این ایستگاه و مساحت دریاچه‌ها (ضریب

همبستگی  $(0/86)$  وجود دارد. واکاوی خشکسالی در حوضه نشان می‌دهد که از سال ۱۳۸۷ به بعد حوضه با خشکسالی هواشناسی و آبشناسی روبرو بوده است. خشکسالی آبشناسی نیز به صورت کاهش شدید آبدهی در ایستگاه‌ها خود را نشان داده است و حتی در بعضی ایستگاه‌ها مانند ایستگاه حسن‌آباد (نزدیک‌ترین ایستگاه به دریاچه) تقریباً رودخانه به طور کامل خشک شده است.

### نتیجه گیری

مقایسه نتایج این پژوهش با پژوهش‌های مدرس و همکاران (۲۰۱۴) و ارسنجانی و همکاران (۲۰۱۵) نشانگر تشابه مساحت‌های بدست آمده از سطح آب دریاچه بر اساس پردازش تصاویر ماهواره ایی بود. بر اساس نتایج این پژوهش‌ها مساحت دریاچه‌های مورد مطالعه از سال ۱۳۸۶ روند کاهشی به خود گرفته است. کیانی و همکاران (۲۰۱۷) و حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) روندی مثبت در تغییرات دمای حوضه بختگان بدست آوردند که با نتایج این پژوهش همخوانی داشت. کیانی و همکاران (۲۰۱۷) با مطالعه داده‌های سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۹ دو دوره خشکسالی عمده را شناسایی کردند که مهمترین آن در سال ۱۳۸۶ شروع شده بود. باقری و همکاران (۱۳۹۵) بر اساس شاخص بارش استاندارد شده از سال ۱۳۵۵ تا ۱۳۹۳ مهمترین خشکسال رخ داده در حوضه را در سال ۱۳۸۶ دانسته‌اند. نتایج تحقیق پیش رو نیز نشانگر رخدادن ۶ دوره خشکسالی طی سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۴۰۰ در حوضه آبریز بختگان است که سه دوره آن از سال ۱۳۸۶ به این سو رخ داده آخرین آن هنوز نیز ادامه دارد. در ارتباط با علل خشک شدن دریاچه‌های بختگان و طشک، نتایج این پژوهش نیز همانند نتایج کارهای حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) و باقری و همکاران (۱۳۹۵) نشان داد که خشکسالی اقلیمی و آبشناسی تنها عامل خشکیدن دریاچه‌های یاد شده نیست و عوامل انسانی نیز در رخدادن این پدیده دخیل است.

نتایج بررسی متغیرهای اقلیمی نشان می‌دهد که بارش عامل مهم‌تری نسبت به دما در تغییرات آب دریاچه و دبی رودخانه‌های حوضه آبریز بختگان است. از سال ۱۳۸۷ به این سو، کاهش بارش سبب کاهش آورد رودخانه‌ها شده است. تفاوت میزان آب ورودی از طریق رودخانه به دریاچه در دوره پربابی و خشکی نمی‌تواند به صورت کامل تحت تاثیر بارش باشد. مقدار بارش در دوره خشک به میزان ۴۷ درصد کاهش یافته اما آبدهی ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه همگی کاهش بیش از ۷۰ درصدی را نشان می‌دهند و حتی در ایستگاه حسن‌آباد دبی کم و بیش به صفر رسیده و یا در بیشتر زمان‌ها رودخانه به صورت کامل خشک شده است. آبدهی متوسط سالانه این ایستگاه از ۷۱۰ میلیون متر مکعب در دوره پربابی به کمتر از یک میلیون متر مکعب در دوره خشک رسیده است. عوامل اقلیمی نمی‌تواند عامل اصلی این مقدار کاهش در آبدهی رودخانه‌ها باشد. بدیهی است که در شرایط طبیعی و در صورت عدم برداشت از آب رودخانه، حتی در دوره خشک نیز نباید چنین کاهش چشمگیری در آورد رودخانه مشاهده گردد. به رغم کاهش ۴۷ درصدی بارش در دوره خشک، در مقدار تغذیه رود کر از رود سیوند کاهش ۹۷/۸ درصدی مشاهده می‌شود. بنابراین به نظر می‌رسد که خشکسالی اقلیمی تنها عامل خشکیدن دریاچه‌های بختگان و طشک نیست. برای تعیین نقش سایر عوامل در این پدیده مخرب، مطالعه نقش عوامل انسانی بر خشک شدن دریاچه‌ها پیشنهاد می‌گردد.

حوضه طشک - بختگان حدود ۲۲/۷ درصد از مساحت استان فارس را شامل می‌شود اما بیش از نیمی از زمین‌های کشاورزی استان را در خود جای داده است. سه سد درودزن، ملاصدار و سیوند در این حوضه آبریز احداث شده‌اند. شهر مرودشت دومین شهر بزرگ و پرجمعیت استان در این حوضه قرار دارد. همچنین آب شرب شهر شیراز بزرگترین شهر استان فارس از سد درودزن تامین می‌شود. بنابراین مطالعه نقش گسترش کشاورزی، احداث سد و افزایش جمعیت در حوضه بر روی خشک شدن دریاچه‌های طشک و بختگان دارای اهمیت است.

### سپاسگزاری

متن نویسنده این مقاله از شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس به دلیل در اختیار گذاشتن داده‌های مورد نیاز این مطالعه و از دانشگاه تهران به جهت همکاری در راستای راهبرد این تحقیق کمال قدردانی و تشکر را دارد.

### منابع

- باقری، محمد حسین؛ باقری، علی؛ سهولی، غلامعباس. (۱۳۹۵). تحلیل تغییرات پهنه‌ی آبی دریاچه بختگان تحت تاثیر عوامل طبیعی و انسانی. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۲(۳)، ۱۱-۱.
- هاشمی تنگستانی، مجید؛ بیرانوند، سمیه. (۱۳۸۹). آشکارسازی تغییرات ۳۰ساله کاربری و پوشش زمین پیرامون دریاچه بختگان فارس با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای. پنجمین همایش ملی زمین‌شناسی و محیط زیست.
- حسین زاده، سید رضا؛ محمدپورقلاتی، فرزانه، پاکنژاد، فریبا. (۱۳۹۶). ارزیابی میزان نقش عوامل طبیعی و انسانی در خشک شدن دریاچه‌های طشک و بختگان. اولین همایش اندیشه‌ها و فناوری‌های نوین در علوم جغرافیایی، دانشگاه زنجان.
- حسینی، زینب. (۱۴۰۰). بررسی عوامل موثر بر خشک شدن دریاچه بختگان - طشک و ارائه راهکارهای مقدماتی احیای آن. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران. ۱۴۲ صفحه.
- لرستانی، محسن؛ بنکداری، حسین؛ آذری، آرش. (۱۳۹۶). بررسی اثر پارامترهای اقلیمی در تغییرات مساحت دریاچه بختگان و طشک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. شانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه محقق اردبیلی.
- رفیعی، یوسف؛ ملک محمدی، بهرام؛ آبکار، علی اکبر؛ یآوری، احمدرضا؛ رضانی مهربان، مجید؛ ظهراپی، حمید. (۱۳۹۰). بررسی تغییرات زیست محیطی تالاب‌ها و مناطق حفاظت شده با استفاده از تصاویرهای چند زمانه سنجنده MT (مطالعه موردی: تالاب نیریز). محیط شناسی، ۵۷، ۶۵-۷۶.
- Alemayehu, T., Furi, W., & Legesse, D. (2007). Impact of water overexploitation on highland lakes of eastern Ethiopia. *Environmental geology*, 52(1), 147-154.
- Amirataee, B., & Montaseri, M. (2017). The performance of SPI and PNPI in analyzing the spatial and temporal trend of dry and wet periods over Iran. *Natural Hazards*, 86(1), 89-106.
- Almodarresi, S. A., Zare, S., & Khabazi, M. (2014). Recognition and distinction of hydrological relations of tashk and baktegan lakes using GIS & RS techniques. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 5(23), 2732-2732.
- Arsanjani, T. J., Javidan, R., Nazemosadat, M. J., Arsanjani, J. J., & Vaz, E. (2015). Spatiotemporal monitoring of Bakhtegan Lake's areal fluctuations and an exploration of its future status by applying a cellular automata model. *Computers & Geosciences*, 78, 37-43.
- Assel, R. A., Quinn, F. H., & Sellinger, C. E. (2004). Hydroclimatic factors of the recent record drop in Laurentian Great Lakes water levels. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85(8), 1143-1152.
- Aydin, F., Erlat, E., & Türkes, M. (2020). Impact of climate variability on the surface of Lake Tuz (Turkey), 1985–2016. *Regional Environmental Change*, 20, 1-14.
- Davraz, A., Sener, E., & Sener, S. (2019). Evaluation of climate and human effects on the hydrology and water quality of Burdur Lake, Turkey. *Journal of African Earth Sciences*, 158, 103569.

- Esandari, H., Borji, M., Khosravi, H., Nakhaee Nejadfar, S., & Eskandari, H. (2016). Change Detection of of Bakhtegan and Tashk Basin during 2001-2013. *International Journal of Forest, Soil and Erosion (IJFSE)*, 6(2), 67-71.
- Khazaei, B., Khatami, S., Alemohammad, S. H., Rashidi, L., Wu, C., Madani, K., Aghakouchak, A. (2019). Climatic or regionally induced by humans? Tracing hydro-climatic and land-use changes to better understand the Lake Urmia tragedy. *Journal of Hydrology*, 569, 203-217.
- Kiani, T., Ramesht, M. H., Maleki, A., & Safakish, F. (2017). Analyzing the impacts of climate change on water level fluctuations of Tashk and Bakhtegan Lakes and its role in environmental sustainability. *Open Journal of Ecology*, 7(02), 158.
- Kwak, J., Kim, S., Jung, J., Singh, V. P., Lee, D. R., & Kim, H. S. (2016). Assessment of meteorological drought in Korea under climate change. *Advances in Meteorology*, 2016.
- Li, F., Li, H., Lu, W., Zhang, G., & Kim, J.-C. (2019). Meteorological drought monitoring in Northeastern China using multiple indices. *Water*, 11(1), 72.
- Liu, C., Xie, G., & Huang, H. (2006). Shrinking and drying up of Baiyangdian Lake wetland: a natural or human cause? *Chinese Geographical Science*, 16(4), 314-319.
- Livada, I., & Assimakopoulos, V. (2007). Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the Standardized Precipitation Index (SPI). *Theoretical and applied climatology*, 89(3), 143-153.
- World Meteorological Organization (2012). Standardized precipitation index user guide. 1090.
- Marini, G., Fontana, N., & Mishra, A. K. (2019). Investigating drought in Apulia region, Italy using SPI and RDI. *Theoretical and applied climatology*, 137(1), 383-397.
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 17(7), 1425-1432.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. Paper presented at the Proceedings
- Mei, X., Dai, Z., Du, J., & Chen, J. (2015). Linkage between Three Gorges Dam impacts and the dramatic recessions in China's largest freshwater lake, Poyang Lake. *Scientific reports*, 5(1), 1-9.
- Mtilatila, L., Bronstert, A., Bürger, G., & Vormoor, K. (2020). Meteorological and hydrological drought assessment in Lake Malawi and Shire River basins (1970–2013). *Hydrological Sciences Journal*, 65(16), 2750-2764.
- Sajedipour, S., Zarei, H., & Oryan, S. (2017). Estimation of environmental water requirements via an ecological approach: a case study of Bakhtegan Lake, Iran. *Ecological engineering*, 100, 246-255.
- Shukla, S., & Wood, A. W. (2008). Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysical research letters*, 35(2).
- Singh, D. K., & Singh, N. (2019). Drying Urban lakes: A consequence of climate change, urbanization or other anthropogenic causes? An insight from northern India. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 24(2), 115-126.
- Spinoni, J., Naumann, G., Carrao, H., Barbosa, P., & Vogt, J. (2014). World drought frequency, duration, and severity for 1951–2010. *International Journal of Climatology*, 34(8), 2792-2804.
- Teymouri, A., Ahmadpour, A., Habibi, L., Salarvandian, F. (2011). Determining the environmental status of Tashk and Bakhtegan lakes using the thirty-fuzzy mean classification method. *Natural Geography Research*, No. 77, 37-21. [In Persian]
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water international*, 10(3), 111-120.
- Wu, D., Chen, F., Li, K., Xie, Y., Zhang, J., & Zhou, A. (2016). Effects of climate change and human activity on lake shrinkage in Gonghe Basin of northeastern Tibetan Plateau during the past 60 years. *Journal of Arid Land*, 8(4), 479-491.
- Zhang, J., Ding, J., Wu, P., Tan, J., Huang, S., & Teng, D. Chen, W. (2020). Assessing arid Inland Lake Watershed Area and Vegetation Response to Multiple Temporal Scales of Drought Across the Ebinur Lake Watershed. *Scientific reports*, 10(1), 1-17.
- Zhang, J., Ding, J., Wu, P., Tan, J., Huang, S., Teng, D. & Chen, W. (2020). Assessing arid Inland Lake Watershed Area and Vegetation Response to Multiple Temporal Scales of Drought across the Ebinur Lake Watershed. *Scientific reports*, 10(1), 1-17.

## References

### References (in Persian)

- Bagheri, M.H., Bagheri, A., Sohooli, G.A. (2016). Analysis of changes in the Bakhtegan lake water body under the influence of natural and human factors. [In Persian]
- Hashemi Tangestani, M., Biranvand, S. (2010). Detection of 30 years of land use change and land cover around Bakhtegan Lake in Fars using satellite data. Fifth National Conference on Geology and Environment. [In Persian]
- Hosseinzadeh, S. R., Mohammad Pourqalati, F., Pakenjad, F. (2017). Assessing the role of natural and human factors in the drying of Tashk and Bakhtegan lakes. The first conference of new ideas and technologies in geographical sciences, Zanjan University. [In Persian]
- LoRESTANI, M., Bankadari, H., AZERI, A. (2017). Investigation of the effect of climatic parameters on changes in the area of Bakhtegan and Tashk lakes using satellite images. 16th Iranian Hydraulic Conference, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil. [In Persian]
- Rafiei, Y., Malek Mohammadi, B., Abkar, A. A., Helper, A. R., Ramezani Mehriani, M., Zahrabi, H. (2011). Investigation of environmental changes in wetlands and protected areas using multi-time image sensor TM (Case study: Neyriz wetland). Environmental Science, No. 57, 76-65. [In Persian]
- Teymouri, A., Ahmadpour, A., Habibi, L., Salarvandian, F. (2011). Determining the environmental status of Tashk and Bakhtegan lakes using the thirty-fuzzy mean classification method. Natural Geography Research, No. 77, 37-21. [In Persian]

### References (in English)

- Alemayehu, T., Furi, W., & Legesse, D. (2007). Impact of water overexploitation on highland lakes of eastern Ethiopia. Environmental geology, 52(1), 147-154.
- Amirataee, B., & Montaseri, M. (2017). The performance of SPI and PNPI in analyzing the spatial and temporal trend of dry and wet periods over Iran. Natural Hazards, 86(1), 89-106.
- Almodarresi, S. A., Zare, S., & Khabazi, M. (2014). Recognition and distinction of hydrological relations of tashk and bakhtegan lakes using GIS & RS techniques. Mediterranean Journal of Social Sciences, 5(23), 2732-2732.
- Arsanjani, T. J., Javidan, R., Nazemosadat, M. J., Arsanjani, J. J., & Vaz, E. (2015). Spatiotemporal monitoring of Bakhtegan Lake's areal fluctuations and an exploration of its future status by applying a cellular automata model. Computers & Geosciences, 78, 37-43.
- Assel, R. A., Quinn, F. H., & Sellinger, C. E. (2004). Hydroclimatic factors of the recent record drop in Laurentian Great Lakes water levels. Bulletin of the American Meteorological Society, 85(8), 1143-1152.
- Aydin, F., Erlat, E., & Türkeş, M. (2020). Impact of climate variability on the surface of Lake Tuz (Turkey), 1985–2016. Regional Environmental Change, 20, 1-14.
- Davraz, A., Sener, E., & Sener, S. (2019). Evaluation of climate and human effects on the hydrology and water quality of Burdur Lake, Turkey. Journal of African Earth Sciences, 158, 103569.
- Esandari, H., Borji, M., Khosravi, H., Nakhaee Nejadfar, S., & Eskandari, H. (2016). Change Detection of of Bakhtegan and Tashk Basin during 2001-2013. International Journal of Forest, Soil and Erosion (IJFSE), 6(2), 67-71.
- Khazaei, B., Khatami, S., Alemohammad, S. H., Rashidi, L., Wu, C., Madani, K., Aghakouchak, A. (2019). Climatic or regionally induced by humans? Tracing hydro-climatic and land-use changes to better understand the Lake Urmia tragedy. Journal of Hydrology, 569, 203-217.
- Kiani, T., Ramesht, M. H., Maleki, A., & Safakish, F. (2017). Analyzing the impacts of climate change on water level fluctuations of Tashk and Bakhtegan Lakes and its role in environmental sustainability. Open Journal of Ecology, 7(02), 158.
- Kwak, J., Kim, S., Jung, J., Singh, V. P., Lee, D. R., & Kim, H. S. (2016). Assessment of meteorological drought in Korea under climate change. Advances in Meteorology, 2016.
- Li, F., Li, H., Lu, W., Zhang, G., & Kim, J.-C. (2019). Meteorological drought monitoring in Northeastern China using multiple indices. Water, 11(1), 72.
- Liu, C., Xie, G., & Huang, H. (2006). Shrinking and drying up of Baiyangdian Lake wetland: a natural or human cause? Chinese Geographical Science, 16(4), 314-319.
- Livada, I., & Assimakopoulos, V. (2007). Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the Standardized Precipitation Index (SPI). Theoretical and applied climatology, 89(3), 143-153.
- World Meteorological Organization (2012). Standardized precipitation index user guide. 1090.
- Marini, G., Fontana, N., & Mishra, A. K. (2019). Investigating drought in Apulia region, Italy using SPI and RDI. Theoretical and applied climatology, 137(1), 383-397.
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International journal of remote sensing, 17(7), 1425-1432.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. Paper presented at the Proceedings
- Mei, X., Dai, Z., Du, J., & Chen, J. (2015). Linkage between Three Gorges Dam impacts and the dramatic recessions in China's largest freshwater lake, Poyang Lake. Scientific reports, 5(1), 1-9.



- Mtilalila, L., Bronstert, A., Bürger, G., & Vormoor, K. (2020). Meteorological and hydrological drought assessment in Lake Malawi and Shire River basins (1970–2013). *Hydrological Sciences Journal*, 65(16), 2750-2764.
- Sajedipour, S., Zarei, H., & Oryan, S. (2017). Estimation of environmental water requirements via an ecological approach: a case study of Bakhtegan Lake, Iran. *Ecological engineering*, 100, 246-255.
- Shukla, S., & Wood, A. W. (2008). Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysical research letters*, 35(2).
- Singh, D. K., & Singh, N. (2019). Drying Urban lakes: A consequence of climate change, urbanization or other anthropogenic causes? An insight from northern India. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 24(2), 115-126.
- Spinoni, J., Naumann, G., Carrao, H., Barbosa, P., & Vogt, J. (2014). World drought frequency, duration, and severity for 1951–2010. *International Journal of Climatology*, 34(8), 2792-2804.
- Teymouri, A., Ahmadpour, A., Habibi, L., Salarvandian, F. (2011). Determining the environmental status of Tashk and Bakhtegan lakes using the thirty-fuzzy mean classification method. *Natural Geography Research*, No. 77, 37-21. [In Persian]
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water international*, 10(3), 111-120.
- Wu, D., Chen, F., Li, K., Xie, Y., Zhang, J., & Zhou, A. (2016). Effects of climate change and human activity on lake shrinkage in Gonghe Basin of northeastern Tibetan Plateau during the past 60 years. *Journal of Arid Land*, 8(4), 479-491.
- Zhang, J., Ding, J., Wu, P., Tan, J., Huang, S., & Teng, D. Chen, W. (2020). Assessing arid Inland Lake Watershed Area and Vegetation Response to Multiple Temporal Scales of Drought Across the Ebinur Lake Watershed. *Scientific reports*, 10(1), 1-17.
- Zhang, J., Ding, J., Wu, P., Tan, J., Huang, S., Teng, D. & Chen, W. (2020). Assessing arid Inland Lake Watershed Area and Vegetation Response to Multiple Temporal Scales of Drought across the Ebinur Lake Watershed. *Scientific reports*, 10(1), 1-17.

