



Analysis the effects of drought on water level changes in the Bakhtegan, Tashk and Maharlo lakes

Seyed Hossein Mirmusavi¹



Date of receive:

2023/06/05

Date of last review:

2024/02/13

Date of accept:

2024/04/10

Date of online publication:

2024/04/20

Extended Abstract

Introduction

In hydrological drought, water scarcity spreads through the hydrological cycle and can subsequently reduce groundwater levels, surface water and lake levels, and this means that hydrological drought dominates those areas, leading to long-term effects. In addition, due to climate changes and rainfall and temperature anomalies, droughts have increased in frequency and severity in many regions of the world. The predicted changes for the coming years show that climate variables will not have uniform changes in all regions and regional changes in the amount of precipitation may lead to the creation of hydrological patterns much different from the current conditions. The present study was also carried out with the aim of spatial analysis of drought effects on water level changes in the catchment area of Bakhtegan, Tashk and Maharlo lakes. In this research, an attempt has been made to identify temporal and spatial patterns of changes in the level of this lakes by using satellite images and spatial analysis models.

Materials and Methods

In the present study, Landsat 5(TM), 7(ETM+) and Landsat 8(OLI) satellite images with a resolution of 30 meters have been used in the period of 2000-2021 to investigate water level changes. Due to the fact that the water level of the studied lakes changes drastically with the rainfall of different months, therefore, it is difficult to determine the amount of water cover for a year without considering the fact that a part of this cover is seasonal and when the rainfall decreases, a part of the lake Dry may not provide accurate results. Based on this, in the present study, one image was used for each month for each year studied to evaluate the changes in the water level of the lakes in all months of the year.

Conclusion and Discussion

The investigation of the changes in the water level of Maharlo Lake shows that in the drought of 2108 and 2017, the permanent water level of the lake has decreased to 1.8 square kilometers. Meanwhile, in the severe and very severe drought of 2005 and 2004, the permanent water level reached 170.4 square kilometers. Examining the changes in the area of Tashek Lake in 15 years of drought shows that the area of the waterless part of this lake has increased more than the seasonal and permanent water. The highest amount in this field was in 2021 with a very severe drought, which shows that this lake has more critical conditions in terms of permanent dryness than Maharlo Lake. ... ► Page 140

Keywords:

Drought,
Palmer index,
Bakhtegan,
Tashk and Maharlo lakes

This lake has been in a terrible state for 5 years. Comparing the changes in the area of Bakhtegan lake in different years shows that this lake has a more critical situation than its neighboring lakes (Maharlo and Tashk), so that in a significant number of years (12 years) the lake lacked permanent water and only with monthly or seasonal rains, some water has been temporarily collected on its surface, but it has a short shelf life between 2 to 6 months (November to May).

Results

The results of the evaluation and analysis of the role of drought in the water level changes of the Bakhtegan, Tashk and Maharlo catchment lakes showed that the area of these lakes has decreased significantly during the studied period, so that over time the area of the water area has decreased. It has been permanently reduced and added to the dry and waterless area. The maximum decrease in the water level of all three investigated lakes occurred during a 6-year drought between 2008 and 2013, in such a way that the area of the part with permanent water was greatly reduced and the area of the dry part of the lakes was increased.



تحلیل اثرات خشکسالی بر تغییرات سطح آب دریاچه‌های بختگان، طشک و مهارلو

سیدحسین میرموسوی^۱

چکیده

خشکسالی یکی از مهم‌ترین مخاطرات اقلیمی است که تأثیرات زیادی بر بخش‌های مختلف طبیعی و فعالیت‌های انسانی دارد. از مهم‌ترین اثرات خشکسالی تأثیر آن بر کاهش آب‌های سطحی در حوضه‌های آبریز است که نهایتاً با کاهش ورودی رودخانه‌ها به دریاچه‌ها، سبب خشک شدن تدریجی آن‌ها می‌شود. بر این اساس در پژوهش حاضر سعی بر آن شده است تا اثر خشکسالی بر روی دریاچه‌های بختگان، طشک و مهارلو استان فارس در طی دوره ۲۰۲۱-۲۰۰۰ مورد بررسی قرار گیرد. برای این منظور از تصاویر ماهواره لندست ۵ تا ۸ استفاده شده است. همچنین به منظور پایش خشکسالی از شاخص پالمر استفاده شده و براساس این شاخص فراوانی و شدت وقوع خشکسالی در ایستگاه‌های منتخب برای هر سه دریاچه استخراج شده است. به منظور برآورد مساحت دریاچه‌ها، از شاخص استخراج خودکار آب (AWED) بهره گرفته شده است. نتایج حاصل از ارزیابی خشکسالی نشان می‌دهد که در ۲۲ سال مورد مطالعه، در دو ایستگاه منتخب طشک و بختگان ۱۵ سال و در ایستگاه منتخب مهارلو ۱۴ سال خشکسالی با شدت‌های مختلف اتفاق افتاده است. طولانی‌ترین خشکسالی با تداوم شش ساله بین سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۳ به وقوع پیوسته که در این دوره سطح آب دریاچه‌ها به شدت کم شده است. تحلیل تغییرات سطح آب در این دریاچه‌ها نیز نشان داد که بیشترین مساحت دریاچه‌ها را رودخانه‌های فصلی به خود اختصاص داده‌اند. این موضوع نشان می‌دهد سطح آب این دریاچه‌ها به شدت از بارش‌های فصلی تبعیت می‌کند. در بررسی تصاویر ماهانه نیز مشخص شد در هر سه دریاچه سطح آب فصلی در بین ماه‌های آبان تا اردیبهشت افزایش پیدا می‌کند. میزان ماندگاری آب فصلی نسبت به سال‌های مختلف در دریاچه‌ها متفاوت بوده ولی میزان آن به‌طور کلی بین ۳ تا ۷ ماه است.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۳/۱۵

تاریخ آخرین بازنگری:

۱۴۰۲/۱۱/۲۴

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۱/۲۲

تاریخ انتشار:

۱۴۰۳/۰۲/۰۱

واژه‌های کلیدی:

خشکسالی؛

شاخص پالمر؛

دریاچه‌های بختگان،

طشک و مهارلو

۱- مقدمه

موضوع، مطالعات متعددی برای آشکارسازی این بحران‌ها توسط محققین در داخل کشور انجام شده است که از آن جمله می‌توان به مظفری و نارنگی‌فرد (۱۳۹۲:۷۳) اشاره نمود که در مطالعات خود نسبت به بررسی میزان بارش بر تغییر سطح آب دریاچه مهارلو با استفاده از داده‌های سنجش از دور اقدام نمودند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که مساحت دریاچه در سال ۲۰۰۹ نسبت به مدت مشابه آن در سال ۱۹۹۹ کاهش در حدود ۱۰۷ کیلومتر مربع داشته است که این موضوع به کاهش ۲۰۰ میلی‌متری بارش در همان سال مربوط می‌شود. مرتضایی و همکاران (۲۰۱۳:۲) نسبت به بررسی میزان بارش بر تغییر سطح دریاچه‌ی بختگان و مهارلو با استفاده از داده‌های سنجش از دور سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶ اقدام نمودند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات بارش یکی از عوامل مهم مؤثر در تغییرات سطح آب این دریاچه‌ها است. نتایج مطالعات سمیعی و همکاران (۱۳۹۶:۱) در زمینه بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر تغییرات سطح آب دریاچه مهارلو نیز نشان داد که نوسانات بارش عامل ۵۸ درصد از تغییرپذیری در سطح دریاچه محسوب می‌شود. لرستانی و همکاران (۱۳۹۶:۸) نیز اثر پارامترهای اقلیمی در تغییرات مساحت دریاچه بختگان و طشک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که پارامترهایی چون تغییرات دما، بارش و آورد رودخانه، اثر ساخت سد از جمله عوامل مؤثر در کاهش آب این دریاچه‌ها هستند.

از مطالعات دیگر در زمینه اثرات نوسانات بارش و متغیرهای اقلیمی بر تغییرات آب‌های سطحی می‌توان به وفاه خواه و رجبی (۱۳۸۴:۳۸۲) در حوضه آبخیز دریاچه‌های بختگان، طشک و مهارلو؛ تنگستانی و همکاران (۱۳۹۲:۱۸۹) در دریاچه بختگان؛ نظم‌فر و همکاران (۱۳۹۳:۶۷۷) در دریاچه مهارلو و مرادی و روستا (۱۳۹۵:۱۰) در دریاچه پریشان اشاره نمود.

موضوع تحلیل اثرات خشکسالی بر روی آب‌های سطحی توسط محققان در سطح جهان نیز مورد بررسی قرار

خشکسالی از مهم‌ترین مخاطرات اقلیمی است که به صورت آرام و تدریجی اتفاق می‌افتد و به مرور زمان بسیاری از بخش‌های محیط طبیعی و انسانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. خشکسالی هیدرولوژیکی زمانی اتفاق می‌افتد که موجب کاهش شدید منابع آبی شود (زینالی و همکاران، ۱۳۹۶:۱۷۴). خشکسالی هواشناسی می‌تواند به سرعت آغاز و پایان یابد، در حالی که فرایند خشکسالی هیدرولوژیکی بسیار طولانی بوده و ممکن است سال‌ها ادامه داشته باشد (سلیمانی و حقی‌زاده، ۱۳۹۴:۱۰۸). در طول خشکسالی هیدرولوژیکی، کمبود آب از طریق چرخه هیدرولوژیکی گسترش می‌یابد و متعاقباً می‌تواند سطح آب‌های زیرزمینی، آب‌های سطحی و سطح دریاچه‌ها را کاهش دهد و این به معنای تسلط خشکسالی هیدرولوژیکی در آن مناطق است که منجر به اثرات طولانی مدتی می‌شود (تالاکسن و ون لانن، ۲۰۰۴:۲۰). علاوه بر این تغییرات اقلیمی و ناهنجاری‌های بارشی و دما موجب شده است تا در بسیاری از مناطق جهان، خشکسالی‌ها از نظر فراوانی و شدت، ویژگی‌های افزایشی داشته باشند (دای، ۲۰۱۳:۵۲). تغییرات پیش‌بینی شده برای سال‌های آتی نشان می‌دهد که در همه مناطق متغیرهای اقلیمی، تغییرات همگونی نخواهند داشت و تغییرات منطقه‌ای در میزان بارش ممکن است منجر به ایجاد الگوهای هیدرولوژیکی بسیار متفاوت‌تر از شرایط کنونی شود (ترنبرس^۲ و همکاران، ۲۰۱۴:۱۸).

ایران کشوری است که در بخش وسیعی از آن، اقلیم خشک و نیمه خشک غالب بوده و به همین دلیل توجه به منابع آب و حفاظت از آن‌ها دارای اهمیت بسیار زیادی است. در دهه‌های اخیر به دلایل مختلف از جمله تغییرات اقلیمی، خشکسالی‌های متوالی و مدیریت نامطلوب بر منابع طبیعی سبب شده است تا بسیاری از منابع آبی کشور در معرض تهدید و نابودی قرار گیرند. بر این اساس با توجه به

1- Tallaksen, L.M & van Lanen, H.A.J

2- Dai

3- Trenberth, K.E

می‌تواند در طولانی مدت باعث بحرانی شدن وضعیت این دریاچه شود. پایوس^۱ و همکاران (۱۶:۲۰۲۰) نسبت به مطالعه تأثیر خشکسالی‌های شدید بر تغییرات سطح آب در شمال بورنئو اقدام و برای این منظور از داده‌های هواشناسی و تکنیک‌های سنجش از راه دور استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که خشکسالی‌های شدید و متوالی در بخش شمال و شمال شرقی محدوده مورد مطالعه آن‌ها سبب کاهش شدید در ورودی آب رودخانه‌ها به دریاچه پشت سدها شده و از نظر منابع آب آن‌ها را در وضعیت بحرانی قرار داده است.

پژوهش حاضر نیز با هدف مطالعه اثرات خشکسالی بر تغییرات سطح آب در دریاچه‌های بختگان، طشک و مهارلو انجام گرفته است. در این پژوهش سعی شده است تا با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای به صورت ماهانه تغییرات سطح آب در سه بخش محدوده بدون آب، محدوده با آب فصلی و مساحت آب دائمی (وجود آب در ۱۲ ماه سال) مورد بررسی قرار گیرد و تحلیل‌های لازم در خصوص میزان و شدت تغییرات آن‌ها انجام شود.

۲- مواد و روش

حوضه آبریز بختگان، طشک و مهارلو با مساحتی حدود ۳۱۴۹۲ کیلومتر مربع در فاصله ده کیلومتری شرق شهر شیراز واقع شده است. بررسی وضعیت توپوگرافی منطقه نشان می‌دهد که نیمه شمالی حوضه مناطق مرتفع با حداکثر ارتفاع ۳۹۱۰ متر و نیمه جنوبی آن مناطق پست با حداقل ارتفاع ۱۳۶۶ متر از سطح دریا است (کیانی و همکاران ۱۷:۲۰۱۷). این حوضه آبریز به دلیل اینکه دومین حوضه از نظر دریاچه‌های داخلی ایران است، جایگاه و اهمیت ویژه‌ای از نظر هیدرولوژیکی و محیطی دارد (نگاره ۱).

دریاچه‌های مهارلو، بختگان و طشک مهم‌ترین دریاچه‌های این حوضه هستند. دریاچه مهارلو با مساحت ۲۴۳/۵ کیلومتر مربع و با عمق بین ۰/۵ تا ۳ متر در فاصله ۱۰ کیلومتری از

گرفته است. لامپرس و اتانیوس^۱ (۴:۲۰۰۹) در مطالعه‌ای در زمینه پاسخ هیدرولوژیکی به خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی پالمر در تسالالی یونان به نتیجه رسیدند که در همه حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه، صرف‌نظر از ویژگی‌های منطقه، ژئوفیزیک و هیدروکلیماتیک آن‌ها، شاخص PDSI شاخص مناسبی برای نشان دادن ناهنجاری سطح آب رودخانه‌ها و رطوبت خاک در آن‌ها است. ونلون و ونلان^۲ (۱۳:۲۰۱۳) در مطالعات خود در زمینه بررسی اثر خشکسالی بر روی منابع آب در حوضه آبریز گوادیانا در اسپانیا از مدل‌های سری‌های زمانی و هیدرولوژیکی استفاده نمودند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد علی‌رغم اینکه خشکسالی تأثیر مهمی بر سطح منابع آبی دارد ولی برداشت بی‌رویه از منابع آب بیش از چهار برابر تأثیر بیشتری از خشکسالی دارد. لوک^۳ (۲۰۳:۲۰۱۵) در مطالعه‌ای در زمینه بررسی اثرات خشکسالی بر آب‌های شیرین به نتیجه رسید که تغییر اقلیم در طی دهه‌های اخیر منجر به افزایش شدت و طول مدت خشکسالی‌ها در کره زمین شده و این موضوع ضمن کاهش سطح آب دریاچه‌ها و رودخانه‌ها باعث افت کیفیت آب آن‌ها نیز شده است. زانگ^۴ (۶۳۵:۲۰۱۸) به مطالعه تغییرات سطح آب دریاچه ایاکمو در فلات کینچای تبت در ۳۰ سال گذشته اقدام نمود و بر اساس روش من-کندال به این نتیجه رسید که به دلیل افزایش قابل ملاحظه در میزان بارش این حوضه، سطح آب دریاچه ۵۱/۳ درصد افزایش پیدا کرده است. زانگ^۵ و همکاران (۱۷:۲۰۲۰) در مطالعات خود در زمینه بررسی اثرات خشکسالی بروی سطح آب دریاچه ابینور در سین کیانگ چین از شاخص خشکسالی SPEI استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که وقوع خشکسالی‌های متوالی در این حوضه آبریز باعث کاهش شدید آب این دریاچه شده است و از نظر آن‌ها این موضوع

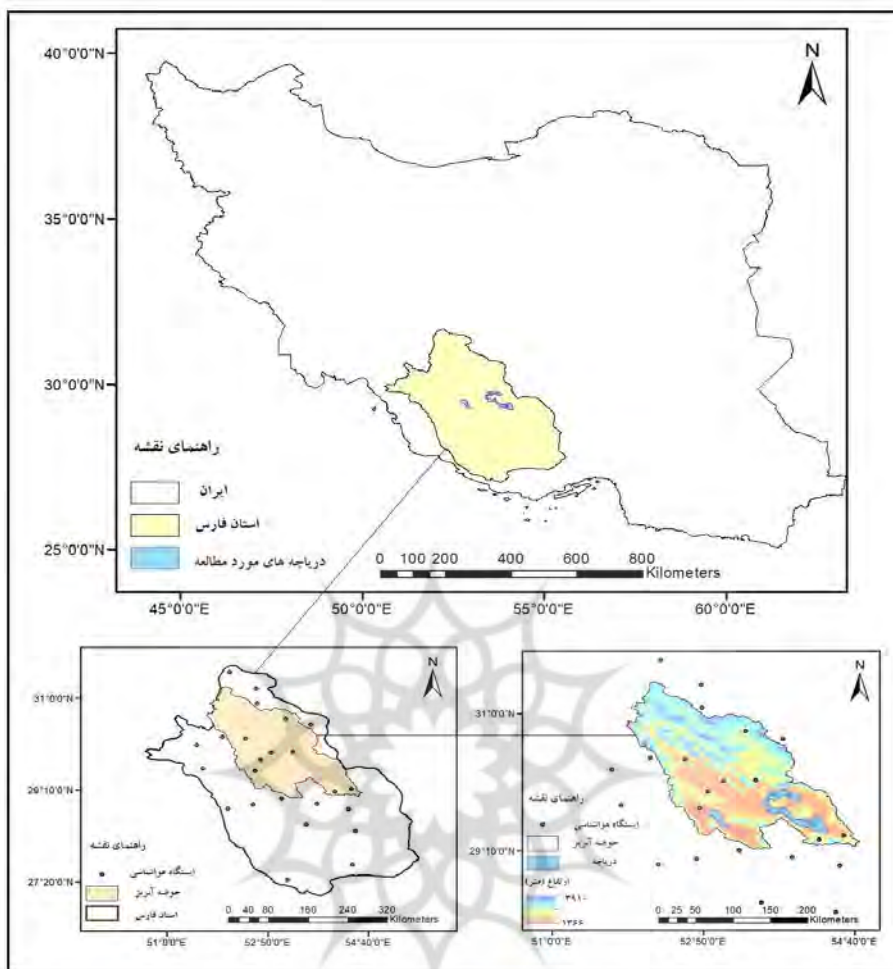
1- Lampros, V& Athanasios L

2- Van Loon, A. F., & H. A. J. Van Lanen

3- Luke, M

4- Zhang, Z

5- Zhang, J., Ding, J., Wu, P



نگاره ۱: موقعیت جغرافیایی و پراکندگی ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه

شهر شیراز واقع شده است. پهنای دریاچه ۱۵-۱۰ کیلومتر و طول آن ۲۸ کیلومتر است (کاظمی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۱۳۲). دریاچه بختگان با مساحتی حدود ۷۵۰ کیلومتر مربع و عمق بین ۳۰ سانتی‌متر تا حداکثر ۳ متر در مواقع پر آبی، در ۱۴ کیلومتری شمال استهبان و ۷۷ کیلومتری غرب نی‌ریز واقع شده است. این دریاچه ۱۷ کیلومتر طول و ۱۰ کیلومتر پهنای دارد. دریاچه طشک نیز با مساحتی حدود ۴۱۰ کیلومتر مربع در مجاورت بخش شمالی دریاچه بختگان واقع شده است. عمق این دریاچه بین ۰/۵ تا حداکثر ۳/۱ متر متناسب با میزان آب ورودی ناشی از بارش و آب‌های سطحی متغیر است (سجادی‌پور و زارعی، ۲۰۱۷: ۲۴۷). رودخانه‌های متعددی عامل تغذیه این دریاچه‌ها هستند که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به رود کر و رود سیوند اشاره نمود که نقش مؤثری در تأمین آب دریاچه‌های طشک و بختگان دارند. در پژوهش حاضر به منظور بررسی تغییرات سطح آب از تصاویر ماهواره‌ای لندست (TM) 5، (ETM+) 7 و Landsat 8 (OLI) با قدرت تفکیک ۳۰ متر در بازه زمانی سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۰۰ استفاده شده است. با توجه به اینکه سطح آب دریاچه‌های مورد مطالعه به شدت با بارش ماه‌های مختلف تغییر می‌کند لذا تشخیص مقدار پوشش آب برای یک سال بدون در نظر گرفتن این موضوع که بخشی از این پوشش، فصلی است و با کم شدن بارش، بخشی از دریاچه خشک می‌شود ممکن است نتایج دقیقی را ارائه ندهد. بر این مبنا در پژوهش حاضر برای هر کدام از سال‌های مورد مطالعه

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۳)

تحلیل اثرات خشکسالی بر تغییرات سطح آب دریاچه‌های بختگان، طشک و مهارلو / ۱۴۵

دریاچه‌ها داشته باشند به منظور انتخاب مناسب‌ترین ایستگاه به‌عنوان ایستگاه منتخب برای محاسبه وضعیت خشکسالی، از داده‌های ماهواره‌ای سنجنده مادیس و داده بارش ماهواره TRMM با قدرت تفکیک ۰/۲۵ درجه در طی دوره مورد مطالعه استفاده شد و متغیرهای مذکور برای هر دریاچه به تفکیک استخراج شد (جدول ۲). بررسی رابطه همبستگی بین داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی با داده‌های ماهواره‌ای سطح دریاچه‌ها نشان داد که ایستگاه شیراز با همبستگی ۹۱ درصد مؤثرترین ایستگاه برای محاسبه شدت خشکسالی در دریاچه مهارلو و ایستگاه نی‌ریز با همبستگی ۸۹ درصد مؤثرترین ایستگاه برای دریاچه بختگان و ایستگاه زرقان با همبستگی ۸۸ درصد مؤثرترین ایستگاه برای دریاچه طشک است. لذا ایستگاه‌های مذکور به منظور محاسبه شاخص خشکسالی برای دریاچه‌های مورد مطالعه انتخاب شدند.

جدول ۲: میانگین دما و میانگین مجموع بارش سالانه دریاچه‌های مورد مطالعه بر اساس داده‌های ماهواره‌ای (۲۰۰۰-۲۰۲۱)

نام دریاچه	میانگین دمای سالانه (سانتی‌گراد)	میانگین مجموع بارش سالانه (میلی‌متر)
مهارلو	۱۹/۱	۲۹۶/۱۹
بختگان	۱۸/۱	۲۰۱/۶۷
طشک	۱۹/۴۱	۲۶۵/۶۸

در پژوهش حاضر به منظور محاسبه شدت خشکسالی و ترسالی از شاخص پالمر استفاده شد (جدول ۳). علت استفاده از این روش انجام واسنجی و صحت‌سنجی خشکسالی پالمر توسط آزادی و همکاران (۳۰۵:۱۳۹۴) بر روی حوضه‌های ایران مرکزی و از جمله حوضه مهارلو و تأیید دقت نتایج این روش است. برای محاسبه شاخص پالمر، ضمن انجام فرایند نرمال‌سازی بر روی داده‌های بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه، آب قابل دسترس و رطوبت خاک بر اساس خروجی حاصل از مدل SWAT برای محدوده مورد مطالعه استخراج شد. برای این منظور

و برای هر ماه یک تصویر استفاده شد تا تغییرات سطح آب دریاچه‌ها در همه ماه‌های سال مورد ارزیابی قرار گیرد. با توجه به ۲۲ سال مورد مطالعه تعداد ۲۶۴ تصویر انتخاب و از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) اخذ شد. به منظور بهینه‌سازی در تشخیص تغییرات سطوح آبی، فیلتر پوشش ابر کمتر از ۱۰ درصد بر روی تصاویر اعمال و هم چنین تصحیح خطای اتمسفری و خطای رادیومتری نیز در تصاویر انجام شد.

به منظور بررسی وضعیت خشکسالی بر اساس شاخص خشکسالی پالمر از داده‌های میانگین ماهانه دمای هوا و مجموع ماهانه بارندگی طی دوره آماری سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۰۰ تعداد ۱۴ ایستگاه هواشناسی استان فارس که در مجاورت دریاچه‌های مورد مطالعه قرار داشتند استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱: میانگین دما و میانگین مجموع بارش سالانه ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه (۲۰۰۰-۲۰۲۱)

نام ایستگاه	میانگین دمای سالانه (سانتی‌گراد)	میانگین مجموع بارش سالانه (میلی‌متر)
درد زن	۱۷/۷۵	۴۲۳/۶
بوانات	۱۳/۹	۲۱۳/۸
زرقان	۱۷/۷	۲۷۰/۴
شیراز	۱۸/۶	۲۸۷/۳۴
نیریز	۱۹/۸	۱۹۶/۵
استهبان	۱۷/۵	۲۵۳/۸
فسا	۱۹/۶	۲۵۸/۹
داراب	۲۲/۳	۲۴۴/۲
جهرم	۲۰/۹	۲۷۱/۴
اقلید	۱۳/۲	۳۲۴/۲
لار	۲۴/۱	۱۸۶/۲
لامرد	۲۵/۸	۱۹۶/۷
تخت جمشید	۱۷/۶	۲۸۶/۵
ایزدخواست	۱۳/۸	۱۵۳/۲

با توجه به اینکه تعدادی از این ایستگاه‌ها در فاصله بیشتری نسبت به دریاچه‌های مورد مطالعه قرار داشتند و امکان داشت ویژگی‌های اقلیمی متفاوتی نسبت به این

جدول ۳: طبقات شدت خشکسالی پالم (یو و مکاران، ۲۰۱۹: ۶)

شدت خشکسالی	مقادیر شاخص	شدت ترسالی	مقادیر شاخص
خشکسالی بسیار شدید	۴- و بالاتر	ترسالی بسیار شدید	۴ و بالاتر
خشکسالی شدید	۳/۹۹- تا ۳-	ترسالی شدید	۳ تا ۳/۹۹
خشکسالی متوسط	۲/۹۹- تا ۲-	ترسالی متوسط	۲ تا ۲/۹۹
خشکسالی ضعیف	۱/۹۹- تا ۱-	تقریباً مرطوب	۱ تا ۱/۹۹
تا حدی خشک	۰/۹۹- تا ۰/۵-	تا حدی مرطوب	۰/۵ تا ۰/۹۹
نرمال ۰/۴۹ تا ۰/۴۹-			

بر اساس شباهت هیدرولوژیکی و اقلیمی، میانگین وزنی این اطلاعات برای هر کدام از ایستگاه‌های منتخب محاسبه و ضرایب شاخص پالم برای آن‌ها استخراج شد. پس از بررسی ضرایب چهارگانه بیلان آبی و اطمینان از انطباق آن‌ها با شرایط ایستگاه‌ها، بارش و انحراف رطوبتی محاسبه شد (رابطه‌ی شماره ۱ و ۲) و در مرحله بعد با محاسبه ضرایب اقلیمی ایستگاه‌ها در شرایط تر و خشک، مقدار نهایی شاخص انحراف رطوبتی برآورد و با بررسی ضرایب همبستگی از دقت خروجی مورد نظر اطمینان حاصل شد و بر این اساس مقادیر خشکسالی در طی دوره مورد مطالعه بر اساس روابط (۱) و (۲) استخراج شدند:

$$AWEInsh = 4x(pband2 - pband5) - (0.25x pband4 + 2.75x pband7)$$

رابطه (۳)

$$AWEIsh = pband1 + 2.5x pband2 - 1.5x(pband4 + pband5) - 0.25x pband7$$

رابطه (۴)

همچنین به منظور بررسی تغییرات سالانه سطح آب در حوضه آبریز بختگان، طشک و مهارلو با استفاده از چندین شاخص مختلف نظیر شاخص اختلاف آب نرمال شده (NDWI)، شاخص اختلاف آب نرمال شده اصلاح شده (MNDWI) و شاخص استخراج خودکار آب (AWEI) نسبت به ارزیابی این شاخص‌ها در تشخیص بهینه تغییرات سطح آب در حوضه آبریز اقدام شد. برای بررسی میزان تغییرات هر کدام از شاخص‌های مذکور از طبقه‌بندی نظارت شده استفاده شد و میزان خطای هر کدام از این روش‌ها با استفاده از روش RMSE برآورد شد. بر این اساس شاخص

میانگین وزنی این اطلاعات برای هر کدام از ایستگاه‌های منتخب محاسبه و ضرایب شاخص پالم برای آن‌ها استخراج شد. پس از بررسی ضرایب چهارگانه بیلان آبی و اطمینان از انطباق آن‌ها با شرایط ایستگاه‌ها، بارش و انحراف رطوبتی محاسبه شد (رابطه‌ی شماره ۱ و ۲) و در مرحله بعد با محاسبه ضرایب اقلیمی ایستگاه‌ها در شرایط تر و خشک، مقدار نهایی شاخص انحراف رطوبتی برآورد و با بررسی ضرایب همبستگی از دقت خروجی مورد نظر اطمینان حاصل شد و بر این اساس مقادیر خشکسالی در طی دوره مورد مطالعه بر اساس روابط (۱) و (۲) استخراج شدند:

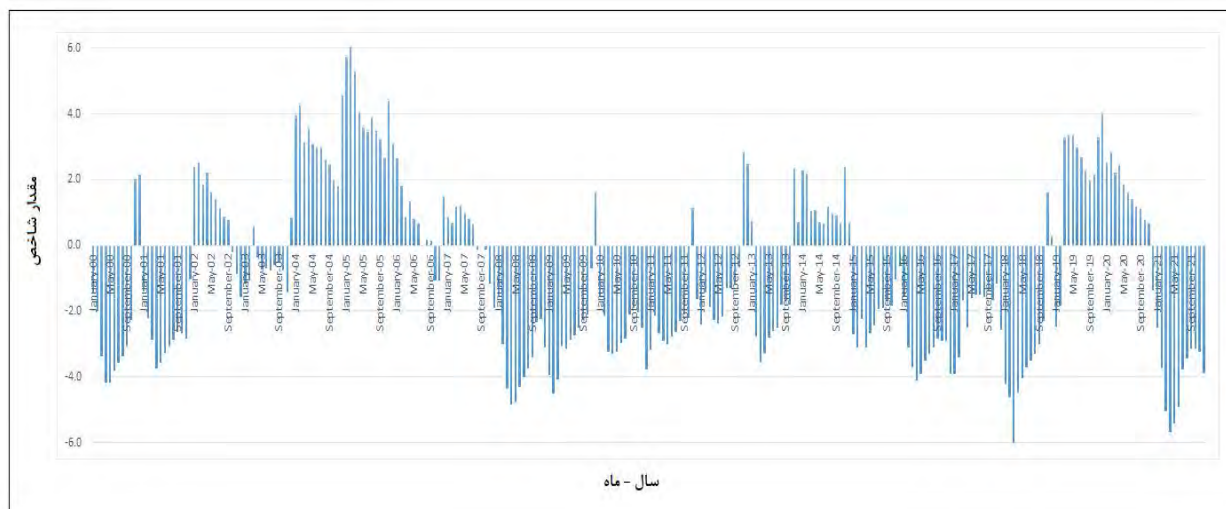
$$X1i = 0.921Xi - 1 + 0.003Zi \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$X2i = 0.886Xi - 1 + 0.003Zi \quad \text{رابطه (۲)}$$

همچنین به منظور بررسی تغییرات سالانه سطح آب در حوضه آبریز بختگان، طشک و مهارلو با استفاده از چندین شاخص مختلف نظیر شاخص اختلاف آب نرمال شده (NDWI)، شاخص اختلاف آب نرمال شده اصلاح شده (MNDWI) و شاخص استخراج خودکار آب (AWEI) نسبت به ارزیابی این شاخص‌ها در تشخیص بهینه تغییرات سطح آب در حوضه آبریز اقدام شد. برای بررسی میزان تغییرات هر کدام از شاخص‌های مذکور از طبقه‌بندی نظارت شده استفاده شد و میزان خطای هر کدام از این روش‌ها با استفاده از روش RMSE برآورد شد. بر این اساس شاخص

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)

تحلیل اثرات خشکسالی بر تغییرات سطح آب دریاچه‌های بختگان، طشک و مهارلو / ۱۴۷



نگاره ۲: نمودار خشکسالی ایستگاه شیراز به‌عنوان نماینده دریاچه مهارلو

با توجه به اینکه یکی از اثرات مهم خشکسالی‌ها تأثیر بر روی آب‌های سطحی نظیر دریاچه‌ها است در این مرحله با استفاده از شاخص استخراج خودکار آب، تغییرات سطح آب دریاچه مهارلو در ۱۲ ماه هر سال در دوره آماری مورد مطالعه محاسبه و مساحت دریاچه در سه بخش بدون آب، دارای آب فصلی و آب دائمی تعیین شد (جدول ۴). بررسی تغییرات سطح آب دریاچه نشان می‌دهد تحت تأثیر خشکسالی‌های مختلف سطح آب دریاچه مخصوصاً در محدوده دارای آب دائمی (وجود آب در ۱۲ ماه سال) به‌شدت کاهش داشته، به نحوی که در خشکسالی با تناوب دو ساله ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ سطح آب دائمی دریاچه به ۱/۸ کیلومتر مربع کاهش پیدا کرده است. این در حالی است که در ترسالی شدید و بسیار شدید سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۰۴ سطح آب دائمی تا ۱۷۰/۴ کیلومتر مربع نیز رسیده است. این تغییرات بخوبی نشان می‌دهند خشکسالی و ترسالی‌ها مخصوصاً زمانی که متناوب هستند، می‌توانند اثرات قابل ملاحظه‌ای در تغییرات سطح آب دریاچه مهارلو داشته باشند (جدول ۴).

بررسی اثر خشکسالی‌ها بر تغییرات سطح آب نشان می‌دهد در تمامی ۱۴ سالی که در مجموع ۲۱ سال مورد مطالعه خشکسالی با شدت‌های مختلف در این ایستگاه رخ

بخش خشک شده دریاچه‌ها در نظر گرفته شده و از تصاویر تفکیک شد. بخش دوم سطحی از دریاچه که در کمتر از ۱۲ ماه سال دارای آب بوده به‌عنوان بخش با آب فصلی از تصاویر هر سال مورد بررسی تفکیک شد. بخش سوم سطحی از دریاچه که در ۱۲ ماه سال دارای آب بوده به‌عنوان بخش با آب دائمی در نظر گرفته شده است. در نهایت با استفاده از عملیات همپوشانی برای هر کدام از سه بخش مذکور ابتدا ۱۲ تصویر همپوشانی شد و یک تصویر برای سال مذکور حاصل شد که نشان‌دهنده وضعیت دریاچه از نظر سطح پوشش آب در سال مورد نظر بود.

۳- یافته‌ها و بحث

محاسبه شاخص خشکسالی پالمر در ایستگاه شیراز به‌عنوان ایستگاه منتخب برای بررسی خشکسالی دریاچه مهارلو نشان داد که در طی دوره مورد مطالعه این ایستگاه شاهد دوره‌های خشکسالی متعددی بوده است به نحوی که طی ۲۲ سال، در دو سال (۲۰۰۵ و ۲۰۰۴) ترسالی بسیار شدید و شدید و سال ۲۰۱۹ ترسالی متوسط در این ایستگاه اتفاق افتاده و از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۱ به استثنای سه سال (۲۰۲۰، ۲۰۱۹ و ۲۰۱۴) خشکسالی با شدت‌های مختلف رخ داده است (نگاره ۲ و جدول ۴).

جدول ۴: مقادیر تغییرات سطح آب حوضه‌ی آبریز دریاچه مهارلو (کیلومتر مربع)

سال	بدون آب	دارای آب فصلی	آب دائمی	PDSI	شدت خشکسالی
۲۰۰۰	۲۴/۷	۲۰۰/۸	۱۷/۹	-۲/۳	خشکسالی متوسط
۲۰۰۱	۵۹/۱	۱۷۳/۵	۱۰/۸	-۲/۷	خشکسالی متوسط
۲۰۰۲	۳۵	۸۵/۷	۱۲۲/۷	۰/۹	تقریباً مرطوب
۲۰۰۳	۴۹/۲	۱۳۸/۴	۵۵/۸	-۰/۶	تا حدی خشک
۲۰۰۴	۳۶/۴	۴۰/۴	۱۶۶/۸	۳/۱	ترسالی شدید
۲۰۰۵	۵۰/۲	۲۲/۸	۱۷۰/۴	۴/۱	ترسالی بسیار شدید
۲۰۰۶	۲۵/۲	۱۶۷/۱	۵۱/۳	۰/۶	تا حدی خشک
۲۰۰۷	۴۵/۲	۹۶/۱	۱۰۲/۱	۰/۳	نرمال
۲۰۰۸	۹۷/۴	۱۴۴	۲	-۳/۵	خشکسالی شدید
۲۰۰۹	۱۷۲/۴	۶۷/۱	۳/۹	-۲/۵	خشکسالی متوسط
۲۰۱۰	۱۰۵/۲	۱۳۴/۹	۳/۳	-۲/۶	خشکسالی متوسط
۲۰۱۱	۱۴۶/۱	۸۴/۳	۱۳	-۲/۲	خشکسالی متوسط
۲۰۱۲	۹۷/۲	۱۳۳/۵	۱۲/۷	-۱	خشکسالی ضعیف
۲۰۱۳	۶۹/۱	۱۶۷/۸	۵/۵	-۱/۶	خشکسالی ضعیف
۲۰۱۴	۹۶/۲	۱۳۲/۸	۱۴/۴	۱/۲	تقریباً مرطوب
۲۰۱۵	۱۰۴/۳	۱۳۵/۹	۳/۲	-۲/۱	خشکسالی متوسط
۲۰۱۶	۱۲۴/۲	۱۱۶/۸	۲/۴	-۳/۲	خشکسالی شدید
۲۰۱۷	۱۰۱/۱	۱۴۰/۵	۱/۸	-۲	خشکسالی متوسط
۲۰۱۸	۱۰۱/۱	۱۴۰/۵	۱/۸	-۳/۱	خشکسالی شدید
۲۰۱۹	۱۰۶/۲	۵۱/۱	۸۶/۱	۲/۱	ترسالی متوسط
۲۰۲۰	۱۲۵/۱	۶۴/۲	۵۴/۱	۱/۴	تقریباً مرطوب
۲۰۲۱	۱۸۵/۱	۵۴/۲	۴/۱	-۴	خشکسالی بسیار شدید

داد که در مجموع پنج سال ترسالی با شدت‌های مختلف در این ایستگاه رخ داده است که به استثنای سال ۲۰۱۴ در همه ترسالی‌ها بیشترین مساحت دریاچه را آب دائمی (وجود آب در ۱۲ ماه سال) به خود اختصاص داده است. مخصوصاً زمانی که ترسالی‌ها متوالی باشند (نظیر ۲۰۰۵ و ۲۰۰۴) مساحت آب دائمی به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش پیدا می‌کند. در سال ۲۰۱۴ علی‌رغم اینکه بر اساس شاخص پالم در شرایط تقریباً مرطوب قرار دارد ولی بر خلاف ترسالی‌های دیگر سطح آب فصلی بیشتر از آب دائمی

داده، بیشترین مساحت دریاچه مهارلو را آب‌های فصلی به خود اختصاص داده است. این موضوع نشان می‌دهد سطح آب این دریاچه به‌شدت از بارش‌های فصلی تبعیت می‌کند. در بررسی تصاویر ماهانه مشخص شد در این دریاچه سطح آب فصلی در بین ماه‌های آبان تا اردیبهشت افزایش پیدا می‌کند و میزان ماندگاری آب فصلی نسبت به سال‌های مختلف متفاوت بوده ولی میزان آن در طی دوره مورد مطالعه به‌طور کلی بین سه تا هفت ماه است. بررسی مساحت دریاچه در سال‌های وقوع ترسالی نیز نشان

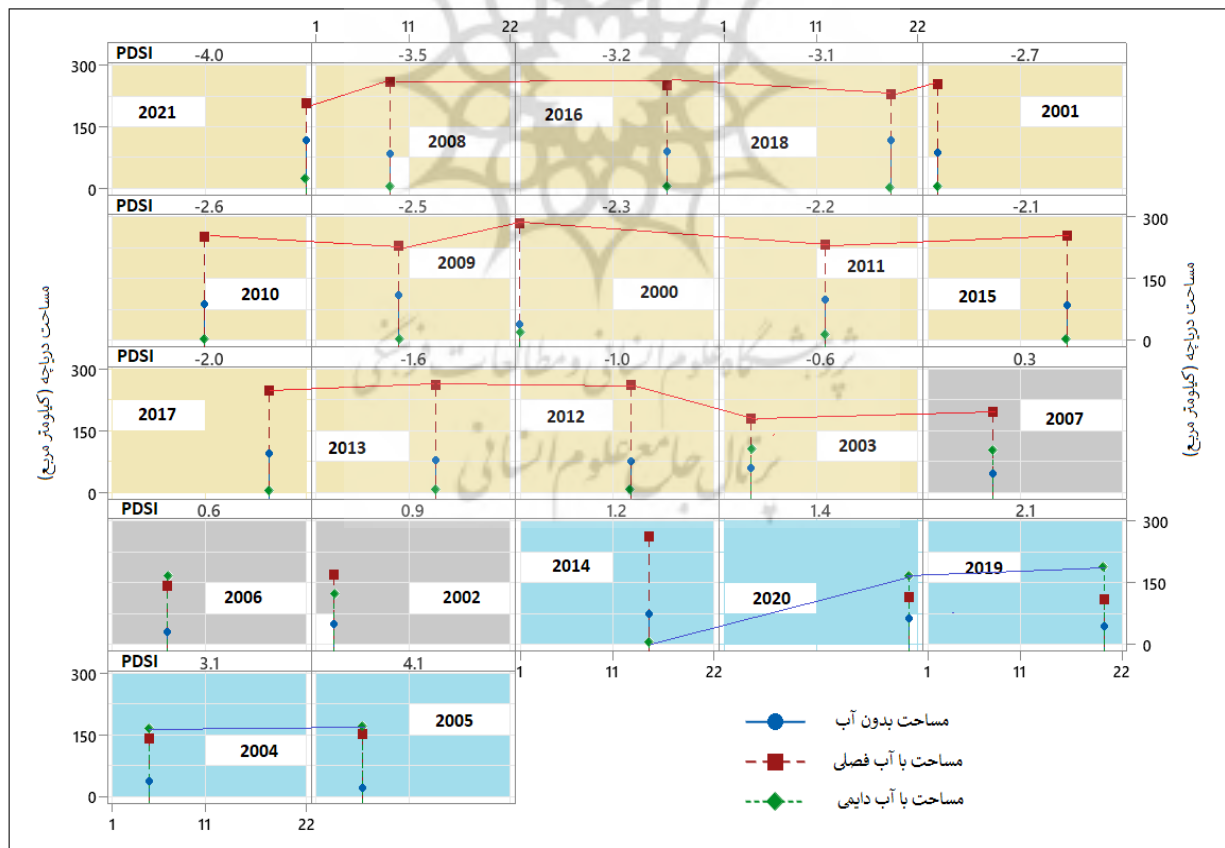
فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (س)

تحلیل اثرات خشکسالی بر تغییرات سطح آب دریاچه‌های بختگان، طشک و مهارلو / ۱۴۹

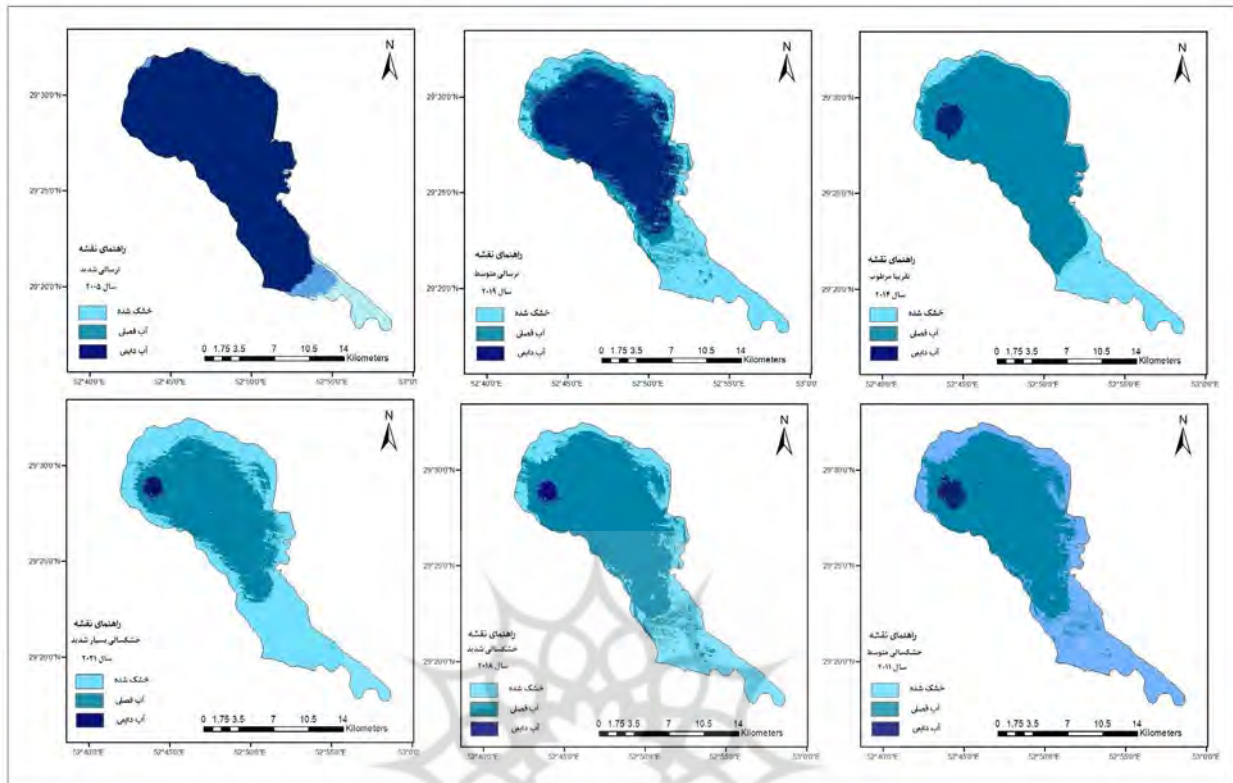
سال مذکور مساحت آب دائمی دریاچه ۱۷۰/۴ کیلومتر مربع بود که بالاترین مقدار در طی دوره مورد مطالعه است. نکته قابل توجه این است که از سال ۲۰۰۸ تا سال ۲۰۱۸ سطح آب دریاچه به دلیل خشکسالی‌های مختلف بسیار پایین بوده ولی در سال ۲۰۱۹ با وقوع ترسالی متوسط سطح آب دائمی به صورت قابل ملاحظه‌ای افزایش پیدا نموده، هر چند با وقوع خشکسالی بسیار شدید در سال ۲۰۲۱ دوباره سطح آب دریاچه به شدت کاهش پیدا کرده است (نگاره ۴). به منظور بررسی اثرات خشکسالی بر روی تغییرات سطح آب دریاچه طشک نسبت به برآورد شاخص پالمر در ایستگاه منتخب برای این دریاچه (ایستگاه هواشناسی زرقان) اقدام شد. نتایج حاصل نشان داد که این ایستگاه ۱۵ سال از دوره آماری مورد مطالعه خشکسالی را با شدت‌های

است. دلیل این موضوع می‌تواند مربوط به خشکسالی متوالی شش ساله از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۳ باشد که موجب شده تا سطح آب دریاچه به شدت کاهش یابد. علاوه بر این در سال ۲۰۱۴ بررسی شاخص ترسالی ماهانه نشان می‌دهد تنها در ۴ ماه (فروردین، اردیبهشت، آبان و دی) میزان این شاخص بالا بوده و در بقیه ماه‌ها در محدوده نرمال قرار دارد. بنابراین، این موضوع باعث شده سطح دریاچه به صورت فصلی افزایش پیدا کند و در مساحت آب دائمی تغییر قابل ملاحظه‌ای رخ ندهد (نگاره ۳).

مقایسه تغییرات مساحت دریاچه مهارلو در طی دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین میزان سطح آب دریاچه در سال ۲۰۰۵ اتفاق افتاده است که در این سال بر اساس شاخص پالمر ترسالی بسیار شدید اتفاق افتاده است. در

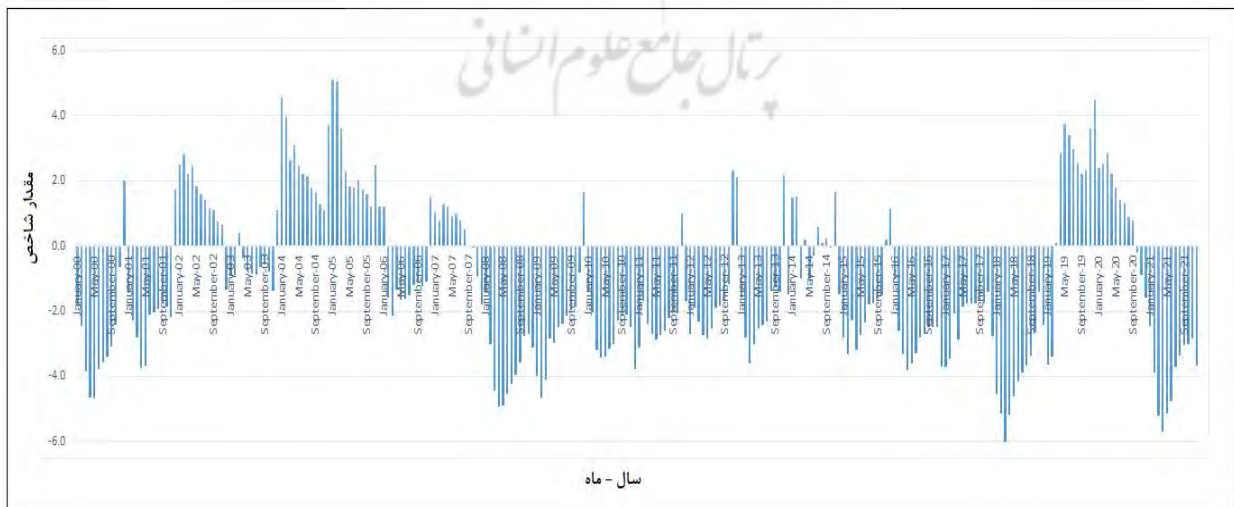


نگاره ۳: نمودار میزان تغییرات مساحت دریاچه مهارلو در شرایط شدت‌های مختلف خشکسالی و ترسالی (رنگ قهوه‌ای ترسالی، طوسی نرمال و آبی ترسالی)



نگاره ۴: نقشه‌های مقایسه میزان تغییرات مساحت دریاچه مهارلو در شرایط شدت‌های مختلف خشکسالی و ترسالی

مختلف تجربه کرده است. دو سال از دوره مورد مطالعه در شرایط ترسالی شدید یا بسیار شدید اتفاق نیفتاده است. این شرایط نرمال (۲۰۰۷ و ۲۰۱۳) و پنج سال در شرایط ترسالی در حالی است که این ایستگاه دو مورد خشکسالی شدید بوده است. ترسالی‌های رخ داده در این ایستگاه عمدتاً از (۲۰۰۸ و ۲۰۱۸) و یک مورد خشکسالی بسیار شدید را نوع ترسالی متوسط بوده و در هیچ سالی از دوره مورد تجربه کرده است (نگاره ۵ و جدول ۵).



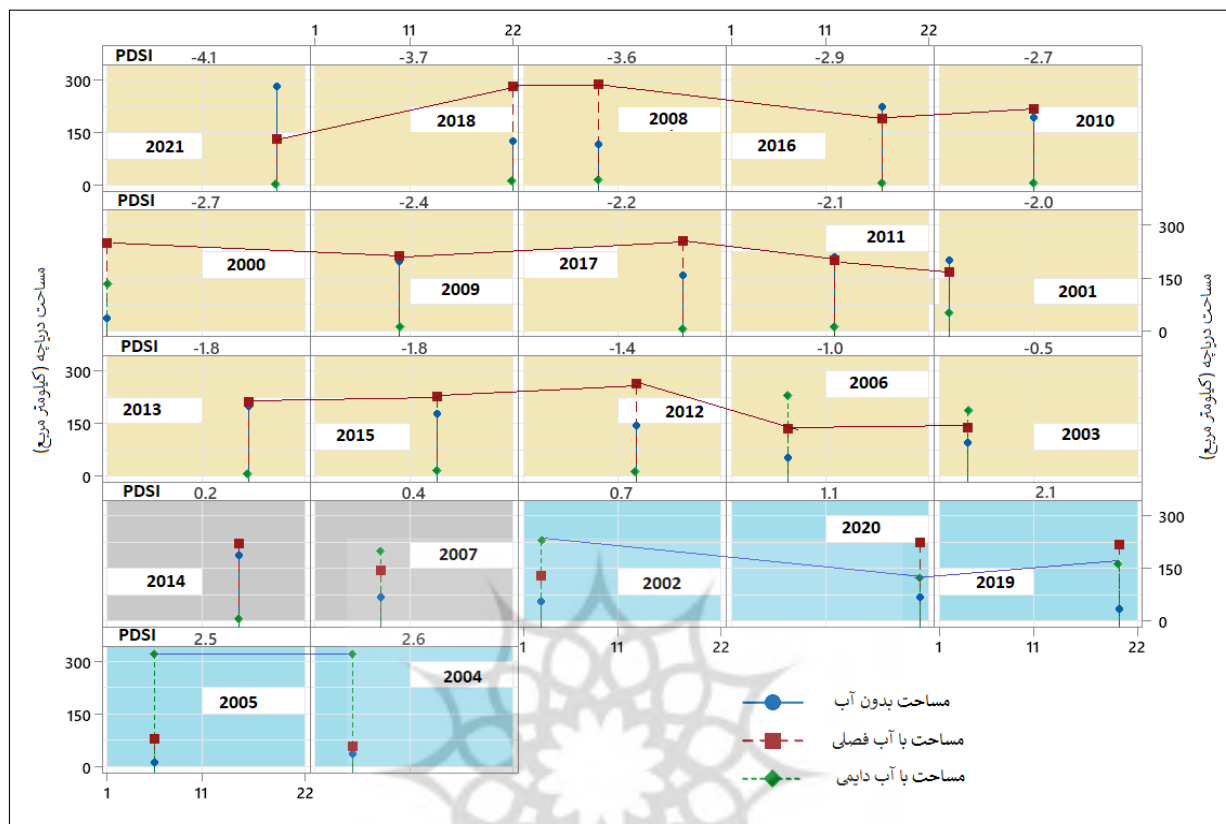
نگاره ۵: نمودار خشکسالی ایستگاه زرقان به عنوان نماینده دریاچه طشک

جدول ۵: مقادیر تغییرات سطح آب حوضه‌ی آبریز دریاچه طشک (کیلومتر مربع)

سال	بدون آب	دارای آب فصلی	آب دائمی	PDSI	شدت خشکسالی
۲۰۰۰	۱۸۸/۳	۱۹۷/۷	۳۵/۸	-۲/۷	خشکسالی متوسط
۲۰۰۱	۱۹۸/۲	۱۶۶/۷	۵۱/۲	-۲	خشکسالی متوسط
۲۰۰۲	۵۶/۴	۲۲۹/۸	۱۳۰/۶	۰/۷	تقریباً مرطوب
۲۰۰۳	۱۱۴/۸	۱۹۶/۴	۱۰۵/۶	-۰/۵	تا حدی خشک
۲۰۰۴	۴۵/۸	۲۳۰/۲	۱۴۰/۸	۲/۶	ترسالی متوسط
۲۰۰۵	۴۴/۷	۱۷۹/۷	۱۹۲/۴	۲/۵	ترسالی متوسط
۲۰۰۶	۱۲۱/۶	۱۹۷/۱	۹۸/۱	-۱	خشکسالی ضعیف
۲۰۰۷	۴۹/۱	۲۳۸/۹	۱۲۸/۸	۰/۴	نرمال
۲۰۰۸	۱۱۷/۳	۲۸۷/۱	۱۲/۴	-۳/۶	خشکسالی شدید
۲۰۰۹	۱۹۵/۹	۲۱۲/۲	۸/۶	-۲/۴	خشکسالی متوسط
۲۰۱۰	۱۹۴/۳	۲۱۶/۸	۵/۶	-۲/۷	خشکسالی متوسط
۲۰۱۱	۲۰۹	۱۹۸/۹	۹	-۲/۱	خشکسالی متوسط
۲۰۱۲	۱۴۳/۹	۲۶۳/۲	۹/۸	-۱/۴	خشکسالی ضعیف
۲۰۱۳	۱۷۸/۶	۲۲۶	۱۲/۲	-۱/۸	خشکسالی ضعیف
۲۰۱۴	۱۸۹/۱	۲۲۱/۸	۵/۹	۰/۲	نرمال
۲۰۱۵	۱۹۹/۶	۲۱۲/۶	۴/۶	-۱/۸	خشکسالی ضعیف
۲۰۱۶	۲۲۴	۱۸۹/۱	۳/۷	-۲/۹	خشکسالی متوسط
۲۰۱۷	۱۵۷/۵	۲۵۶/۶	۲/۷	-۲/۲	خشکسالی متوسط
۲۰۱۸	۲۸۲/۴	۱۳۲/۶	۱/۸	-۳/۵	خشکسالی شدید
۲۰۱۹	۱۳/۸	۲۳۰/۸	۱۷۲/۲	۲/۱	ترسالی متوسط
۲۰۲۰	۶۸/۸	۲۲۵/۷	۱۲۲/۳	۱/۱	تقریباً مرطوب
۲۰۲۱	۲۰۹/۲	۱۸۱/۲	۲۶/۴	-۴	خشکسالی بسیار شدید

است و نشان می‌دهد در صورت تداوم ترسالی ماندگاری آب دریاچه در تمام ماه‌های سال افزایش پیدا می‌کند. در غیر این صورت مساحت دریاچه فقط به صورت ماهانه یا فصلی افزایش یافته و پس از کاهش ورودی ناشی از بارش به شدت کم می‌شود. بررسی‌ها نشان داد که مساحت بخش دائمی دریاچه طشک در سال ۲۰۱۸ (خشکسالی شدید) به ۱/۸ کیلومتر مربع کاهش پیدا کرده است که کمترین مقدار در کل دوره است (جدول ۵).

بررسی میزان تأثیر خشکسالی و ترسالی‌های رخ داده بر روی تغییرات سطح آب دریاچه طشک در سال‌های مختلف نشان می‌دهد که بیشترین مساحت آب دائمی دریاچه در سال‌هایی بوده که ترسالی متوسط اتفاق افتاده است. در سال ۲۰۰۵ مساحت آب دائمی دریاچه به بالاترین مقدار خود در تمام دوره مورد مطالعه رسیده است که این موضوع می‌تواند ناشی از تناوب دو ساله ترسالی از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۵ باشد که سبب شده است آب دریاچه افزایش پیدا کند. در ترسالی‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ نیز این موضوع تکرار شده



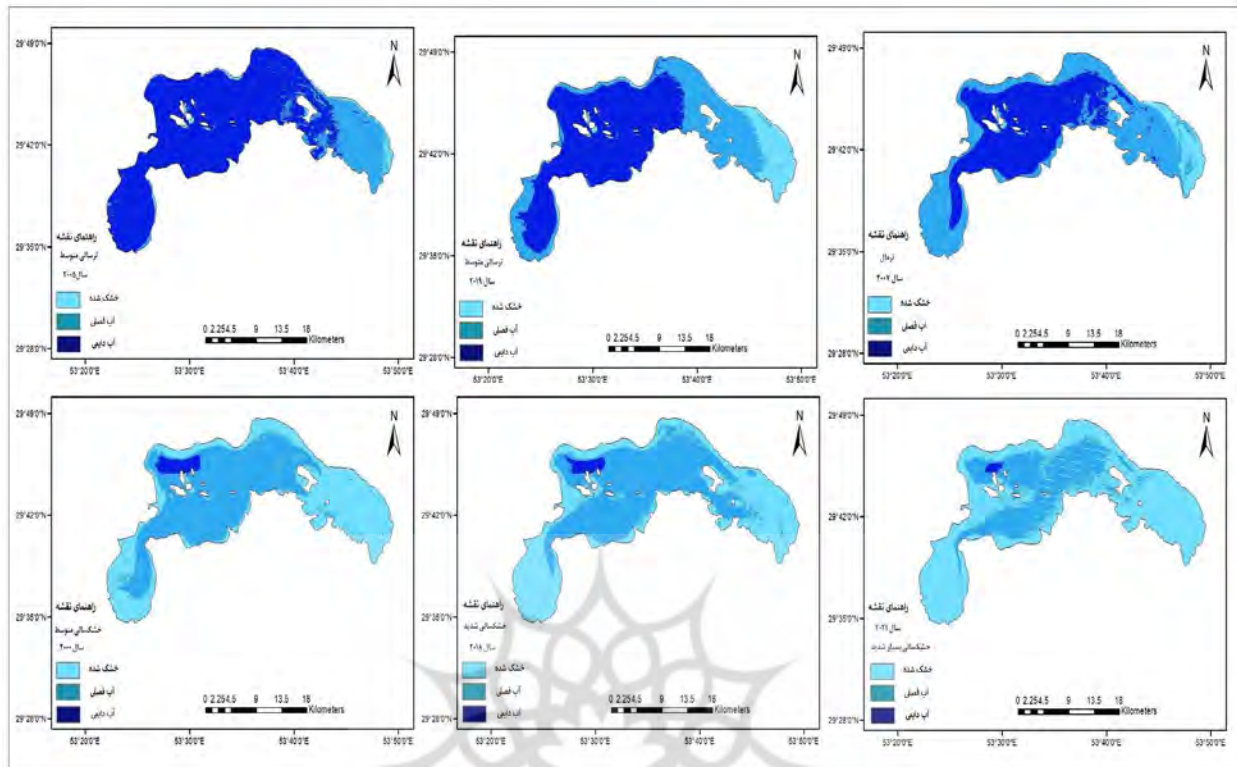
نگاره ۶: نمودار میزان تغییرات مساحت دریاچه طشک در شرایط شدت‌های مختلف خشکسالی و ترسالی (رنگ قهوه‌ای ترسالی، طوسی نرمال و آبی ترسالی)

مقایسه تغییرات مساحت دریاچه در شدت‌های مختلف خشکسالی و ترسالی (نگاره ۷) نمود کاملاً روشنی را از تأثیرپذیری دریاچه طشک از تغییرات بارش در سال‌های مختلف نشان می‌دهد، به نحوی که در سال ۲۰۰۵ با ترسالی متوسط بخش وسیعی از دریاچه در طول سال دارای آب بوده و فقط بخش شرقی دریاچه دارای آب فصلی و بخش بدون آب بود. این موضوع در سال ۲۰۱۹ نیز با ترسالی متوسط با شاخص پالمر کمتر از سال ۲۰۰۵ (۲/۱) تکرار شده است. در مقابل کمترین مساحت بخش‌های مختلف دریاچه در سال ۲۰۲۱ با خشکسالی بسیار شدید مشاهده می‌شود که تقریباً به استثنای ۲۶/۴ کیلومتر مربع بقیه سطح دریاچه را محدوده با آب فصلی و بخش بدون آب در بر دارد. مقایسه نقشه سه سال ۲۰۰۰ با خشکسالی متوسط، ۲۰۱۸ با خشکسالی شدید و ۲۰۲۱ با خشکسالی بسیار

بررسی تغییرات مساحت دریاچه طشک در ۱۵ سال خشکسالی رخ داده در طی دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد که بر خلاف دریاچه مهارلو در این دریاچه در پنج سال از این ۱۵ سال مساحت بخش بدون آب افزایش بیشتری نسبت به آب فصلی و دائمی داشته است. بیشترین مقدار در این زمینه در سال ۲۰۲۱ با خشکسالی بسیار شدید بوده که نشان می‌دهد این دریاچه شرایط بحرانی‌تری از نظر خشکی دائم نسبت به دریاچه مهارلو دارد. در کل پنج سال که این دریاچه در وضعیت ترسالی قرار داشته نیز در دو سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ مساحت آب فصلی بیشتر از آب دائمی است که نشان می‌دهد خشکسالی‌های متوالی سال‌های قبل موجب آسیب‌پذیری بیشتر این دریاچه شده و ترسالی‌های بعدی امکان بهبود با دوام شرایط را برای افزایش سطح آب دائمی و ماندگار دریاچه کمتر کرده است (نگاره ۶).

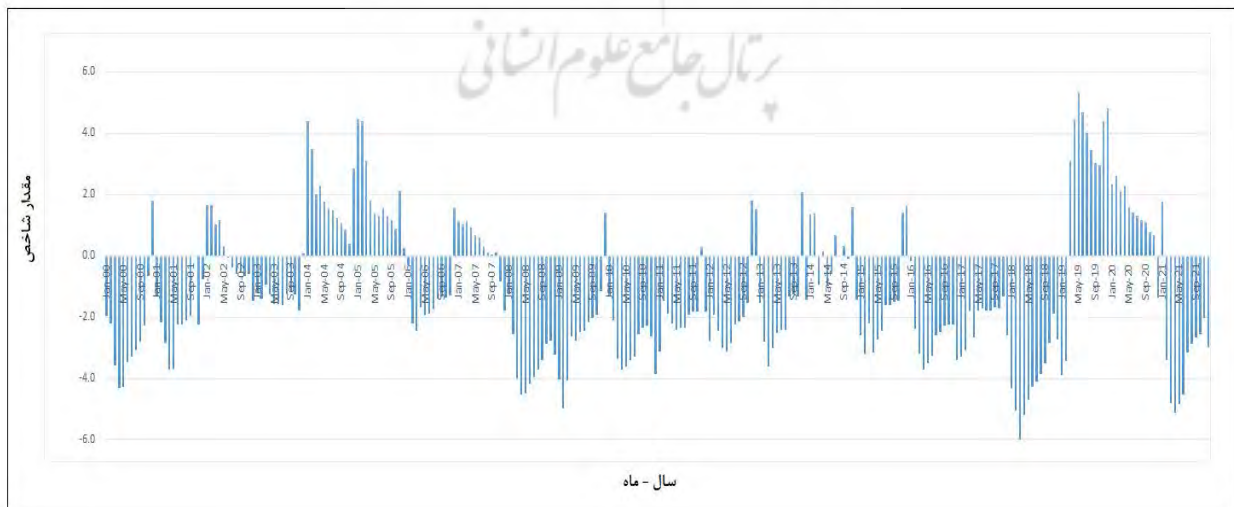
فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سج)

تحلیل اثرات خشکسالی بر تغییرات سطح آب دریاچه‌های بختگان، طشک و مهارلو / ۱۵۳



نگاره (۷): نقشه‌های مقایسه میزان تغییرات مساحت دریاچه طشک در شرایط شدت‌های مختلف خشکسالی و ترسالی

شدید به‌خوبی نشان می‌دهد تا چه اندازه این دریاچه در نشان داد که این ایستگاه هم همانند ایستگاه زرکان ۱۵ سال خشکسالی با شدت‌های مختلف در طی دوره مورد مقابل کاهش بارش آسیب‌پذیر است (نگاره ۸). نتایج حاصل از محاسبه شاخص خشکسالی پالمر مطالعه تجربه کرده است. بیشترین توالی این خشکسالی‌ها برای ایستگاه منتخب دریاچه بختگان (ایستگاه نی‌ریز) شش ساله (از سال ۲۰۰۸ تا سال ۲۰۱۳) بوده که اثرات قابل



نگاره ۸: نمودار خشکسالی ایستگاه نی‌ریز به‌عنوان نماینده دریاچه بختگان

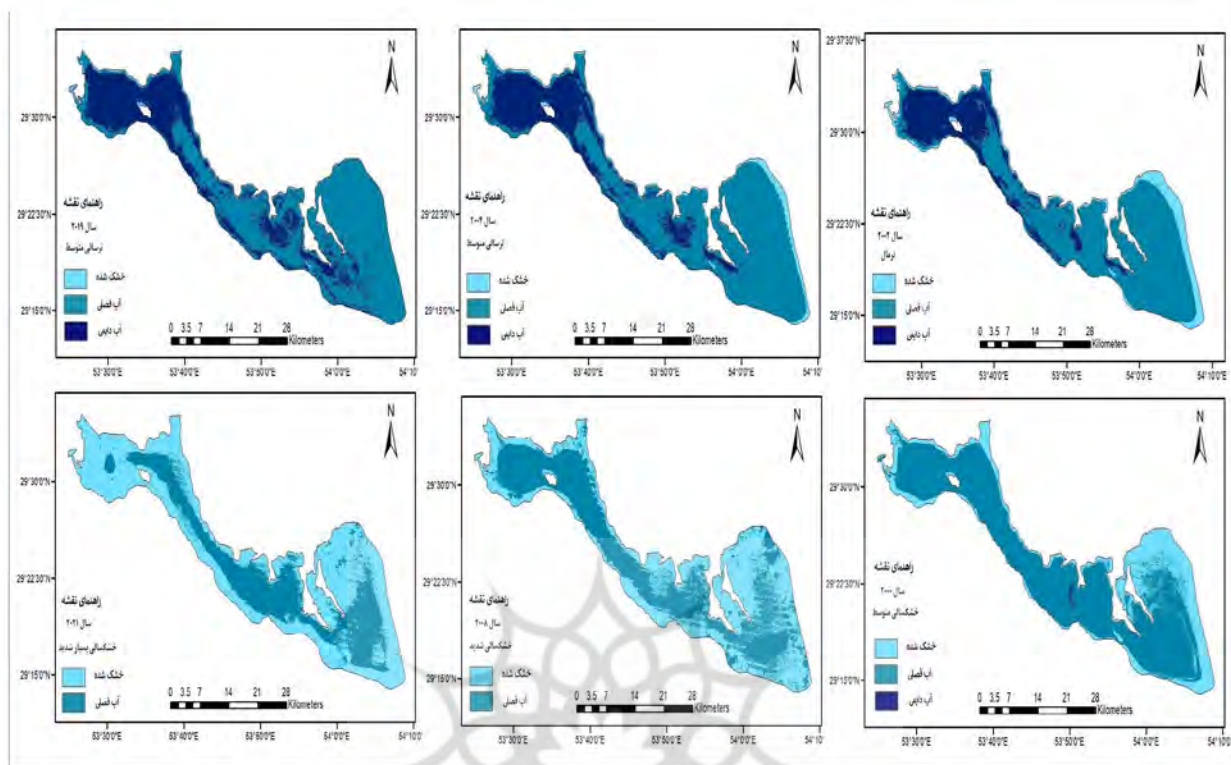
را نسبت به دریاچه همجوار خود (مهارلو و طشک) دارد به نحوی که در تعداد قابل توجهی از سالها (۱۲ سال) دریاچه فاقد آب دائمی بوده و تنها با بارش‌های ماهانه و یا فصلی به صورت موقت در سطح آن مقداری آب جمع شده ولی ماندگاری کوتاهی بین ۲ تا ۶ ماه (آبان تا اردیبهشت ماه) داشته است. بررسی مساحت دریاچه در زمان رخداد ترسالی‌ها نشان می‌دهد به دلیل افزایش آب ورودی به دریاچه نسبتاً مساحت بخش با آب دائمی در دریاچه افزایش پیدا می‌نماید ولی به دلیل عدم توالی ترسالی

توجهی در کاهش سطح آب این دریاچه داشته است. در این ایستگاه چهار سال ترسالی با توالی دو ساله نیز اتفاق افتاده که در چنین سال‌هایی سطح آب دریاچه به بالاترین مقدار خود رسیده است (۲۰۰۵ و ۲۰۰۴). این موضوع نشانگر آن است که فراوانی رخداد خشکسالی در مقایسه با ترسالی‌ها می‌تواند یکی از عوامل مهم کم آبی و بعضاً خشکی دریاچه بختگان باشد (نگاره ۹).

مقایسه تغییرات مساحت دریاچه بختگان در سال‌های مختلف گویای آن است که این دریاچه وضعیت بحرانی تری

جدول ۶: مقادیر تغییرات سطح آب حوضه‌ی آبریز دریاچه بختگان (کیلومترمربع)

سال	بدون آب	دارای آب فصلی	آب دائمی	PDSI	شدت خشکسالی
۲۰۰۰	۲۱۳/۹۸	۵۲۳/۲۶	۱/۷۳	-۲/۵	خشکسالی متوسط
۲۰۰۱	۳۶۵/۱۲	۳۷۳/۸۳	۰	-۲/۳	خشکسالی متوسط
۲۰۰۲	۸۰/۲۸	۴۸۹/۷۱	۱۶۸/۹۴	۰/۴	نرمال
۲۰۰۳	۲۷۵/۳۹	۴۳۴/۸۳	۲۸/۶۹	-۱/۲	خشکسالی ضعیف
۲۰۰۴	۴۴/۱۵	۴۹۷/۹۱	۱۹۶/۸۲	۲/۱	ترسالی متوسط
۲۰۰۵	۱۸/۵۵	۴۸۰/۰۹	۲۴۰/۲۶	۲	ترسالی متوسط
۲۰۰۶	۱۵۳/۷۷	۵۲۳/۱۷	۶۱/۹۵	-۱/۳	خشکسالی ضعیف
۲۰۰۷	۲۴۵/۹۱	۴۵۹/۱۵	۳۳/۸۸	۰/۳	نرمال
۲۰۰۸	۳۷۶/۳۸	۳۶۲/۵۲	۰	-۳/۴	خشکسالی شدید
۲۰۰۹	۴۲۳/۰۳	۳۱۵/۹۶	۰	-۲/۴	خشکسالی متوسط
۲۰۱۰	۴۶۷/۵۲	۲۷۱/۳۹	۰	-۲/۹	خشکسالی متوسط
۲۰۱۱	۴۰۶/۰۸	۳۳۲/۸۳	۰	-۱/۹	خشکسالی ضعیف
۲۰۱۲	۳۸۶/۹۴	۳۵۱/۹۷	۰	-۱/۷	خشکسالی ضعیف
۲۰۱۳	۴۰۰/۸۴	۳۳۸/۰۷	۰	-۱/۸	خشکسالی ضعیف
۲۰۱۴	۴۳۵/۳۰	۳۰۳/۶۱	۰	۰/۱	نرمال
۲۰۱۵	۳۴۰/۹۴	۳۹۷/۹۵	۰	-۱/۶	خشکسالی ضعیف
۲۰۱۶	۴۲۷/۲۴	۳۱۱/۶۷	۰	-۲/۶	خشکسالی متوسط
۲۰۱۷	۲۱۳/۵۸	۵۲۵/۳۱	۰/۰۲	-۲/۱	خشکسالی متوسط
۲۰۱۸	۵۴۰/۷۸	۱۹۸/۱۲	۰	-۳/۱	خشکسالی شدید
۲۰۱۹	۹۵/۵	۴۲۸/۱۷	۲۱۵/۲۳	۲/۹	ترسالی متوسط
۲۰۲۰	۱۰۴/۹	۴۵۶/۹۸	۱۷۷/۰۲	۱/۳	تقریباً مرطوب
۲۰۲۱	۵۲۰/۴۵	۲۱۸/۵۱	۰	-۴/۱	خشکسالی بسیار شدید



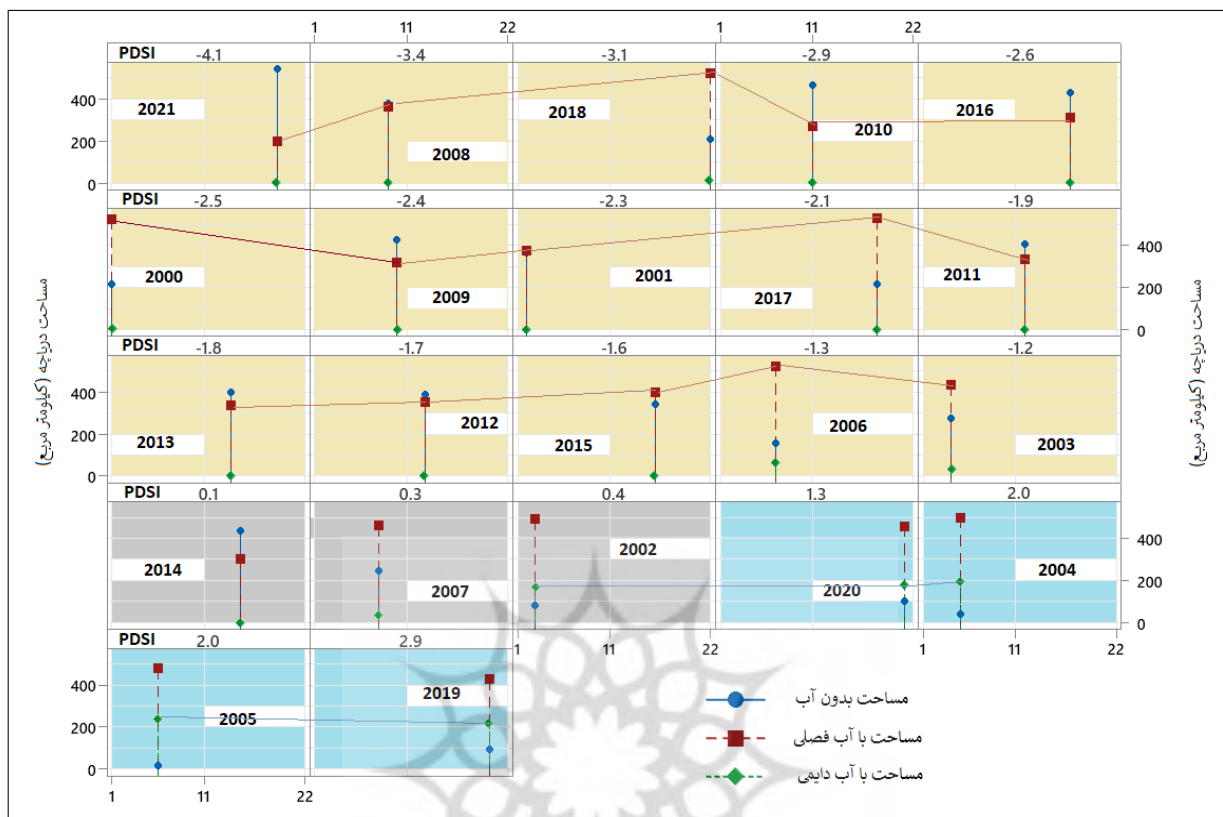
نگاره ۹: نقشه‌های مقایسه میزان تغییرات مساحت دریاچه بختگان در شرایط شدت‌های مختلف خشکسالی و ترسالی

ماندگاری بسیار کم (کمتر از دو ماه) دوام چندانی ندارد (نگاره ۹).

بررسی تغییرات مساحت دریاچه بختگان در ۱۵ سال خشکسالی که در این دریاچه اتفاق افتاده است نشان می‌دهد برخلاف دریاچه مهارلو که در دوره‌های خشکسالی مساحت آب فصلی آن بیشتر از آب دائمی و محدوده بدون آب هست، در این دریاچه عمدتاً مساحت پهنه بدون آب بیشتر از سایر پهنه‌ها است. این موضوع می‌تواند نشانگر آن باشد که این دریاچه شرایط بحرانی‌تری را نسبت به دو دریاچه دیگر داشته و در معرض خشکی کامل قرار دارد، به نحوی که اگر خشکسالی‌های ممتد در این حوضه ادامه داشته باشد و از طرف دیگر ورودی آب دریاچه به دلایل مختلف دیگر نظیر سدها و بندهای موجود کاهش یابد حتی بارش‌های فصلی بعدی نیز امکان احیای آن را فراهم نخواهد کرد. موضوع دیگری که بحرانی بودن وضعیت این دریاچه را به خوبی نشان می‌دهد این است که حتی در چهار سال با

و وقوع خشکسالی‌های ممتد در سال‌های بعد آب دائمی به تدریج از سطح دریاچه به دلیل تبخیر زیاد محو شده و دریاچه خشک می‌شود (جدول ۶).

مقایسه تغییرات سطح آب دریاچه در سال‌های بارخداد خشکسالی و ترسالی در دریاچه بختگان به خوبی نشان می‌دهد که بخش وسیعی از این دریاچه حتی در مواقع ترسالی را آب فصلی که ماندگاری بسیار کمی دارد به خود اختصاص داده است، به نحوی که حتی در ترسالی‌های متوسط ۲۰۰۴ و ۲۰۱۹ کم‌تر از یک سوم دریاچه دارای آب دائمی و بقیه مساحت دریاچه را آب فصلی تشکیل می‌دهد. در سال‌های بارخداد خشکسالی بخش با آب دائمی محو شده و در مقابل به بخش قابل توجهی از مساحت محدوده بدون آب (خشک شده) افزوده شده است. بررسی نقشه سطح آب دریاچه بختگان در سال ۲۰۲۱ (خشکسالی بسیار شدید) نشان می‌دهد دریاچه در چنین مواقعی کاملاً خشک می‌شود و حتی آب فصلی هم ضمن مساحت ناچیز به دلیل



نگاره ۱۰: نمودار میزان تغییرات مساحت دریاچه بختگان در شرایط شدت‌های مختلف خشکسالی و ترسالی (رنگ قهوه‌ای ترسالی، طوسی نرمال و آبی ترسالی)

سیوند دارند. سد درودزن بزرگ‌ترین سد این حوضه است که با حجم مخزن ۹۶۰ میلیون متر مکعب در سال ۱۳۵۱ بر روی رود کر احداث شد. سد ملاصدرا با ظرفیت ۴۴۰ میلیون متر مکعب دومین سد مهم این حوضه است که در سال ۱۳۸۴ بر روی رود کر احداث شده است. سومین سد مخزنی مهم در این حوضه سد سیوند است که با ظرفیت ۲۵۵ میلیون متر مکعب در سال ۱۳۸۶ بر روی رود سیوند احداث شده است. احداث این سدها عمدتاً به منظور تأمین آب شرب شهرهای اطراف، آب مورد نیاز برای مصارف کشاورزی و دامداری و هم چنین کنترل سیلاب‌ها در زمان اوج بارش بوده است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۱: ۲۶۱). در زمان بهره‌برداری از سدهای مذکور مقرر شده بود تا برای حفظ و تداوم دریاچه‌های مهارلو، بختگان و طشک حقیقه زیست محیطی به میزان حداقل ۲/۰۷ متر مکعب در ثانیه از سد

رخداد ترسالی در این دریاچه نیز مساحت آب فصلی بسیار بیشتر از آب دایمی است در حالی که در دو دریاچه دیگر (مهارلو و طشک) مساحت آب دایمی عمدتاً بیشتر از فصلی است (نگاره ۱۰). بررسی‌ها نشان می‌دهد که تعداد زیادی بند و سد مخزنی بر روی رودخانه‌های اصلی این حوضه نظیر رود کر و سیوند احداث شده است (۲۵ بند و ۳ سد مخزنی). سدهای مخزنی در کنار کاهش آب رودخانه‌ها به دلیل خشکسالی‌های متعدد نقش مؤثری در کاهش ورودی آب به دریاچه‌های این حوضه داشته و روند خشک شدن آن‌ها را به شدت تسریع کرده است (نگاره ۱۱). در اطراف این دریاچه‌ها سه سد مخزنی مهم (سد درودزن، سد سیوند و سد ملاصدرا) وجود دارد که مهم‌ترین نقش را در کنترل آب رودخانه‌های مهم ورودی به دریاچه‌ها نظیر رود کر و

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۳)

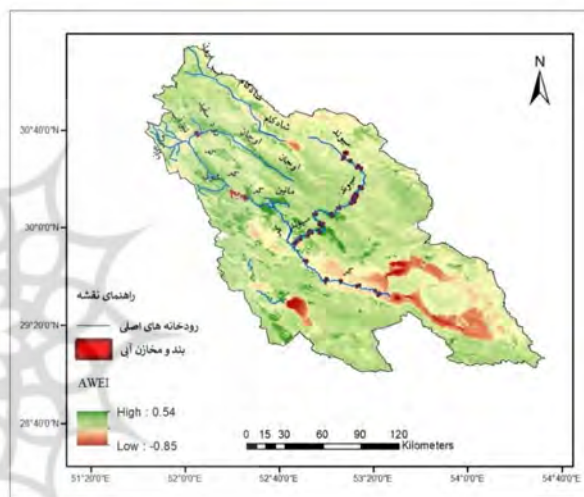
تحلیل اثرات خشکسالی بر تغییرات سطح آب دریاچه‌های بختگان، طشک و مهارلو / ۱۵۷

مساحت بخش خشک شده دریاچه‌ها افزوده شده است. در بین دریاچه‌های مورد بررسی دریاچه بختگان شرایط کاملاً بحرانی‌تری را دارد، به نحوی که در ۱۲ سال از کل دوره مورد مطالعه دریاچه فاقد آب بوده و فقط بخش محدودی از دریاچه هنگام بارش‌های فصلی موقتاً دارای آب بوده ولی ماندگاری کمتر از دو ماه را داشته است. این موضوع خود به‌خوبی نشان‌دهنده بحرانی بودن وضعیت این دریاچه است. نکته مهم دیگر این است که در بعضی سال‌ها که وضعیت بارش بهتر شده است تنها به مساحت آب‌های موقت فصلی افزوده شده و با اولین خشکسالی در سال و یا سال‌های بعد دوباره روند خشکی دریاچه تشدید شده است. هرچند تمامی شواهد مورد بررسی نقش پررنگ خشکسالی و نوسانات بارش را در کاهش شدید سطح آب دریاچه‌های حوضه نشان می‌دهد و وجود ارتباط بسیار قوی و معنی‌داری بین این دو پدیده قابل انکار نیست اما در کنار این بحث نمی‌توان از نقش عوامل انسانی در تغییرات سطح آب دریاچه‌ها صرف‌نظر کرد. احداث سدها و بندهای مختلف بر روی رودخانه‌ها یکی از مهم‌ترین عواملی است که در کنار نوسانات بارش موجب کاهش شدید ورودی آب به این دریاچه‌ها شده و در نتیجه روند خشک شدن آن‌ها را تشدید کرده است. وجود بیش از ۲۸ بند و سد مخزنی احداث شده و یا در حال احداث بر روی رودخانه‌های اصلی این حوضه نظیر سیوند و کر حاک از آن است که این بندها در کنار خشکسالی و نوسانات بارش نقش بسیار مؤثری در تسریع روند خشک شدن این دریاچه‌ها داشته‌اند.

منابع و مأخذ

- ۱- آزادی، سلطانی، فرامرزی، سلطانی تودشکی، پورمنافی؛ سارا، سعید، منیره، علیرضا، سعید، (۱۳۹۴)، ارزیابی شاخص خشکسالی پالم در ایران مرکزی، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال نوزدهم، شماره ۷۲، صص ۳۱۸-۳۰۵.
- ۲- احمدی، یوسفی، فرزین، رجب‌پور؛ محمد، حسین،

ملاصدرا، ۴/۵۰ متر مکعب بر ثانیه از سد درودزن و ۰/۷۱ از سد سیوند در نظر گرفته شود (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۳) که متأسفانه به دلیل خشکسالی‌های ممتد و افزایش میزان تقاضا برای آب در اطراف سدها مخازن سدها در شرایط بحرانی قرار گرفت و امکان رهاسازی آب برای تغذیه دریاچه‌ها در اکثر سال‌ها فراهم نشد و این موضوع باعث شد تا سطح آب دریاچه‌ها به شدت کاهش یابد و در برخی سال‌ها تقریباً خشک شوند.



نگاره ۱۱: نقشه پراکندگی سدها و بندهای ساخته شده بر روی رودخانه‌های اصلی حوضه آبریز بختگان، طشک و مهارلو

۴- نتیجه گیری

نتایج حاصل از ارزیابی و تحلیل نقش خشکسالی در تغییرات سطح آب دریاچه‌های حوضه آبریز بختگان، طشک و مهارلو نشان داد که مساحت این دریاچه‌ها در طی دوره مورد مطالعه کاهش بسیار قابل ملاحظه‌ای داشته است به نحوی که به مرور از مساحت محدوده دارای آب دائمی کاسته شده و به مساحت محدوده خشک شده و فاقد آب افزوده شده است. بیشترین میزان کاهش سطح آب هر سه دریاچه مورد بررسی در خشکسالی با توالی شش ساله بین سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۳ اتفاق افتاده است به نحوی که از مساحت بخش با آب دائمی به شدت کم شده و به

میزان بارش بر تغییر تراز آب دریاچه مهارلو با استفاده از داده‌های سنجش از دور، فصلنامه تحقیقات اکویولوژی تالاب، سال ششم، شماره ۱۹، صص ۷۳-۸۲.

۱۰- نظم‌فر، سرمستی، علوی‌پناه؛ حسین، نادر، سیدکاظم، (۱۳۹۲)، پایش دریاچه نمک مهارلو با تکنیک‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی، فصلنامه محیط‌شناسی، شماره ۳، صص ۶۷۷-۶۶۹.

۱۱- وفاخواه، رجبی؛ مهدی، منصور، (۱۳۸۷)، کارآیی نمایه‌های خشکسالی هواشناسی برای پایش و ارزیابی خشکسالی‌های حوضه آبخیز دریاچه‌های بختگان، طشک و مهارلو، نشریه بیابان، شماره ۲، صص ۳۸۲-۳۶۹.

۱۲- هاشمی تنگستانی، بیرانوند، طیبی؛ مجید، سمیه، محمدحسن، (۱۳۹۱)، آشکارسازی تغییرات دریاچه بختگان فارس در دوره ۱۳۳۵ تا ۱۳۸۶، محیط‌شناسی، دوره ۳۹، شماره ۳، صص ۱۸۹-۱۹۹.

13- Dai, A. (2013). Increased drought under global warming in observations and models, *Nature Climate Change* 3, 52-58.

14- Feyisa, G.L., Meilby, H., Fensholt, R., Proud, S.R. (2014). Automated Water Extraction Index: a new technique for surface water mapping using Landsat imagery, *Remote Sens. Environ.*, 140, 23-35.

15- 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, *Open Journal of Ecology*, 7, 158-178.

16- Lampros, V& Athanasios L.(2009).Hydrological response to meteorological drought using the Palmer drought indices in Thessaly, Greece, *Desalination*, 237, 3-21.

17- Luke, M.Mosley. (2015). Drought impacts on the water quality of freshwater systems; review and integration, *Earth-Science Reviews*, Volume 140, 203-214.

18- Payus, C., Lim, A. H., Farrah, A., Andi B.R., Geetha, M., Saroj Kumar, C., Giulia, R., Alexandros, G Kensuke F. (2020). Impact of Extreme Drought Climate on Water

رسول، سعید، (۱۳۹۷)، مدیریت منابع و مصارف آب سدهای ملاصدرا، سیوند و درودزن در حوضه آبخیز بختگان- مهارلو. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۲ (۴۲)، صص ۴۱-۳۱.

۳- زینالی، اصغری سراسکانرود، صفریان زنگیر؛ بتول، سیاد، وحید، (۱۳۹۵)، پایش خشکسالی و ارزیابی امکان‌پذیری آن در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص SEPI و مدل ANFIS، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دوره ۴ شماره ۱ (۱)، صص ۷۳-۹۶.

۴- سلیمانی، حقی‌زاده؛ لیلا، علی، (۱۳۹۳)، ارزیابی تأثیر خشکسالی‌های اخیر بر کاهش آب دریاچه‌ها، مطالعه موردی: دریاچه کیو، خرم‌آباد، نشریه منابع آب و توسعه، سال سوم، شماره ۳ (۱۱ متوالی)، صص ۱۰۸-۹۹.

۵- سمیعی، قضاوی، پاک‌پرور، ولی؛ مسعود، رضا، مجتبی، عباسعلی، (۱۳۹۵)، بررسی تأثیر تغییرات اقلیم بر تغییرات سطح دریاچه مهارلو با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، فصلنامه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در علوم منابع طبیعی، شماره ۲۶، صص ۱۸-۱.

۶- عباسی، دلاور، بیگدلی نعلبندان؛ حمید، مجید، رویا، (۱۳۹۸)، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پایداری منابع آب حوضه‌های آبریز با استفاده از شاخص‌های کمبود ردپای آب، تحقیقات منابع آب ایران، ۱۵ (۴)، صص ۲۷۲-۲۵۹.

۷- کاظمی، فیض‌نیا، خسروی، ناجی، مصباح؛ محسن، سادات، حسن، صادق، حمید، (۱۳۹۸)، بررسی تغییرات سطح دریاچه مهارلو کاربری اراضی حاشیه آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۱۱، شماره ۴، صص ۱۱۳۹-۱۱۳۰.

۸- مرتضایی، ستوده، رجایی شریف‌آبادی؛ مرضیه، احد، مریم، (۱۳۹۵)، بررسی میزان بارش بر تغییر سطح دریاچه‌ی بختگان و مهارلو با استفاده از داده‌های سنجش از دور سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۶، دومین کنفرانس بین‌المللی اکولوژی سیمای سرزمین، ۱۱ صفحه.

۹- مظفری، نارنگی‌فرد؛ غلامعلی، مهدی، (۱۳۹۲)، بررسی

Security in North Borneo: Case Study of Sabah, Water, 12, 1-19.

19- 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, Volume 100, 246-255.

20- Tallaksen, L.M & van Lanen, H.A.J. (2004). Hydrological drought processes and estimation methods for streamflow and groundwater, Developments in Water science, 48.Elsevier Science B.V, 579.

21- Trenberth, K.E., Dai, A., Van Der Schrier, G., Jones, P.D., Barichivich, J., Briffa, K.R.,Sheffield.(2014). Global warming and changes in drought, Nature Climate Change, 4 (1), 17-22.

22- Van Loon, A. F., & H. A. J. Van Lanen. (2013). Making the distinction between water scarcity and drought using an observation-modeling framework, Water Resour. Res, 49, 1483-1502.

23- Yu H, Zhang Q, Xu CY, Du J, Sun P, Hu P. (2019) Modified Palmer Drought Severity Index: Model improvement and application. Environ Int, 130, 1-14.

24- Zhang, J., Ding, J., Wu, P. (2020). Assessing arid Inland Lake Watershed Area and Vegetation Response to Multiple Temporal Scales of Drought across the Ebinur Lake Watershed. Sci Rep 10, 1-17.

25- Zhang, Z. (2018). The response of lake area and vegetation cover variations to climate change over the Qinghai-Tibetan Plateau during the past 30 years. Science of the Total Environment, 635, 443-451.

COPYRIGHTS

©2024 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons [Attribution-NoDerivs 3.0 Unported \(CC BY-ND 3.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/)





پروہشگاہ علوم انسانی و مطالعات فرہنگی
پرتال جامع علوم انسانی