



Forecasting the Area of the Bakhtegan and Tashk Lake Using Remote Sensing and Climatic Factors

H. KhanAhmadi¹, B. Saghafian^{2*}, and P. Daneshkar Arasteh³

Abstract

Recurring droughts at various intensity leads to decline in streamflow and wetland area. In this study, using Landsat satellite images, temporal changes in the area of the Bakhtegan and Tashk lake from 1986 to 2019 were investigated. Also, based on the Standard Precipitation Index (SPI), the effect of precipitation falling on the lake area as well as the total inflow to the lake were studied. Then, by generating land-use maps, land-use changes in Bakhtegan and Tashk basin area were analyzed. In addition, a model for forecasting lake area (of next year) on the basis of lake area, total inflow, and annual precipitation falling on the lake basin area associated with the previous year was presented. The results showed that in the study period, the minimum lake area occurred in 2011 and was equal to 17.038 square kilometers, which shows a decrease of 98% compared to the maximum area corresponding to the year 1993. Furthermore, 12-month SPI in Bakhtegan and Tashk Lake basin indicated that the meteorological drought index directly affects the changes of the lake area. However, from 2006 to 2012, the inflow to the lake has severely decreased due to the increasing human interventions within the basin such that, during this period, lake surface area does not strongly respond to SPI variations. The results of the forecast model showed that the coefficient of determination between neural network model output (lake area) with observed lake area corresponding to satellite images was equal to 0.72. As a result, the forecast model could acceptably predict the lake area.

Keywords: Bakhtegan and Tashk Lake, Standard Precipitation Index, Remote Sensing, Land Use Change.

Received: April 4, 2019

Accepted: April 26, 2021

پیش‌بینی تغییرات مساحت دریاچه بختگان و طشک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و عوامل اقلیمی

هما خان‌احمدی^۱، بهرام ثقفیان^{۲*} و پیمان دانشکار آراسته^۳

چکیده

تداوم خشکسالی در سطوح مختلف باعث خشکی رودخانه‌ها و تالاب‌ها می‌شود. در این تحقیق با استفاده از تصاویر ماهواره Landsat، تغییرات مساحت دریاچه بختگان و طشک در طول سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۹ میلادی بررسی شده است. همچنین، بر مبنای شاخص بارش استاندارد (SPI)، اثر بارش بر مساحت دریاچه و مجموع جریان ورودی به آن بررسی شد. در ادامه با تولید نقشه‌های کاربری اراضی، تغییرات کاربری اراضی در سطح حوضه دریاچه بختگان و طشک بررسی شد. به‌علاوه، مدلی برای پیش‌بینی مساحت دریاچه با استفاده از مساحت دریاچه در سال گذشته، مجموع جریان ورودی و عمق بارش سالانه بر روی دریاچه ارائه شد. نتایج نشان داد که در دوره مطالعاتی، کمترین مساحت دریاچه بختگان و طشک در سال ۲۰۱۱ برابر با ۱۷/۰۳۸ کیلومتر مربع بوده که در مقایسه با حداکثر مساحت دریاچه در سال ۱۹۹۳ کاهش ۹۸٪ را نشان می‌دهد. بررسی SPI در سطح حوضه دریاچه بختگان و طشک در مقیاس ۱۲ ماهه در ماه شهریور نشان می‌دهد که شاخص خشکسالی هواشناسی به‌طور مستقیم تغییرات سطح دریاچه را تحت تأثیر قرار می‌دهد اما در سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ جریان ورودی به دریاچه تحت تأثیر گسترش فعالیت انسانی در سطح حوضه به شدت کاهش یافته و در این دوره روند تغییرات سطح دریاچه مطابق با تغییرات شاخص SPI نیست. نتایج حاصل از مدل پیش‌بینی نشان می‌دهد مقدار ضریب تعیین برای نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی و نتایج حاصل از تصاویر ماهواره‌ای برابر با ۰/۷۲ است. در نتیجه با استفاده از مدل می‌توان تغییرات دریاچه را با دقت قابل قبولی پیش‌بینی کرد.

کلمات کلیدی: دریاچه بختگان و طشک، شاخص بارش استاندارد (SPI)، سنجش از دور، خشکسالی، تغییر کاربری اراضی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۱۱/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۲/۶

1- Ph.D. Student of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2- Professor, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: b.saghafian@gmail.com

3- Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

*- Corresponding Author

Dor: [20.1001.1.17352347.1400.17.1.9.0](https://doi.org/10.1001.1.17352347.1400.17.1.9.0)

۱- دانشجوی دکتری مهندسی عمران، دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۲- استاد گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۳- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۴۰۰ امکانپذیر است.

۱- مقدمه

دریاچه‌ها نقش مؤثر و فعالی در چرخه هیدرولوژیکی، فراهم کردن ذخایر آبی، تغذیه آب‌های زیرزمینی، تعدیل دمای منطقه، تقویت ساختار زیست‌محیطی، حفظ و نگهداری تنوع زیستی و اقتصاد یک منطقه دارند (Livada et al., 2007). دریاچه بختگان و طشک از مهم‌ترین دریاچه‌های ایران به حساب می‌آید که در سال‌های اخیر دچار افت شدید تراز آب و کاهش مساحت شده است. خشک شدن دریاچه‌های ایران در دهه اخیر را می‌توان به علت افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی، کاهش بارش، تغییرات کاربری اراضی در حوضه دریاچه، برداشت‌های بالادست و ساخت سد‌ها دانست (Tourian et al., 2015). کاهش مساحت دریاچه‌ها تبعات زیست محیطی گسترده‌ای را به دنبال خواهد داشت (Tong et al., 2016).

از جمله عوامل مؤثر در کاهش مساحت یک دریاچه، تغییرات اقلیمی است. تغییرات اقلیمی می‌توانند باعث افزایش دما و همچنین تغییرات مکانی و فصلی بارش شوند (Knutti and Sedlacek, 2013). خشکسالی در اثر کمبود بارش باعث کاهش منابع آب و به دنبال آن خشکسالی هیدرولوژیکی می‌شود (Darcup, 1980; Wilhite, 1985). از طرفی، کاهش بارش، افزایش برداشت از منابع سطحی و زیرزمینی را به دنبال دارد (Tourian, 2015). پیش‌بینی شروع و خاتمه خشکسالی بسیار مشکل است. یک شاخص خشکسالی یک مقدار عددی غالباً استاندارد است که معمولاً بر مبنای انحراف یک عامل مشخص از مقدار میانگین بلند مدت همان عامل (مانند: بارش، رطوبت خاک، جریان‌های سطحی و غیره) تعیین می‌شود. یکی از شاخص‌های مناسب برای ارزیابی خشکسالی‌های هواشناسی، SPI است (McKee et al., 1993, 1995). شاخص SPI قادر به تعیین شرایط تر و خشک برای یک مقیاس زمانی خاص در هر مکان با استفاده از داده‌های بارش است (Mishra et al., 2009).

برای مدیریت و برنامه‌ریزی یک دریاچه می‌توان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در فواصل زمانی متوالی تغییرات مساحت دریاچه را مورد پایش قرارداد و عوامل مؤثر بر این تغییرات را بررسی کرد. سنجش از دور یک روش کارآمد در پایش دریاچه‌ها و مناطق حفاظت شده است (Zhang and Ke, 2016). روش‌های متعددی بر پایه تصاویر ماهواره Landsat مانند الگوریتم‌های طبقه بندی درختی و شاخص‌های آب برای استخراج مساحت آب سطحی ارائه شده است (Fisher et al., 2016).

تحقیقات متعددی در ارتباط با بررسی تغییرات مساحت دریاچه‌ها و عوامل مؤثر آن ارائه شده است. Rahimi Balouchi and Malek (2012) به بررسی روند تغییرات سطح تالاب شادگان با استفاده از تصاویر ماهواره Landsat طی یک دوره زمانی ۲۰ ساله از ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ پرداختند. این تالاب در سال ۱۹۹۰ دارای بیشترین مساحت و در سال ۲۰۰۰ دارای کمترین سطح آبی بوده که این کاهش سطح به علت خشکسالی شدید به وقوع پیوسته در طی این سال‌ها است. همچنین، بیشترین کاهش وسعت در ناحیه شمالی تالاب یعنی تالاب آب شیرین بوده که علت آن می‌تواند خشکسالی و فعالیت‌های انسانی در محدوده تالاب به دلیل افزایش دسترسی دانست.

(Khosravi (2010) با استفاده از تصاویر ماهواره Landsat و IRS تغییرات مساحت دریاچه هامون را با استفاده از شاخص NDWI در بازه زمانی سال ۱۹۷۲ تا ۲۰۰۴ بررسی کرده است. سپس تغییرات مساحت دریاچه براساس میزان جریان ورودی از رودخانه هیرمند، پریان مشترک و سیستان مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به رژیم جریان رودخانه تصاویر دشت سیستان در دو دوره پُر آبی و کم آبی مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد در بازه مطالعاتی در ۸۰٪ مواقع دریاچه در وضعیت کم آب تا خشک بوده و تغییرات مساحت دریاچه شدیداً وابسته به جریان ورودی از رودخانه هیرمند است.

(Mozafari and Narangifard (2014) به بررسی تغییرات مساحت دریاچه مهارلو در ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹ با استفاده از تصاویر ماهواره Landsat سنجنده TM پرداختند و سپس ارتباط این تغییرات را با داده‌های سنجنده TRMM بررسی کردند. نتایج نشان داد که در سال ۲۰۰۹ مساحت دریاچه ۱۰۷ کیلومتر مربع نسبت زمان مشابه در سال ۱۹۹۹ کاهش یافته که عمدتاً به دلیل کاهش ۲۰۰ میلیمتری عمق بارش در سال آبی نسبت به دوره مشابه بود.

(Shokoochi and Morovati (2014) در پژوهشی به بررسی اثر خشکسالی بر خشک شدن تدریجی دریاچه ارومیه به کمک دو شاخص بارش استاندارد SPI و شاخص خشکسالی RDI در دوره بلند مدت از ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ پرداختند. نتایج نشان می‌دهد در سال ۲۰۰۰ حوضه دریاچه ارومیه دچار خشکسالی شدیدی شده است. اثرات سوء این خشکسالی می‌توانست با ترسالی‌های بعدی تقلیل یابد، ولی حوضه با تجربه دوره‌های نرمال و نزدیک نرمال در سال‌های بعد، مجدداً در سال ۲۰۰۸ دچار خشکسالی نسبتاً شدیدی شده است. از سال ۲۰۰۰ به بعد حوضه از نظر بارش و هم از نظر خشکسالی به شرایط نرمال نزدیک بود، با این وجود روند کاهشی مساحت دریاچه ارومیه نشان‌دهنده نقش عوامل دیگر در کاهش سطح این دریاچه است.

در تحقیقی، Karimi and Mobasheri (2011) تغییرات مساحت دریاچه ارومیه را در طی سال‌های ۱۹۷۳ تا ۲۰۱۰ با استفاده از تصاویر ماهواره Landsat و MODIS و ارتباط آن را با پارامترهای بارش، دما و جریان‌های ورودی، بررسی کردند. برای بررسی اثر روند عوامل دما، بارش و جریان‌های ورودی از آزمون آماری Mann-Kendal استفاده شد. مساحت دریاچه ارومیه در بازه زمانی مورد مطالعه نزدیک به ۲۴۷۳/۵۵ کیلومتر مربع کاهش و تراز دریاچه ۲/۳۸ متر افت را نشان می‌دهد. کاهش میزان جریان‌های ورودی به دریاچه بیشترین اثر را در روند کاهش مساحت دریاچه داشته‌است. در تحقیقی دیگر، Kiani et al. (2017) تغییرات مساحت دریاچه بختگان و طشک را از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰ در ماه April با استفاده از تصاویر ماهواره Landsat مطالعه کردند و سپس ارتباط این تغییرات را با پارامترهای بارش (با استفاده از شاخص SPI)، دما، تبخیر و تعرق، تعداد روزهای آفتابی، روزهای برفی و تأثیر فعالیت انسانی مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که کاهش مساحت دریاچه با کاهش میزان بارش باران و برف و افزایش دما رابطه داشت، اما تأثیر گسترش فعالیت انسانی در منطقه قابل چشم‌پوشی نیست.

قرار داشته‌اند. در سال‌های کم باران مانند سال ۲۰۱۲، مناطق غربی و جنوب شرقی استان بیشتر از سایر مناطق تحت تأثیر درجه‌های مختلف خشکسالی به ویژه در مقیاس ۶ و ۱۲ ماه قرار گرفته‌اند.

در مقاله حاضر، تغییرات مساحت دریاچه بختگان و طشک از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۹ با استفاده از تصاویر ماهواره Landsat بررسی شده است. همچنین، عوامل مؤثر بر این تغییرات از جمله عمق بارش سالانه در سطح حوضه دریاچه بختگان و طشک، رواناب ورودی و تغییرات کاربری اراضی در سطح حوضه مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت، مدل شبکه عصبی برای پیش‌بینی مساحت دریاچه بختگان و طشک با استفاده از مساحت دریاچه در سال قبل، جریان ورودی به دریاچه و عمق بارش سالانه بر روی دریاچه ارائه شد. تاکنون مطالعات متعددی بر روی تغییرات مساحت دریاچه بختگان و طشک انجام شده است اما در هیچ کدام مدلی برای پیش‌بینی مساحت دریاچه برای یک سال آینده ارائه نشده است.

۲- روش تحقیق

در این تحقیق با استفاده از تصاویر ماهواره Landsat سنجنده‌های TM، ETM و OLI/TIRS از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۹ و با به کارگیری نرم‌افزار ENVI5.3 سری زمانی مساحت دریاچه بختگان و طشک تعیین شد. برای بررسی اثر عوامل اقلیمی بر روی مساحت دریاچه با استفاده از میانگین بارش در سطح حوضه دریاچه از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۹، شاخص SPI در مقیاس ۱۲ ماهه محاسبه شده است. برای بررسی سایر عوامل اثرگذار بر روی تغییرات دریاچه، دبی جریان ورودی به دریاچه و عمق بارش سالانه بر روی دریاچه مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش حداکثر درست نمایی^۲ برای سه سال ۱۹۸۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶ برای حوضه دریاچه تولید و اثرات روند تغییرات اراضی بر تغییرات مساحت دریاچه نیز بررسی شد. در پایان با استفاده از شبکه عصبی مدلی برای پیش‌بینی مساحت دریاچه در سال بعد با استفاده از پارامترهای اقلیمی ارائه شده است.

۱-۱- منطقه تحقیق و داده‌های تحقیق

حوضه دریاچه بختگان، طشک و مهارلو در شمال استان فارس و در دامنه‌های شرقی بخش جنوبی زاگرس قرار گرفته است. این دریاچه محل تخلیه آب‌های سطحی و زیرزمینی حوضه بالادست است. حوضه بختگان، طشک و مهارلو بین مختصات جغرافیایی ۳۲° ۵۱' تا ۳۳° ۵۴' طول شرقی و ۰' ۲۹' تا ۱۴' ۳۱' عرض شمالی واقع شده است. مجموع مساحت حوضه ۳۱۴۹۲ کیلومتر مربع است که حدود ۴۹ درصد آن را مناطق کوهستانی و ۵۱ درصد آن را دشت‌ها و کوه‌پایه‌ها تشکیل

Javanmard et al. (2017) به بررسی شدت وقوع خشکسالی با استفاده از شاخص SPI در مقیاس ۳، ۹ و ۱۲ ماه از سال ۱۹۶۳ تا ۲۰۰۵ با استفاده از داده‌های ۵۰ ایستگاه سینوپتیک در ایران پرداختند. همچنین با استفاده از شاخص SPI-3 و SPI-12، خشکسالی سالانه و فصلی برآورد شده و نتایج نشان می‌دهد اکثر مناطق ایران در سال‌های ۱۹۸۵، ۱۹۹۰، ۱۹۹۸، ۱۹۹۹، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ درگیر خشکسالی بوده است. همچنین نتایج SPI-9 و SPI-12 نشان می‌دهد ۸۵٪ تا ۹۵٪ ایستگاه‌ها از ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۱ خشکسالی خفیف بوده‌اند. همچنین، Karimi et al. (2019) در تحقیقی به مطالعه شاخص SPI در مقیاس ۱، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه در حوضه رودخانه کرخه از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۴ پرداختند. نتایج نشان داد که در این حوضه در سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۹۰، ۱۹۹۵، ۱۹۹۶، ۱۹۹۸، ۲۰۰۲، ۲۰۰۴، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ خشکسالی هواشناسی رخ داده‌است. Zarei (2019) در تحقیقی به ارزیابی تغییرات الگوی مکانی و زمانی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI در بازه ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۴ در جنوب ایران پرداخت. نتایج تجزیه و تحلیل روند تغییرات در الگوی زمانی بر اساس رگرسیون خطی نشان می‌دهد بیشترین میزان خشکسالی در فصل زمستان و در مقیاس زمانی SPI-12 (در ۳۷/۵٪ ایستگاه‌ها) رخ داده است. Moghbeli et al. (2020) به بررسی شاخص SPI در مقیاس ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه در جنوب شرقی ایران در استان سیستان و بلوچستان از ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۳ پرداختند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد در سال ۱۹۹۷ همه مناطق در سطح استان در شرایط مرطوب یا نرمال

اهداف محیط زیستی در مدار زمین قرار گرفت و تاکنون تصاویر آن به صورت رایگان منتشر شده است. همچنین، این ماهواره هر ۱۶ روز از سطح زمین تصویربرداری کرده و به همین علت این ماهواره برای انجام مطالعات در این تحقیق انتخاب شد. بررسی‌های اولیه نشان داد که در ماه اردیبهشت به علت افزایش جریان ورودی، حداکثر مساحت دریاچه در طول سال آبی شکل می‌گیرد. در نتیجه تصاویر مربوط به این ماه و در صورت عدم وجود تصویر مناسب نزدیک‌ترین تصویر از نظر زمانی برای پایش سالانه انتخاب و تصاویر از سایت <https://earthexplorer.usgs.gov/> دریافت شد (جدول ۱). سپس بر روی هر تصویر مراحل مختلف پردازش انجام گرفت. مرحله پیش پردازش شامل تصحیحات، مرحله پردازش، مرحله پس پردازش و تفسیر خروجی‌ها است.

جهت برآورد شاخص بارش استاندارد (SPI) در دوره مطالعاتی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۹ از داده‌های عمق بارش، موجود در بخش آمار و اطلاعات پایه منابع آب در سایت شرکت مدیریت منابع آب ایران به آدرس <http://wrs.wrm.ir/amar/login.asp> استفاده شد. همچنین جهت بررسی اثر جریان ورودی به دریاچه و استفاده از آن‌ها در مدل شبکه عصبی داده‌های جریان ورودی سالانه در ایستگاه پل خان از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۹ از بخش آمار و اطلاعات پایه منابع آب در سایت شرکت مدیریت منابع آب استفاده شد.

می‌دهد. حدود ۱۴۰۰ کیلومتر مربع از این مساحت را دریاچه تشکیل می‌دهد. حداقل ارتفاع حوضه ۱۴۵۳ متر در حاشیه دریاچه مهارلو و حداکثر ارتفاع ۳۹۱۲ متر در شمال قسمت شمالی حوضه در دامنه‌های شرقی بخش جنوبی زاگرس قرار دارد. اقلیم این حوضه از گرم و خشک در بخش جنوب و شرق حوضه تا نیمه مرطوب سرد در شمال غرب حوضه متغیر است. به دلیل اختلاف ارتفاع بین نقاط مختلف حوضه، عمق بارش سالانه در سطح حوضه متفاوت است. حداقل متوسط بارش سالانه در حوضه برابر با ۳۹۱ میلی‌متر و حداکثر برابر با ۷۴۹ میلی‌متر است (Ministry of Energy, 2019).

دریاچه بختگان و طشک در استان فارس و در نزدیکی شهر شیراز در موقعیت جغرافیایی $45^{\circ} 53'$ طول شرقی و $29^{\circ} 45'$ عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). دریاچه بختگان و طشک در سال ۱۹۷۵ در فهرست کنوانسیون رامسر ثبت شد. در سال ۱۹۸۸ مساحت این دریاچه برابر با ۱۰۸۰ کیلومتر مربع بوده که از طریق دلتای رود کر که بخشی از آن به دریاچه بختگان و بخش دیگر آن به دریاچه طشک می‌ریزد، به یکدیگر متصل شده‌اند. مهم‌ترین منابع تامین کننده آب این دو دریاچه رودخانه کر و سیوند است. همچنین، از دیگر منابع آبی این دریاچه به چشمه‌های دائمی در اطراف دریاچه و سیلاب‌های زمستانی می‌توان اشاره کرد.

جهت تعیین مساحت دریاچه بختگان و طشک از تصاویر ماهواره Landsat استفاده شده است. ماهواره Landsat در سال ۱۹۷۲ با

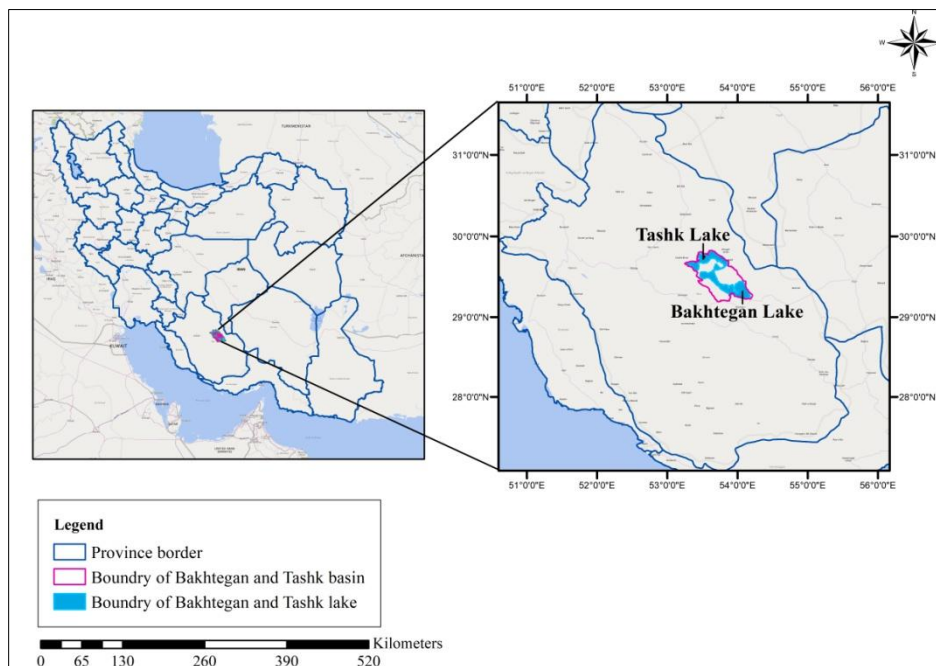


Fig. 1- Bakhtegan and Tashk lake basin

شکل ۱- حوضه دریاچه بختگان و طشک

Table 1- Images downloaded from the Earth Explore website
جدول ۱- تصاویر دریافت شده از سایت Earth Explore

Row	Satellite	Sensor	Acquisition Date
1	Landsat 5	TM	1986-04-11
2	Landsat 5	TM	1987-05-06
3	Landsat 5	TM	1988-07-11
4	Landsat 5	TM	1989-04-09
5	Landsat 5	TM	1990-08-18
6	Landsat 5	TM	1991-04-15
7	Landsat 5	TM	1992-04-01
8	Landsat 5	TM	1993-06-23
9	Landsat 5	TM	1994-05-25
10	Landsat 5	TM	1995-03-06
11	Landsat 5	TM	1996-11-06
12	Landsat 5	TM	1997-01-09
13	Landsat 5	TM	1998-05-20
14	Landsat 5	TM	1999-11-06
15	Landsat 7	ETM+	2000-05-17
16	Landsat 7	ETM+	2001-05-17
17	Landsat 7	ETM+	2002-03-21
18	Landsat 7	ETM+	2003-05-23
19	Landsat 7	ETM+	2004-05-12
20	Landsat 7	ETM+	2005-05-31
21	Landsat 7	ETM+	2006-05-18
22	Landsat 7	ETM+	2007-05-21
23	Landsat 7	ETM+	2008-06-24
24	Landsat 7	ETM+	2009-06-11
25	Landsat 7	ETM+	2010-05-29
26	Landsat 7	ETM+	2011-06-01
27	Landsat 7	ETM+	2012-05-02
28	Landsat 8	OLI/TIRS	2013-05-29
29	Landsat 8	OLI/TIRS	2014-03-29
30	Landsat 8	OLI/TIRS	2015-04-17
31	Landsat 8	OLI/TIRS	2016-05-05
32	Landsat 8	OLI/TIRS	2017-04-22
33	Landsat 8	OLI/TIRS	2018-04-09
34	Landsat 8	OLI/TIRS	2019-03-27

۲-۲- برآورد مساحت دریاچه از تصاویر ماهواره Landsat با استفاده از شاخص (NDWI)

برای شروع پیش پردازش تصاویر ماهواره Landsat لازم است مراحل تصحیح رادیومتریکی، تصحیح اتمسفری، تغییر دامنه مقادیر DN^۴ و موزائیک کردن تصاویر انجام شود. ماهواره Landsat 7 از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۳ دارای خطای خط اسکن و راه راه شدگی هستند. لازم است تصحیح خطای خط اسکن بر روی تصاویر ماهواره لندست ۷ در این بازه انجام شود. برای انجام این کار بهتر است ابتدا تصحیحات رادیومتریکی و اتمسفری بر روی تصویر صورت پذیرد.

برای انجام تصحیح رادیومتریکی از روش Radiometric Correction و برای تصحیح اتمسفری از روش QUAC^۵ استفاده شد. بعد از انجام تصحیحات لازم است مقادیر DN تمام باندها بین ۰-۱ قرار گیرند. در صورت عدم انجام این مرحله در مرحله پردازش و اعمال شاخصها ممکن است تصویر ما به طور کامل سیاه شود. در نتیجه مقادیر DN در اصطلاح Re-Scale می‌شوند. در این فرآیند مقادیر کمتر از صفر را معادل با صفر، مقادیر بزرگتر از ۱۰۰۰۰ معادل با ۱ و مقادیر بین ۱ تا ۱۰۰۰۰ بر ۱۰۰۰۰ تقسیم می‌شوند. برای این کار Band Math را از Toolbox فراخوانی کرده و رابطه ۱ برای Re-Scale کردن مقادیر DN اعمال می‌شود.

$$DN_{re-scale} = \text{float}((b1 \leq 0) * 0 + (b1 \geq 10000) * 1 + (b1 > 0 \text{ and } b1 < 10000) * \text{float}(\frac{b1}{10000})) \quad (1)$$

که در این رابطه، b1: مقادیر DN باندهای تصویر، le: مقادیر کوچکتر و مساوی صفر (less equal)، ge: مقادیر بزرگتر و مساوی (greater equal)، gt: مقادیر بزرگتر از (greater than) و lt: مقادیر کوچکتر از (less than) هستند.

برای انجام تصحیح خطای خط اسکن در تصاویر ماهواره Landsat 7 سه روش وجود دارد: Single file gape fill (Triangulation)، Two band gap fill (Global histogram matching) و Two band gap fill (Local histogram matching). در روش اول با استفاده از مثلث‌بندی تصاویر مقادیر DN را بازسازی و خطا را رفع می‌کند. در روش دوم و سوم با معرفی یک تصویر بدون خطای خط اسکن در نزدیک‌ترین تاریخ به زمان تصویربرداری دارای خطا از همان موقعیت، تصحیح انجام می‌گیرد. روش دوم و سوم در صورتی بسیار کارآمد هستند که تصاویر اختلاف زمانی زیادی با یکدیگر نداشته باشند و تغییرات عوارض سطح زمین در این بازه زمانی زیاد نبوده باشد. در غیر این صورت روش اول، نسبت به دو روش دیگر ارجح است. در این تحقیق از روش اول استفاده شد.

پس از انجام فرآیند پیش پردازش، می‌توان اطلاعات مورد نیاز را با استفاده از روابط و الگوریتم‌ها از تصاویر استخراج کرد. در این تحقیق برای محاسبه مساحت دریاچه از شاخص NDWI استفاده شد. شاخص NDWI در سال ۱۹۹۶ توسط McFeeters برای تعریف ویژگی‌های آب آزاد و افزایش وضوح آن در تصاویر دیجیتال سنسور از دور ارائه شد. در این شاخص از باند مادون قرمز نزدیک^۶ و سبز^۷ برای افزایش وضوح آب استفاده شد. باند سبز بیشترین بازتاب و باند مادون قرمز نزدیک بیشترین جذب را توسط آب دارد. باید در نظر داشت گیاه و خاک مقادیر منفی شاخص NDWI را به خود اختصاص می‌دهند و آب بازه تغییرات مثبت دارد. به عبارتی در شناسایی آب، NDWI بازه تغییرات مثبت و بزرگتر از صفر دارد (McFeeters, 1996). شاخص NDWI از رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$NDWI = \frac{b_{green} - b_{NIR}}{b_{green} + b_{NIR}} \quad (2)$$

که در این رابطه، b_{green}: باند Green و b_{NIR}: باند Near Infrared هستند.

در این تحقیق بر اساس مطالعات تجربی و مقایسه تصاویر با داده‌های سایت سازمان فضایی ایران به آدرس www.isa.ir، شاخص NDWI در حوضه بختگان و طشک در صورتی که بین صفر تا ۰/۲ باشد، نشان‌دهنده خاک مرطوب و در صورتی که بیشتر از مقدار ۰/۲ باشد نشان‌دهنده پهنه آبی منظور شد.

در طبقه‌بندی اراضی کاربری حوضه از شاخص NDVI در کنار شاخص NDWI استفاده شد. این شاخص از دو باند مادون قرمز نزدیک و قرمز استفاده می‌کند (Tucker et al., 1986). پوشش گیاهی جذب بالای باند قرمز و بازتاب شدید NIR را از خود نشان می‌دهند و پوشش گیاهی آشکارسازی می‌شود. از طرف دیگر بازتاب کم باند قرمز و بازتاب خیلی کم NIR از برخی از پدیده‌ها مثل آب باعث حذف و یا محدود شدن آن‌ها در آشکارسازی می‌شود. این شاخص از داده‌های ارائه شده توسط ایستگاه زمینی، هوایی و یا ماهواره‌ای که دارای سنسور ثبت نور قرمز و مادون قرمز نزدیک هستند، حاصل شده است (Jenson, 1996). شاخص NDVI از رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$NDVI = \frac{b_{NIR} - b_{red}}{b_{NIR} + b_{red}} \quad (3)$$

که در این رابطه، b_{NIR}: باند Near Infrared و b_{red}: باند Red هستند.

نتایج این شاخص می‌تواند در رنج ۰-۱ تا ۰+ باشد. NDVI اگر در بازه ۰/۰۵ تا ۰/۱ باشد معرف پوشش گیاهی تنک، اگر بین ۰/۱ تا ۰/۵ باشد معرف مناطق با پوشش گیاهی نرمال و برای مقادیر بزرگتر از ۰/۵ نشان‌دهنده پوشش گیاهی بسیار متراکم و غنی است (Rezei and Fatemi, 2006).

آب، برف و یخ دارای مقادیر منفی و خاک دارای مقادیر کمتر از ۰/۰۵ هستند. همچنین ابر مقادیر نزدیک به صفر را شامل می‌شود. این شاخص برای شناسایی و مطالعه پوشش گیاهی مناسب است و اطلاعاتی در رابطه با آب‌های آزاد ارائه نمی‌دهد.

۳-۲- محاسبه شاخص بارش استاندارد (SPI)

شاخص بارش استاندارد یک شاخص مناسب برای ارزیابی خشکسالی‌های هواشناسی است. این شاخص یک ابزار کاربردی برای محاسبه شدت و تداوم وقایع خشکسالی است (McKee et al., 1993). برای محاسبه شاخص SPI ابتدا سری زمانی بارندگی ماهانه را بر توزیع احتمالاتی مناسب (غالباً توزیع گاما) برازش داده و سپس آن را به یک توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس یک تبدیل می‌کنند (McKee, 1993; Edwards and McKee, 1997). طبقه‌بندی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI در جدول ۲ آمده است.

در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار ^۱DIP (Morid et al., 2002) که برای محاسبه تعدادی از شاخص‌های خشکسالی ارائه شده است، مقدار SPI در مقیاس ۱۲ ماهه در ماه شهریور بر اساس داده‌های بارش ماهانه در دوره مطالعاتی از ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۹ با استفاده از آمار بارش ۱۷ ایستگاه منتخب برای حوضه بختگان و طشک محاسبه شد. مقیاس SPI-12 در ماه شهریور نشان دهنده تغییرات در سال آبی طی شده است. برای برآورد مقدار میانگین بارش از روش IDW^۱ استفاده و سپس سری حاصل به سری SPI تبدیل شد.

۴-۲- تولید نقشه کاربری اراضی

با استفاده از تصاویر ماهواره Landsat 5 سنجنده TM، Landsat 7 سنجنده ETM و Landsat 8 سنجنده OLI/TIRS در سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶ نقشه کاربری اراضی حوضه تولید و تغییرات کاربری اراضی در این بازه زمانی بررسی شد. باید توجه کرد که در تولید نقشه‌های کاربری اراضی تصاویر اخذ شده در یک سال همگی مربوط به یک ماه باشد. در میان روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده، از

روش حداکثر درست‌نمایی به عنوان دقیق‌ترین و پر استفاده‌ترین روش‌ها یاد شده است (Bolstad and Lissesand, 1991). روش حداکثر درست‌نمایی، واریانس و کواریانس کلاس‌ها را ارزیابی می‌کند. برای این کار فرض می‌شود، همه مناطق آموزشی از پراکنش نرمال برخوردار است. در حقیقت نمونه‌های کلاس‌های آموزشی باید معرف آن کلاس باشند، بنابراین تا حد امکان باید از تعداد نمونه‌های بیشتری استفاده کرد تا تغییرات بسیاری از ویژگی‌های طیفی در این گستره پیوسته قرار گیرد.

به دلیل عدم دسترسی به داده‌های برداشت زمینی و نقشه اراضی منطقه برای انتخاب نمونه‌ها از تصاویر Google Earth استفاده شد. در این روش نمونه‌های موردنظر را انتخاب و با رسم Polygon آن‌ها را مشخص کرده و سپس به کمک نرم‌افزار Google Map فرمت فایل‌های ذخیره شده به فرمت لازم برای نرم‌افزار ENVI 5.3 تبدیل شد. معمولاً رفتار طیفی کلاس‌ها در بعضی از طیف‌های الکترومغناطیس با هم شباهت داشته و بنابراین استفاده از این باندها برای طبقه‌بندی علاوه بر اینکه هیچ کمکی به بهبود فرآیند طبقه‌بندی نمی‌کنند و باعث کاهش سرعت طبقه‌بندی و همچنین افزایش نمونه‌های تمرینی می‌شود. به همین دلیل در این تحقیق از ترکیب باندهای ۱، ۲، ۳، ۴ و شاخص‌های NDVI و NDWI استفاده شد. همچنین خصوصیات عوارض منطقه مثل خصوصیات ارتفاعی و شیب منطقه در نظر گرفته شد. کاربری اراضی در ۹ کلاس شامل پیکره‌های آبی، خاک، زمین‌های باغی، اراضی آبی، مرتع خوب، مرتع متوسط، اراضی دیم، مسکونی و شورزار طبقه‌بندی شد. با بدست آوردن سری زمانی تغییرات اراضی، می‌توان اثر این تغییرات بر مساحت دریاچه‌ها را تفسیر کرد.

۵-۲- مدل پیش‌بینی شبکه عصبی

برای پیش‌بینی مساحت دریاچه بختگان و طشک در سال بعد از مدل شبکه عصبی (ANN^۱) از نوع پیش‌خور چندلایه با تابع انتقال از نوع سیگموئید استفاده شد.

Table 2- Drought classification based on SPI (McKee et al., 1993)
جدول ۲- طبقه‌بندی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI (McKee et al., 1993)

Classification	SPI
Extremely wet	≥2.00
Very wet	1.50 to 1.99
Moderately wet	1.00 to 1.49
Near Normal	0 to 0.99
Moderately dry	-1 to -1.49
Severely dry	-1.5 to -1.99
Extremely dry	-2.00 and less

ضریب مقدار باقی مانده، تمایل مدل به مقدار بیشتر یا کمتر از مقدار مشاهداتی را نشان می‌دهد. مقدار مثبت این ضریب نشان دهنده تمایل مدل برای برآورد مقادیر بیشتر از مقدار مشاهده شده و مقادیر منفی آن نشان‌دهنده تمایل مدل برای برآورد مقادیر کوچکتر از مقدار مشاهده شده است (رابطه ۶):

$$CRM = \frac{\sum_1^n O_i - \sum_1^n P_i}{\sum_1^n O_i} \quad (6)$$

۳- نتایج

۳-۱- سری زمانی تغییرات مساحت دریاچه بختگان و طشک

روند تغییرات مساحت دریاچه بختگان و طشک در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج می‌توان گفت به طور کلی دریاچه بختگان و طشک از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۹ یک روند نزولی را طی می‌کند. از سال ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۳ مساحت دریاچه با یک روند افزایشی روبه‌رو بوده به طوری که حداکثر مساحت آن در ۱۹۹۳ برابر با ۱۴۳۳/۲۸ کیلومتر مربع بوده است. از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۱ تغییرات مساحت مجدداً روند نزولی داشته به طوری که در سال ۲۰۰۱ مساحت دریاچه به ۲۵۱/۸۹ کیلومتر مربع رسیده است. از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ مساحت دریاچه مجدداً افزایش یافته و پس از آن با یک روند به شدت کاهشی روبه‌رو بوده و در سال ۲۰۱۱ دریاچه بختگان و طشک با ۹۸٪ کاهش سطح به مساحتی برابر با ۱۷/۳۳ کیلومتر مربع رسیده و می‌توان گفت به طور کامل خشک شده است. پس از آن در سال ۲۰۱۲ مساحت دریاچه مجدداً افزایش یافته و به ۲۸۳/۶۳ کیلومتر مربع رسیده است. در سال ۲۰۱۹ مساحت دریاچه نسبت به سال ۲۰۱۲، ۳۱/۸٪ افزایش یافته و به مقدار ۴۱۵/۳۵ کیلومتر مربع رسیده است (شکل ۳).

مقادیر وزن‌ها و انحراف‌ها در مدل تحت الگوریتم پس انتشار خطا Levenberg- Marquardt در فرآیند آموزش تعیین شد. در مدل شبکه عصبی مساحت دریاچه بختگان و طشک با یک سال تأخیر، همچنین جریان ورودی و عمق بارش سالانه بر روی سطح دریاچه با یک سال تأخیر به عنوان ورودی مدل در نظر گرفته و مساحت دریاچه در سال آینده به عنوان خروجی مدل ANN معرفی شد. تعداد نورون‌ها در لایه‌ی مخفی با در نظر گرفتن کمترین مقدار RMSE عدد ۲ نورون بدست آمد. طول داده‌های مساحت دریاچه، بارش و جریان ورودی برابر ۳۴ سال است که ۲۴ سال داده به عنوان داده‌های Train، ۵ سال به عنوان داده‌های Validation و ۵ سال به عنوان داده‌های Test در نظر گرفته شد.

شاخص‌های نیکویی برازش مانند ضریب کارایی، جذر میانگین مربعات خطا، ضریب باقی مانده و قدر مطلق خطای نسبی در آموزش مدل مورد توجه قرار گرفت. ضریب کارایی از $-\infty$ تا یک تغییر می‌کند که عدد یک بیانگر بهترین مدل است (رابطه ۴):

$$E = 1 - \frac{\sum_1^n (P_i - O_i)^2}{\sum_1^n (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (4)$$

که در این رابطه، P_i : مقدار محاسباتی مساحت (از مدل شبکه عصبی)، O_i : مقدار مشاهده‌ای مساحت دریاچه و \bar{O}_i : میانگین مقادیر مشاهده‌ای هستند.

به عنوان معیار خطا، جذر میانگین مربع خطا^{۱۱} هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد، مدل مطلوب‌تر است (رابطه ۵):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_1^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (5)$$

در این رابطه، n : تعداد داده‌ها است.

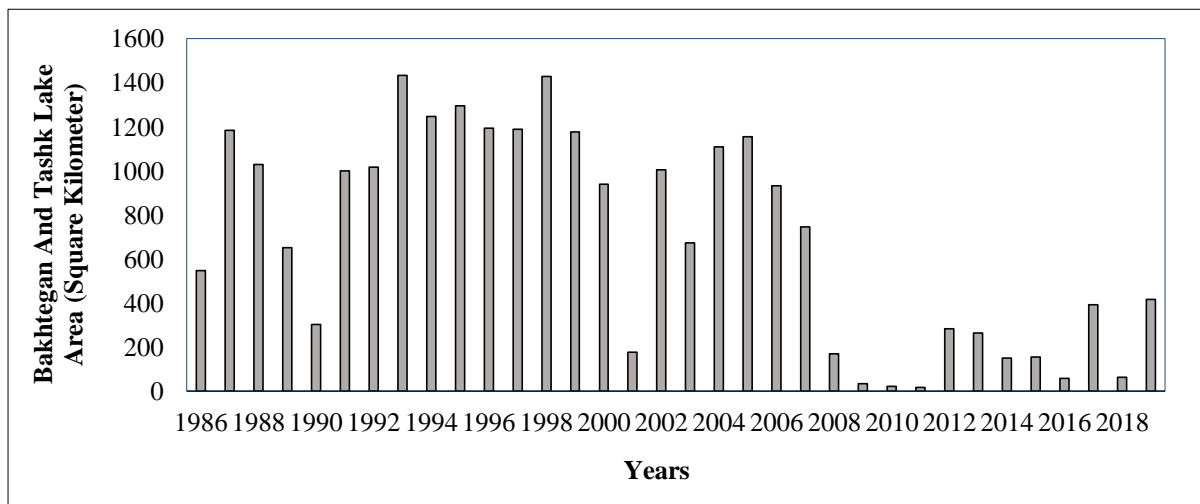


Fig. 2- Time series of Bakhtegan and Tashk lake area (Square Kilometer)

شکل ۲- سری زمانی تغییرات مساحت دریاچه بختگان و طشک (کیلومتر مربع)

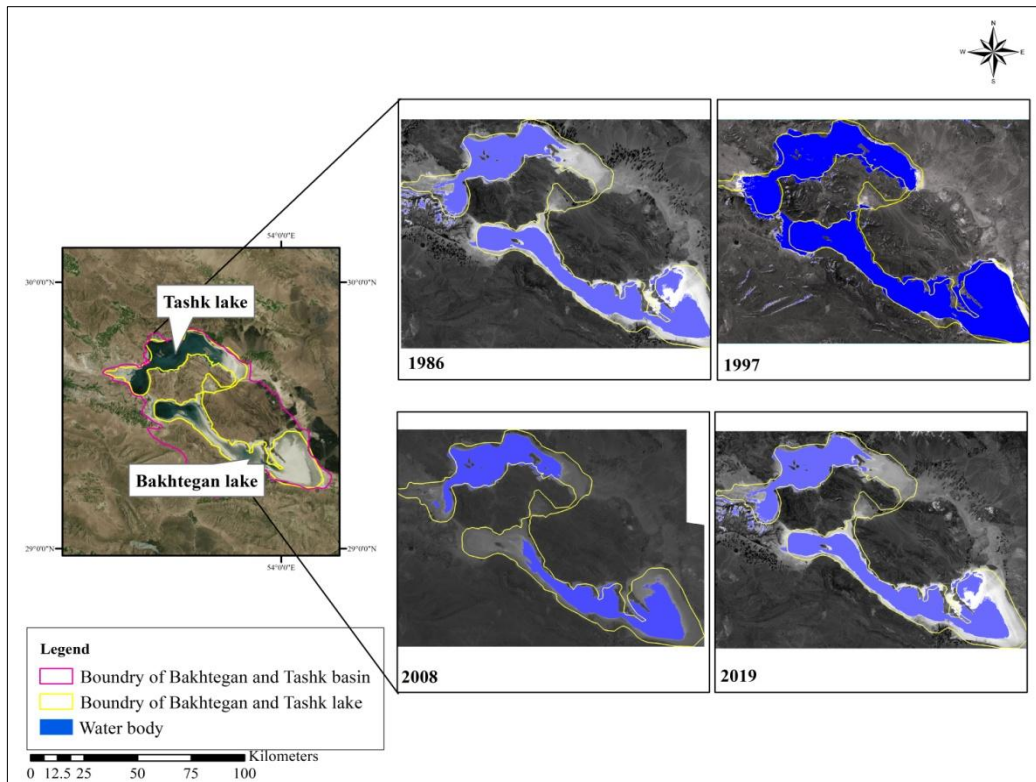


Fig. 3- The area of the Bakhtegan and Tashk lake from 1986 to 2019

شکل ۳- مساحت دریاچه بختگان و طشک از ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۹

ملاييم، خشکسالی شديد و خشکسالی خیلی شديد را تجربه کرده است. در این بازه زمانی، مساحت دریاچه به شدت کاهش یافته به نحوی که در سال ۲۰۱۱ تقریباً به صفر رسیده است که حداقل مقدار مساحت دریاچه را در طول سال‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.

روند تغییرات مجموع جریان ورودی سالانه به دریاچه بختگان و طشک در برابر شاخص SPI-12 نیز در شکل ۴ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود روند تغییرات مجموع ورودی سالانه به دریاچه متناسب با تغییرات شاخص SPI-12 است. به همین دلیل می‌توان گفت این تغییرات به طور مستقیم بر تغییرات مساحت دریاچه مؤثر است. همچنین SPI-12 در ماه شهریور متأثر از ۱۲ ماه قبل است و نشان‌دهنده تغییرات سال آبی طی شده است. این مسأله نشان‌دهنده اثر ترسالی و یا خشکسالی به وقوع پیوسته بر مجموع ورودی سالانه به دریاچه است.

از سال آبی ۲۰۰۷-۲۰۰۸ تا ۲۰۱۱-۲۰۱۲ حوضه در شرایط خشکسالی ملاييم تا شديد بوده و میزان جریان ورودی به دریاچه را تحت تأثیر قرار داده است.

۲-۳- بررسی شاخص SPI در سطح حوضه دریاچه بختگان و طشک و ارتباط آن با تغییرات مساحت دریاچه و جریان ورودی

با توجه به شکل ۴، برای شاخص SPI-12 در حوضه دریاچه بختگان و طشک در طول دوره مطالعاتی از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۹، یک ماه ترسالی خیلی شديد، ۳۰ ماه ترسالی شديد، ۵۵ ماه ترسالی متوسط، ۲۳۹ ماه در شرایط نرمال، ۵۴ ماه خشکسالی متوسط، ۱۵ ماه خشکسالی شديد و ۳ ماه خشکسالی خیلی شديد مشاهده می‌شود. بیشترین تداوم خشکسالی در سال آبی ۲۰۱۸-۲۰۱۹ بوده که به مدت نه ماه حوضه در شرایط خشکسالی متوسط تا شديد قرار داشته است. بعد از آن بیشترین تداوم خشکسالی مربوط به سال‌های آبی ۱۹۹۸-۱۹۹۷ و ۲۰۱۴-۲۰۱۵ است.

در شکل ۴، همچنین روند تغییرات مجموع مساحت دریاچه بختگان و طشک در برابر شاخص SPI-12 نشان داده شده است. مشاهده می‌شود روند تغییرات مجموع مساحت دریاچه تا حدودی تابعی از تغییرات شاخص SPI-12 است. از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۱ حوضه این دریاچه در شرایط نرمال قرار داشته و بعد از آن به ترتیب خشکسالی

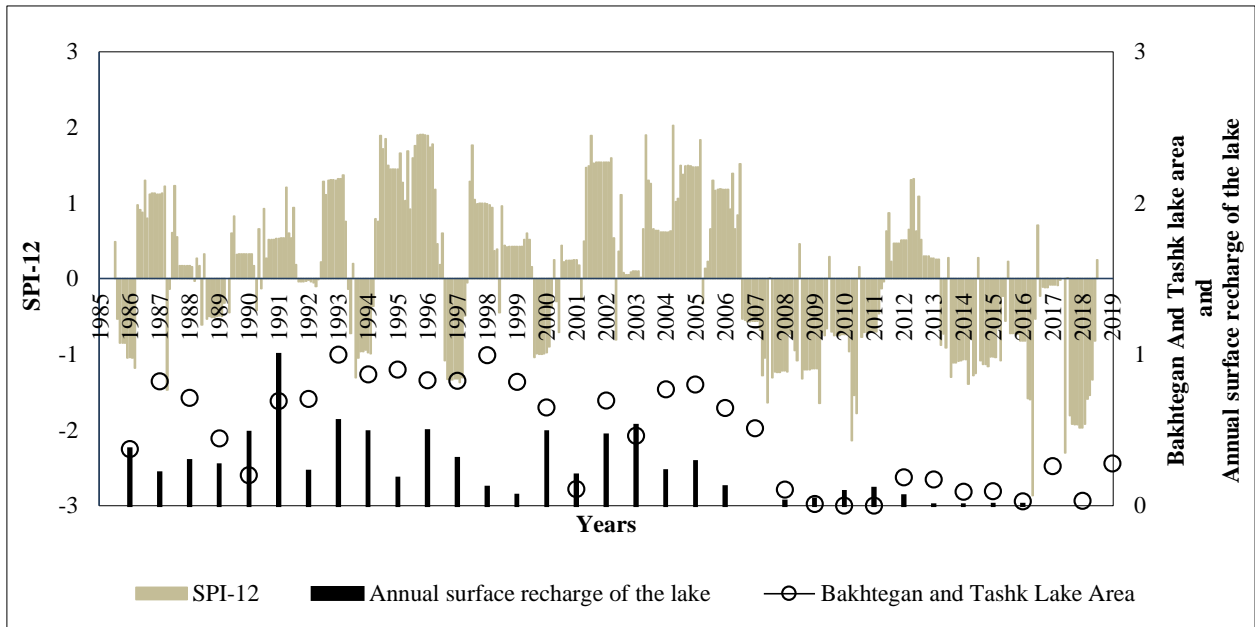


Fig. 4- Bakhtegan and Tashk SPI-12, area of the lake, and annual inflow to the lake
 شکل ۴- SPI-12، ورودی سالانه به دریاچه بختگان و طشک و تغییرات مساحت آن

همچنین روند تغییرات عمق بارش سالانه از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۸ در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به شکل، میزان بارش در حوضه دریاچه بختگان و طشک یک روند نزولی را نشان می‌دهد به طوری که در سال ۲۰۱۰ حداقل میزان بارش برابر با ۱۱۸/۷ میلی‌متر در سال بوده است. از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۲ میزان بارش روندی نسبتاً صعودی داشته اما مساحت دریاچه در این بازه زمانی به شدت کاهش یافته است.

۳-۴- تغییرات کاربری اراضی در حوضه دریاچه بختگان و طشک

با توجه به جدول ۳، مساحت پیکره آبی در سطح حوضه دریاچه بختگان، طشک و مهارلو تغییرات نزولی داشته و در مقابل آن زمین زراعی، باغ، خاک و اراضی مسکونی روندی صعودی دارند. همچنین در مقابل کاهش سطح آب، میزان سطح شوره‌زار افزایش یافته است.

۳-۳- روند تغییرات سطح دریاچه بختگان و طشک با تغییرات جریان ورودی و عمق بارش سالانه

جریان ورودی از دو رودخانه کر و سیوند یکی از مهم‌ترین منابع تغذیه کننده دریاچه بختگان و طشک است. در شکل ۵ روند تغییرات مجموع جریان‌های ورودی سالانه و مساحت دریاچه از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۹ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود روند تغییرات سطح دریاچه با تأخیر یک ساله متأثر از روند مجموع جریان ورودی سالانه است، به این معنی که با افزایش یا کاهش روند جریان ورودی به دریاچه، مساحت دریاچه با یک سال تأخیر تغییر می‌کند. با کاهش جریان ورودی به دریاچه از سال ۱۹۹۶ تا ۱۹۹۹ و از ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۰ مساحت دریاچه بختگان و طشک کاهش یافته و در ۲۰۱۱ به کمتر از ۹۸٪ مقدار حداکثری مساحت رسیده است. حداکثر جریان ورودی به دریاچه در سال ۱۹۹۱ برابر با ۱۱۵۹/۵ میلیون مترمکعب در سال و حداقل جریان ورودی سالانه در سال ۲۰۰۷ برابر با ۱۹/۷۸ میلیون مترمکعب ثبت شده است.

Table 3- Land use changes in Bakhtegan and Tashk basin (Square Kilometer)
 جدول ۳- تغییرات کاربری اراضی حوضه بختگان و طشک (کیلومتر مربع)

Year/Class	Water	Soil	Farm	Garden	Medium Grassland	Good Grassland	Dryland Farming	Residential	Salt Marsh
1986	880.4	29345.4	692	1223	779.7	1134.2	1567.1	1496.5	621.9
2000	943.9	18874.1	3522.3	1450.2	1843.6	654.3	2054.4	1910.5	1050.4
2016	405.9	20173.1	2119.1	1897.1	1612	1026.6	2224.6	4789	1392.3

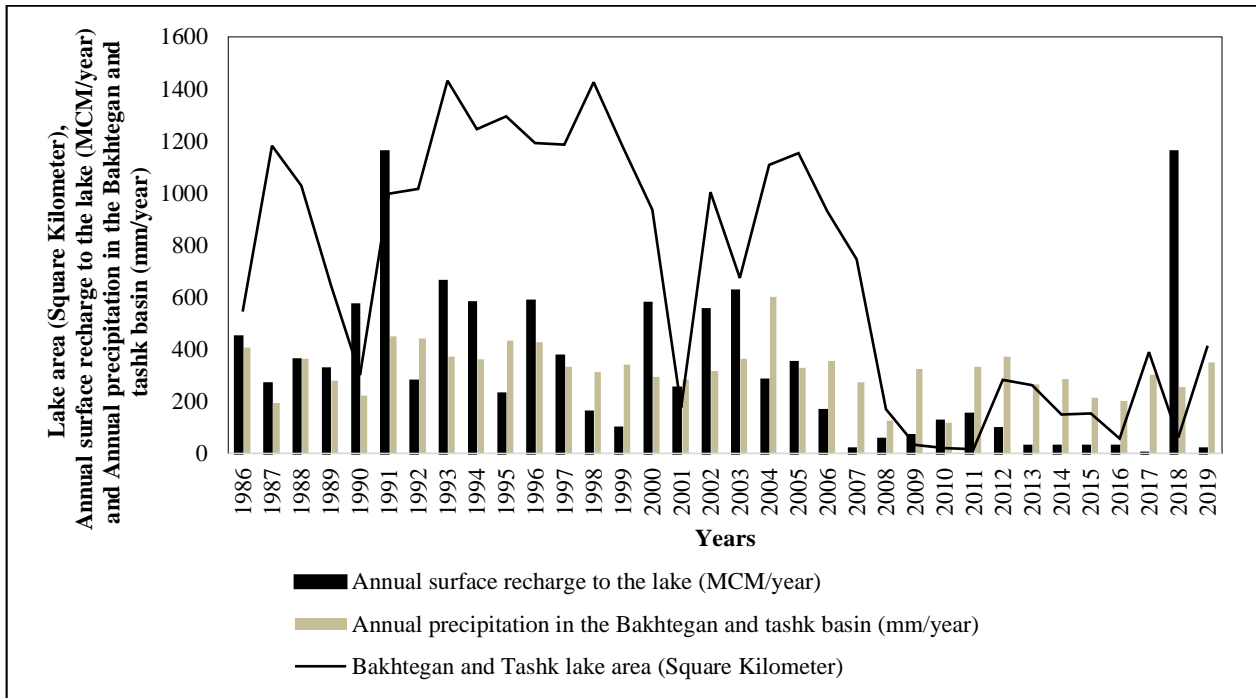


Fig. 5- Bakhtegan and Tashk Lake area (Square Kilometer) along with annual inflow (MCM/year) and annual precipitation (mm/year)

شکل ۵- تغییرات مساحت دریاچه بختگان و طشک (کیلومتر مربع) با ورودی سالانه به دریاچه (میلیون متر مکعب در سال) و عمق بارش سالانه بر روی حوضه (میلی متر در سال)

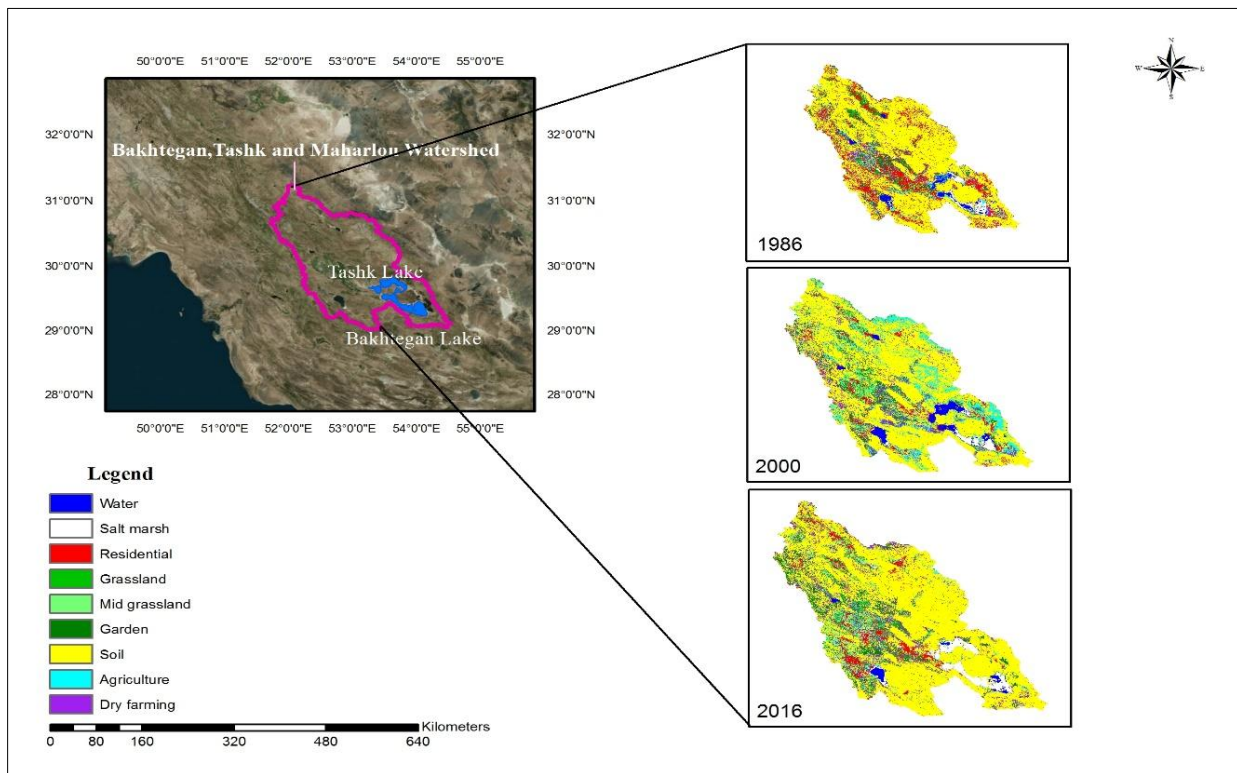


Fig. 6- Land use changes in Bakhtegan, Tashak basin

شکل ۶- تغییرات کاربری اراضی حوضه بختگان و طشک

۳-۵- مدل پیش‌بینی مساحت دریاچه

در جدول ۴ میزان همبستگی تغییرات مساحت دریاچه بختگان و طشک با مجموع ورودی سالانه، عمق بارش سالانه در سطح حوضه و مساحت دریاچه در سال آینده نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان‌دهنده وجود همبستگی تغییرات مساحت دریاچه با این عوامل است.

۱، جریان ورودی به دریاچه در $t-1$ و عمق بارش سالانه بر روی دریاچه در سال $t-1$ به عنوان ورودی‌ها در نظر گرفته شد. طول سری زمانی مساحت دریاچه، بارش و جریان ورودی ۳۴ سال است. شکل ۷ پراکندگی خروجی پیش‌بینی شده نسبت به مشاهده شده را نشان می‌دهد که با توجه به آن می‌توان گفت نتایج قابل قبول است.

پس از پایان اجرای مدل شبکه عصبی و دریافت خروجی مدل، داده‌ها از حالت استاندارد خارج شد. نمودار رگرسیونی برای داده‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و مساحت به دست آمده از مدل در شکل ۸ آمده است.

در انتخاب متغیرهای ورودی مدل باید در نظر داشت مساحت دریاچه در سال t مستقل از مساحت دریاچه در سال $t-1$ نیست. پس از استانداردسازی داده‌ها، مدل شبکه عصبی با در نظر گرفتن مساحت دریاچه در سال t به عنوان متغیر وابسته و مساحت دریاچه در سال $t-1$

Table 4- Correlation between Bakhtegan and Tashk lake area with annual inflow (MCM/year), annual precipitation (mm/year) and lake area in last year (Square Kilometer)

جدول ۴- همبستگی تغییرات مساحت دریاچه بختگان و طشک با میزان جریان ورودی سالانه، عمق بارش سالانه و مساحت دریاچه در سال گذشته

	Annual Inflow _(t-1)	Annual Precipitation _(t-1)	Last year lake area _(t-1)
Lakes area _(t)	0.43	0.54	0.73

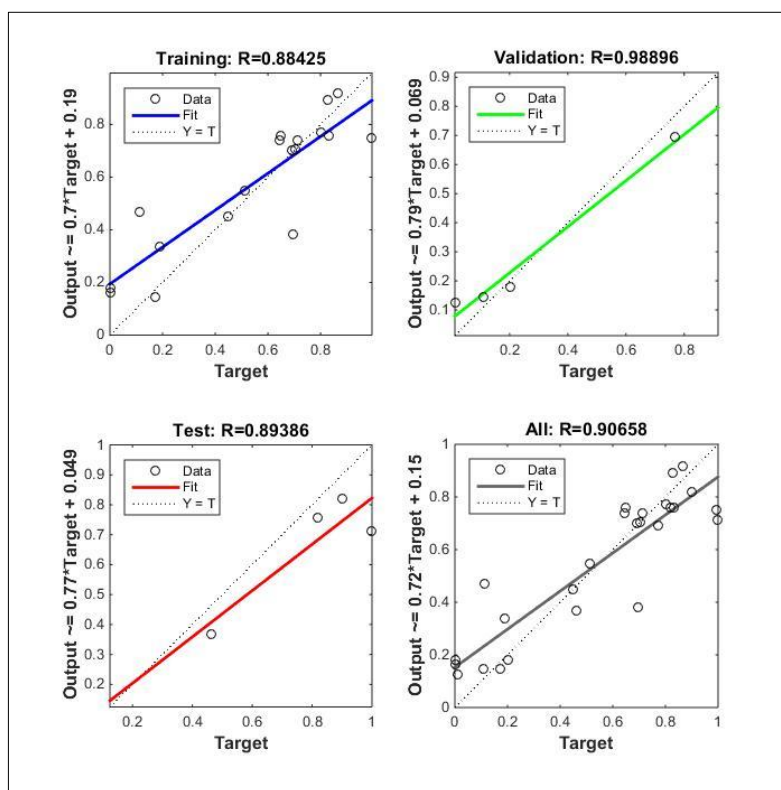


Fig. 7- Scatter plots of ANN forecast model in different phases

شکل ۷- نمودار پراکندگی در مدل پیش‌بینی شبکه عصبی

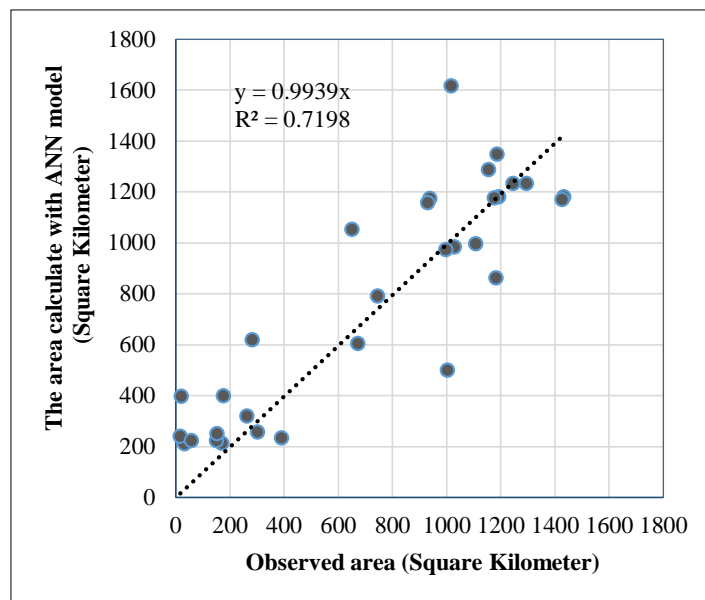


Fig. 8- Scatter plot of simulated Bakhtegan and Tashk lake area (Square Kilometer)
 شکل ۸- پلات پراکندگی مساحت شبیه‌سازی شده دریاچه بختگان و طشک (کیلومتر مربع)

سطح هر حوضه، نقشه کاربری اراضی در سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶ تهیه شد. با توجه به نتایج بدست آمده در زمینه تغییرات مساحت دریاچه و عوامل مؤثر بر آن نتیجه‌گیری زیر ارائه شده است.

در دوره آماری تحقیق، کمترین مساحت دریاچه بختگان و طشک در سال ۲۰۱۱ و برابر با ۱۷/۰۳۸ کیلومتر مربع است. این مقدار در مقایسه با بیشترین مساحت دریاچه در سال ۱۹۹۳ با ۱۴۳۳/۲۸ کیلومتر مربع کاهش ۹۸٪ را نشان می‌دهد. مساحت دریاچه در سال ۲۰۱۲ نسبت به سال ۱۹۹۳، ۸۰٪ کاهش سطح را نشان می‌دهد که این به معنی بهبود جزئی جریان ورودی به دریاچه تحت تأثیر میزان بارش در منطقه نسبت به سال ۲۰۱۱ است. در سال ۲۰۱۹ با توجه به افزایش میزان بارش، مساحت دریاچه روند افزایشی داشته و به مقدار ۴۱۵/۳۵ کیلومتر مربع رسیده است.

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته و تحلیل شاخص بارش استاندارد در سطح حوضه بختگان، طشک و مهارلو در مقیاس ۱۲ ماهه، نتایج نشان می‌دهد شاخص خشکسالی به واسطه تأثیر بر مقدار جریان ورودی، تغییرات مساحت دریاچه را کنترل می‌کند.

۳-۶- اعتبارسنجی مدل

با توجه به جدول ۵، ضریب کارایی مدل برابر ۰/۷۶ است. مقدار عددی جذر میانگین مربعات نیز نشان دهنده مطلوبیت مدل است. مقدار RMSE برای این مدل برابر با ۰/۵۱ کیلومتر مربع است. مقادیر مثبت ضریب مقدار باقیمانده نشان‌دهنده تمایل مدل برای برآورد مقادیر بیشتر از مقدار مشاهده‌ای است و مقادیر منفی آن نشان‌دهنده تمایل مدل برای برآورد مقادیر کوچکتر از مقدار مشاهده‌ای است. در اینجا مقدار CRM کوچکتر از صفر است و نشان‌دهنده تمایل مدل به محاسبه مقدار مساحت کمی کوچکتر از مساحت دریاچه است.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تغییرات مساحت دریاچه بختگان و طشک ارزیابی شد. همچنین، عوامل اقلیمی به عنوان یک عامل تأثیرگذار بر روی مساحت دریاچه با استفاده از شاخص بارش استاندارد مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه اثر حجم جریان ورودی به دریاچه، عمق بارش سالانه در سطح حوضه و همچنین شاخص خشکسالی بارش استاندارد بر روی مساحت دریاچه ارزیابی شد. برای ارزیابی دقیق عوامل مؤثر بر کاهش جریان‌های ورودی به دریاچه در

Table 5- Values of evaluation criteria of Bakhtegan and Tashk lake area model

جدول ۵- مقادیر شاخص‌های ارزیابی مدل دریاچه بختگان و طشک

Error criteria	E	RMSE (Square Kilometer)	CRM
Bakhtegan and Tashk Lake	0.76	0.51	-0.076

- 6- Near Infrared
- 7- Green
- 8- Drought Indices Packages
- 9- Inverse Distance Weighting
- 10- Artificial Neural Networks
- 11- Root Mean Square Error

۵- مراجع

- Bolstad P V, Lillesand T (1991) Rapid maximum likelihood classification. *Journal of Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 57(1):67-74
- Dracup JA, Lee KILE, and Paulson EG (1980) On the definition of droughts. *Water Resources Research* 16(2):297-302
- Edwards D C and T B McKee (1997) Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Department of Atmospheric Science, Colorado State University
- Fatemi B, Rezaei Y (2006) Principles of remote sensing. Azadeh Press, 233p (In Persian)
- Fisher A, Flood N, and Danaher T (2016) Comparing Landsat water index methods for automated water classification in eastern Australia. *Journal of Remote Sensing of Environment* 175:167-182
- Javanmard S, Emamhadi M, Bodagh Jamali J, and Didehvarasl A (2017) Spatial-temporal analysis of drought in Iran using SPI during a long-term period. *Journal of Earth Sciences* 6(2):15-29
- Jensen J.R (1996) Introductory digital image processing: a remote sensing perspective (No. Ed. 2). Prentice-Hall Inc. Available at: <https://doi.org/10.2113/gsegeosci.13.1.89>
- Karimi M, Melesse AM, Khosravi K, Mamuye M, and Zhang J (2019) Analysis and prediction of meteorological drought using SPI index and ARIMA model in the Karkheh River Basin, Iran. *Extreme Hydrology and Climate Variability: Monitoring, Modelling, Adaptation and Mitigation*, 343-353
- Karimi N, Mobasheri M R (2011) Shoreline change analysis of Urmia Lake using multi-temporal satellite images. In Eighteenth National Conference on Geomatics, Iran, Tehran, 88-96
- Khosravi M (2010) Temporal and spatial analysis of the stability of the Hamoon Lakes. *Journal of Iran-Water Resources Research* 6(3):68-79 (In Persian)
- Kiani T, Ramesht M H, Maleki A, and Safakish F (2017) Analyzing the impacts of climate change on water level Fluctuations of Tashk and Bakhtegan Lakes and Its Role in Environmental Sustainability 7:158-178

در بررسی نقشه‌های کاربری اراضی در سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶ مشاهده می‌شود مساحت آبی در سطح حوضه ۵۱٪ کاهش و در مقابل زمین‌های زراعی ۶۷٪ باغ ۳۵٪، مسکونی ۶۹٪ افزایش یافته است. افزایش زمین‌های زراعی و باغ به معنی افزایش برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی است. همچنین، افزایش بخش مسکونی به معنی افزایش برداشت به منظور توسعه صنعت، مصرف خانگی، بهداشت و مواردی از این قبیل است. در ازای کاهش سطح آب، افزایش شورزایی در بستر دریاچه بختگان اتفاق افتاده به نحوی که زمین‌های شور هزار در بستر دریاچه در سال ۲۰۱۶ نسبت به سال ۱۹۸۶، ۵۵٪ افزایش یافته است. این پدیده تهدید جدی برای سلامت انسان و محیط زیست است.

کاهش شدید مساحت دریاچه می‌تواند دلایل متعددی داشته باشد. از جمله توسعه زمین‌های زراعی، باغ‌ها و مناطق مسکونی باعث افزایش برداشت از منابع سطحی و زیرزمینی و همچنین کاهش جریان ورودی به دریاچه شده است. از طرفی، احداث و بهره‌برداری از سد سیوند و ملاصدرا در سال ۲۰۰۷ از دلایل اصلی کاهش جریان ورودی به دریاچه و کاهش مساحت آن است.

(Mozafari and Narangifard 2014) بر روی دریاچه‌ی مهارلو در بازه زمانی ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۹ انجام داد، کاهش بارش علت کاهش مساحت این دریاچه عنوان شد. همچنین، (Kiani et al. 2017) کاهش مساحت دریاچه بختگان و طشک در بازه ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰ را تغییرات اقلیمی و کاهش بارش در سطح حوضه بیان کردند. در هر دو تحقیق به این مسأله اشاره شده است که اثر گسترش فعالیت انسانی در سطح حوضه بر روی تغییرات مساحت دریاچه قابل چشم‌پوشی نیست.

در بخش دیگری از این تحقیق با استفاده از جریان ورودی سالانه به دریاچه، عمق بارش سالانه در سطح حوضه و مساحت دریاچه در سال قبل، مدل شبکه عصبی برای پیش‌بینی مساحت دریاچه در سال آینده ارائه شد. نتایج این مدل با ضریب همبستگی ۰/۷۲ نشان می‌دهد با استفاده از شبکه عصبی تا حد زیادی می‌توان مساحت دریاچه در سال آینده را پیش‌بینی کرد. پیش‌بینی مساحت پیکره‌های آبی می‌تواند در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و محیط زیست مؤثر باشد.

پی‌نوشت‌ها

- 1- Standard Precipitation Index
- 2- Maximum Likelihood
- 3- Normalized Difference Water Index
- 4- Digital Number
- 5- Quick Atmospheric Correction

- Rahimi Balouchi L, Malek Mohammadi B (2012) Application of remote sensing in the conservation and management of wetlands. In 3rd national conference on combating desertification and sustainable development of Iran Desert Wetlands (Relying on Meighan Desert Wetland-2012), 15 September, Islamic Azad University of Arak, Iran (In Persian)
- Shokoohi A, Morovati R (2014) An investigation on the Urmia Lake Basin drought using RDI and SPI indices. *Journal of Watershed Engineering and Management* 6(3):232-246 (In Persian)
- Tong X, Pan H, Xie H, Xu X, Li F, Chen L, and Jin Y (2016) Estimating water volume variations in Lake Victoria over the past 22 years using multi-mission altimetry and remotely sensed images. *Journal of Remote Sensing of Environment* 187:400–413
- Tourian M.J, Elmi O, Chen Q, Devaraju B, Roohi S, and Sneeuw N (2015) A space borne multisensor approach to monitor the desiccation of Lake Urmia in Iran. *Journal of Remote Sensing of Environment* 156:349-360
- Tucker CJ, Justice CO, and Prince SD (1986) Monitoring the grasslands of the sahel 1984-1985. *International Journal of Remote Sensing* 7(11):1984–1985
- Wilhite DA and Glantz MH (1985) Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water International* 10(3):111–120
- Zarei A R (2019) Analysis of changes trend in spatial and temporal pattern of drought over south of Iran using Standardized Precipitation Index (SPI). *Journal of SN Applied Sciences* 1(5):465
- Zhang Z, Ke C (2016) Monitoring and analysis of changes in a wetland landscape in Xingzi county. *Journal of Earth Science Informatics* 9(1): 35–45
- Knutti R, Sedláček J (2013) Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections. *Journal of Nature Climate Change* 3(4):369-373
- Livada I and Assimakopoulos VD (2007) Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the Standardized Precipitation Index (SPI). *Theoretical and Applied Climatology* 153:143–153
- 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, and Kleist J (1993) The relationship of drought frequency and duration to time scales. *AMS 8th Conference on Applied Climatology*, (January), 179–184. Available at: <https://doi.org/citeulike-article-id:10490403>
- Ministry of Energy (2019) Iran water statistical yearbook 2014-2015. *Macro Targets of Water and Wastewater Affairs Press*, 17p (In Persian)
- Mishra AK, Singh VP, and Desai VR (2009) Drought characterization: A probabilistic approach. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 23(1):41–55
- Moghbali A, Delbari M, and Amiri M (2020) Application of a standardized precipitation index for mapping drought severity in an arid climate region, southeastern Iran. *Arabian Journal of Geosciences* 13(5):1-16
- Morid S, Moghadasi M, Ershad S, and Omid M (2002) Drought Indices Packages (DIP). Available at: <http://www.ardebilmet.ir/to/in/download/DIP.zip>
- Mozafari G, Narangifard M (2014) The study of rainfall impact on Maharlou Lake water surface change using remote sensing data. *Journal of Wetland Ecobiology* 6(1):73-82 (In Persian)