

The Drying up of the World's Saline Lakes, Their Distribution and Causes

R. Mohamadlou¹, H. Ahmady-Birgani^{2*}

1. Ph.D. student of Watershed Sciences and Engineering, Department of Water and Soil Conservation, Urmia University, Urmia.

2. Associate Professor, Rangeland and Watershed Department, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran.

* Corresponding author: h.ahmadybirgani@urmia.ac.ir

Received date: 29/11/2024

Accepted date: 18/03/2024



DOI: [10.22034/jdmal.2025.2047056.1491](https://doi.org/10.22034/jdmal.2025.2047056.1491)

Abstract

Desertification is a gradual degradation of land into deserts in which fertile, arable land gradually turns into deserts. This phenomenon typically results from a combination of natural processes and human activities, and it can have serious consequences for the environment, economy, and local communities. One major contributor to desertification is the drying up of saline lakes, which is a critical global issue. Saline lakes are remnants of Quaternary lakes that, due to the lack of hydraulic connection with open waters, are subject to water fluctuations, subsidence, and depletion caused by both climate change and human factors. This study examines the status of dry lakes around the world, including Lake Urmia, Lake Popo, Great Salt Lake, Owens Lake, Dead Sea, Lake Walker, Salton Sea, and the Aral Sea. It also explores the factors contributing to the drying of these lakes and the consequences of this phenomenon. The findings suggest that the primary causes of lake desiccation are 40% attributable to climate change—such as increased temperatures, decreased precipitation, and changes in atmospheric patterns—that lead to higher evaporation rates and reduced water levels. The remaining 60% of the causes are linked to human activities, including agricultural practices, excessive water extraction, construction, pollution, and poor water resource management. These human-induced activities severely impact aquatic ecosystems, leading to a decline in water levels and the eventual drying of lakes. The consequences of this process are far-reaching, including air pollution, the spread of respiratory diseases, health problems, increased dust levels, reduced agricultural productivity, loss of soil fertility, and the destruction of agricultural land. Additionally, it causes the migration of populations, the collapse of local economies, and a decrease in job opportunities in affected areas and their surrounding regions.

How to cite this article

Mohamadlou, R. and Ahmady-Birgani, H. (2025). The Drying up of the World's Saline Lakes, Their Distribution and Causes. *Desert Management*, 13(1), 109-140. DOI: [10.22034/jdmal.2025.2047056.1491](https://doi.org/10.22034/jdmal.2025.2047056.1491)



Extend Abstract

Introduction

Saltwater lakes, which make up approximately 23% of the total surface area of lakes worldwide, possess unique environmental characteristics and have significant impacts on ecosystems, water resources, and economic activities. These lakes provide habitats for various species and serve as nesting and feeding grounds for aquatic and coastal birds, such as *Artemia salina* and Ephydriidae flies. In addition, salt lakes are popular tourist destinations, supporting activities such as boating, swimming, birdwatching, fishing, and even the treatment of certain diseases. Furthermore, the extraction of minerals from salt lakes represents an important economic benefit.

However, many saltwater lakes are shrinking and drying up, which negatively affects their environmental and economic roles. The desiccation of these lakes leads to reduced agricultural productivity, loss of aquatic habitats, and decreased biodiversity. Indirectly, this phenomenon may also drive-up healthcare costs due to declining water quality, intensify climate change risks, and lead to higher unemployment and migration rates.

As lakes dry, salinity levels can rise above 180–200 grams per liter, posing significant threats to both human health and ecosystems. The desiccation of saline lakes also limits access to recreational activities and increases the generation of dust particles, which can harm human health, damage agriculture, and contribute to desertification and the formation of playas. Moreover, the reduction in populations of species such as *Artemia* and brine flies' limits food sources for migratory birds, exacerbating ecological challenges—especially in developing countries. The drying of saline lakes can lead to severe environmental issues, including desertification and the displacement of local communities. Global warming accelerates evaporation and transpiration, further increasing salinity levels. Climate change, lower water levels, rising temperatures, strong winds, and changes in precipitation patterns are among the natural factors driving these issues. Human activities, such as water diversion, agricultural expansion, and industrial development, are also significant contributors to environmental degradation. These activities negatively affect human life through air pollution, destruction of farmland, the spread of diseases, and the collapse of local economies (8, 39, 54, 83, 86, 87, 88).

The drying of saltwater lakes and its consequences—including both environmental and economic impacts—require urgent attention and action. Effective water resource management and protection of aquatic ecosystems are essential to prevent further harm to human health and the environment. Accordingly, this study aims to review the existing literature on the causes and consequences of saline lake desiccation worldwide. The following sections will examine the most significant saline lakes around the world in detail.

Lake Urmia (Fig. 1), the second-largest saline lake in the world, located in northwestern Iran, has experienced severe desiccation since 1995, losing 90% of its water volume. The primary causes of this decline include water diversion for agriculture, dam construction, and climate change. This lake (Fig. 2), a sanctuary for migratory birds, faces challenges similar to those of the Great Salt Lake in the United States. Lake Poopó (Fig. 4), the second-largest salt lake in Bolivia, dries intermittently due to high evaporation rates and seasonal changes. Agricultural activities and climate change pose significant threats to aquatic life and the livelihoods of local communities. The lake has completely dried up multiple times in the past, with global warming and increased water consumption as the primary contributors.

The Great Salt Lake (Fig. 7), the largest lake in the western United States and the eighth-largest salt lake in the world, has lost 60% of its water volume due to water diversion for agricultural and urban use (Fig. 5). The drying of the lake has led to increased dust storms and health problems for local populations, threatening both the region's ecosystem and economic activities.

Owenz Lake (Fig. 8), located in California, dried up due to water diversion and wind erosion, producing toxic dust that poses risks to human health.

The Dead Sea (Fig. 10), situated on the border between Jordan and Israel, has experienced significant desiccation due to human and industrial activities, leading to environmental and health problems.

Walker Lake (Fig. 11), located in Nevada, has seen a sharp reduction in water levels due to decreased inflows and evaporation, resulting in the extinction of aquatic species.

The Aral Sea (Fig. 13), once one of the largest inland lakes in the world, has drastically dried up due to unsustainable agricultural practices and water diversion, leading to widespread social and environmental consequences.

The Salton Sea (Fig. 15), a saltwater lake in California, is shrinking due to decreased water inflow and evaporation, which contributes to increased air pollution and associated health problems (8, 28, 34, 58, 90).

Conclusion

The findings of this study reveal that the drying of saline lakes worldwide is influenced by two main categories of factors: natural and human-induced. Natural factors encompass climate change, evaporation and transpiration, reduced precipitation, global warming, and increasing drought conditions. These elements directly impact lake water levels and can result in a decrease in the available water within these ecosystems. In addition to natural factors, human activities also significantly contribute to the desiccation of lakes. Activities such as dam construction, rising water consumption, agricultural expansion, and industrial water use all contribute to the reduction of lake water volumes. Notably, water consumption in agriculture is identified as one of the primary drivers of lake drying. Estimates suggest that human activities account for 50 to 70 percent of the decline in lake water volumes. Climate change further exacerbates this process, exerting both direct and indirect effects. It is estimated that natural factors, including climate change, contribute to 30 to 50 percent of the reduction in lake water levels. The interplay of these natural and human factors presents significant challenges for aquatic ecosystems and global water resources, underscoring the need for sustainable management and the implementation of effective strategies. In conclusion, the results highlight the necessity for comprehensive management approaches that address both natural and human influences in order to preserve saline lakes and the ecosystems dependent on them. Given the serious environmental and economic implications of lake desiccation, addressing these challenges and adopting appropriate measures is of utmost importance.

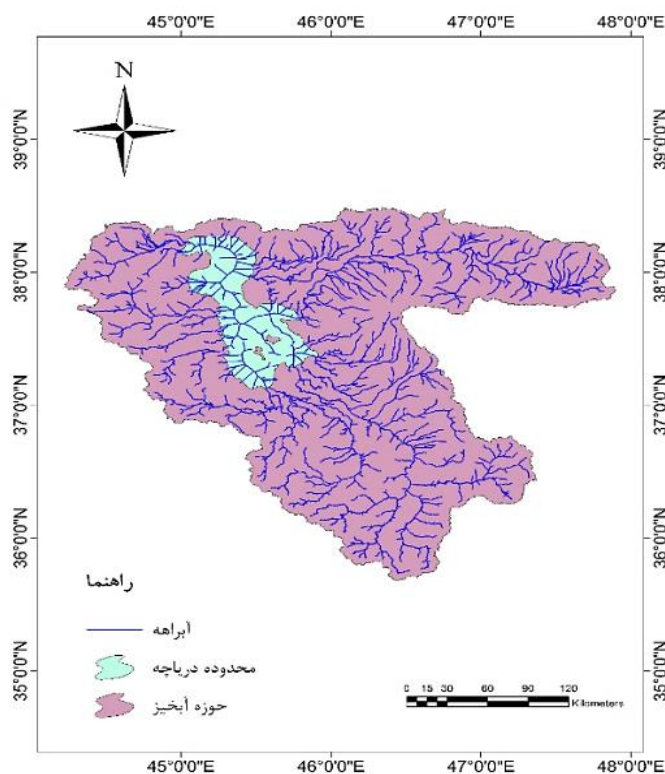


Fig 1. Lake Urmia Basin and its streams

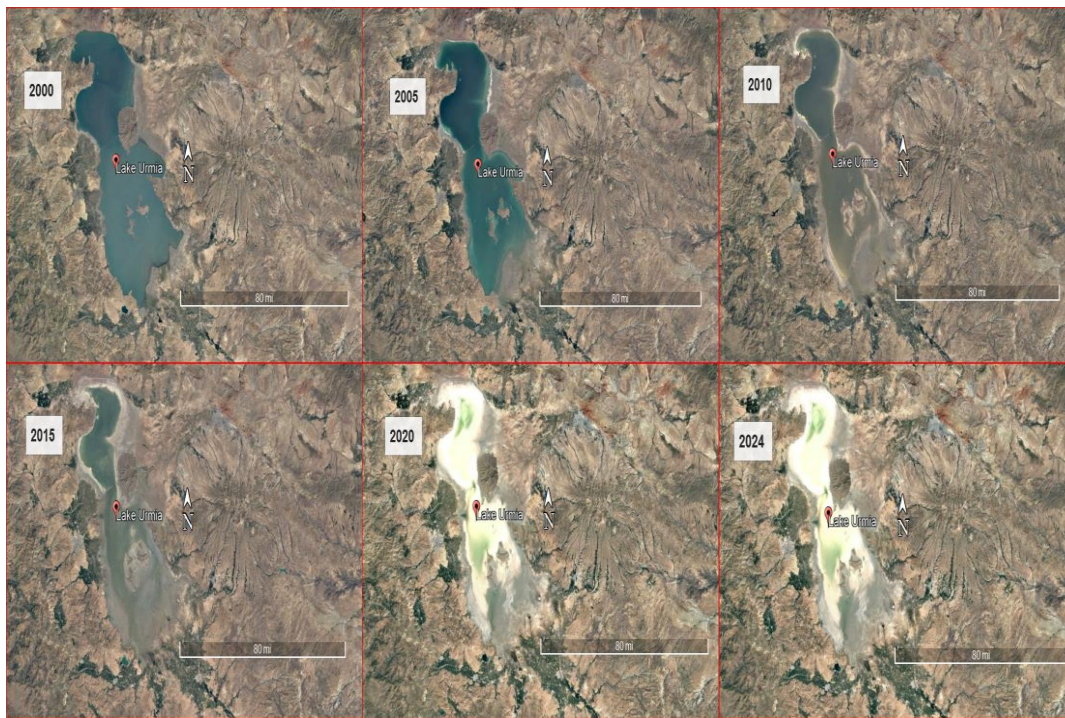


Fig 2. The trend of water level changes in Lake Urmia Basin from 2000 to 2024

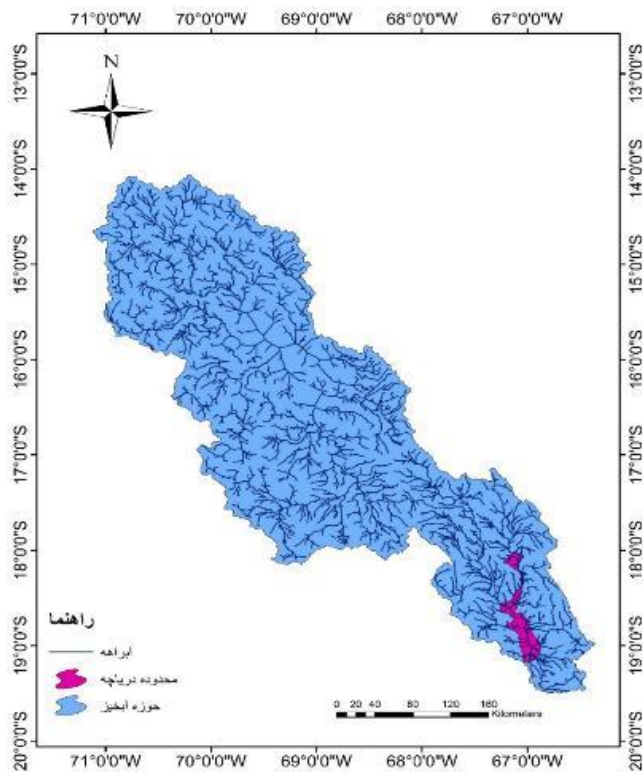


Fig 3. The Lake Poopo watershed and its streams

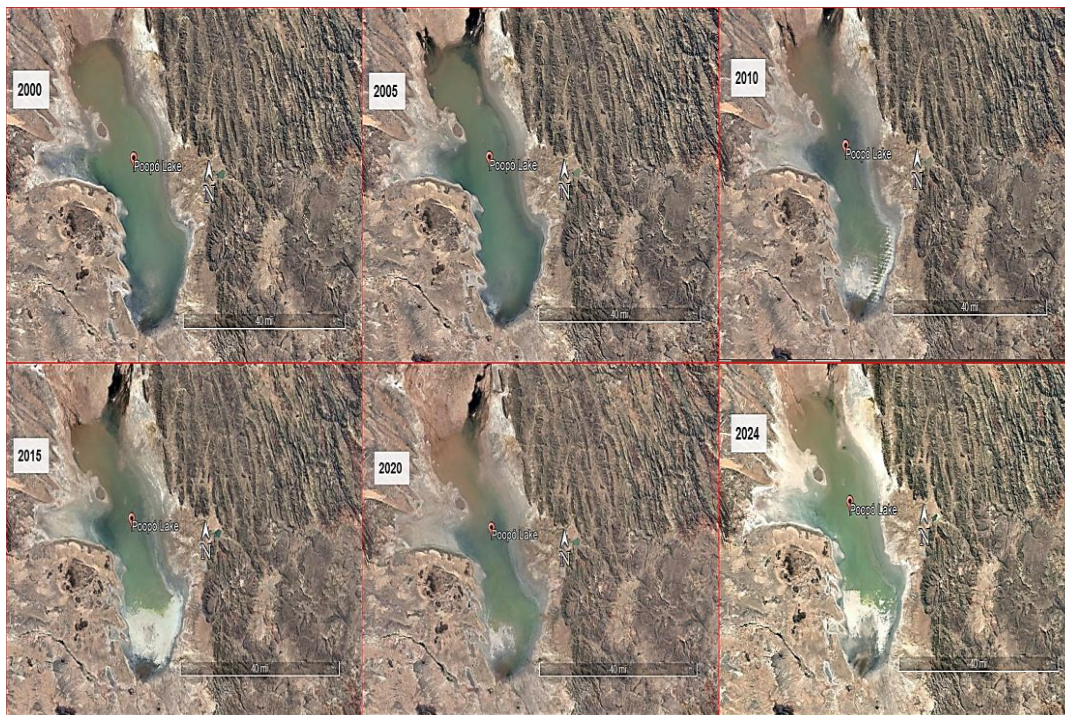


Fig 4. The trend of water level changes in Lake Poopo from 2000 to 2024

Consumption status of water resources

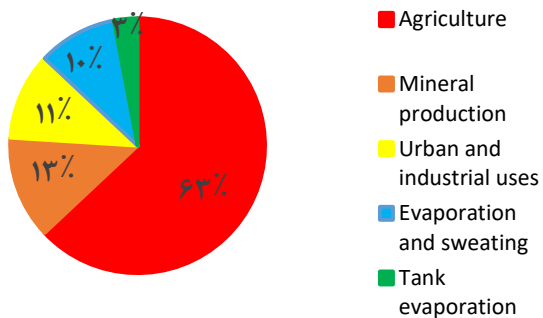


Fig 5. Water Resource Consumption in Utah, United States

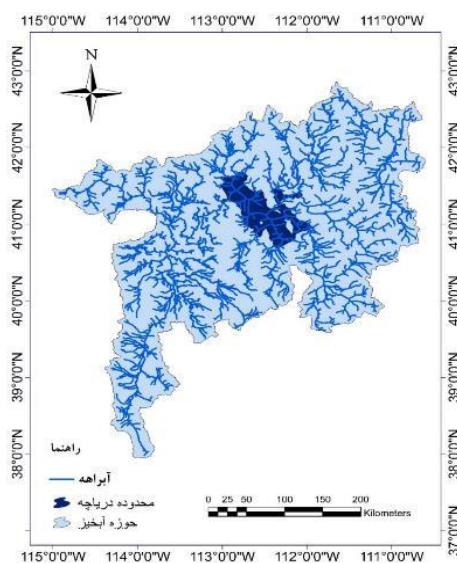


Fig 6. Great Salt Lake watershed and its streams

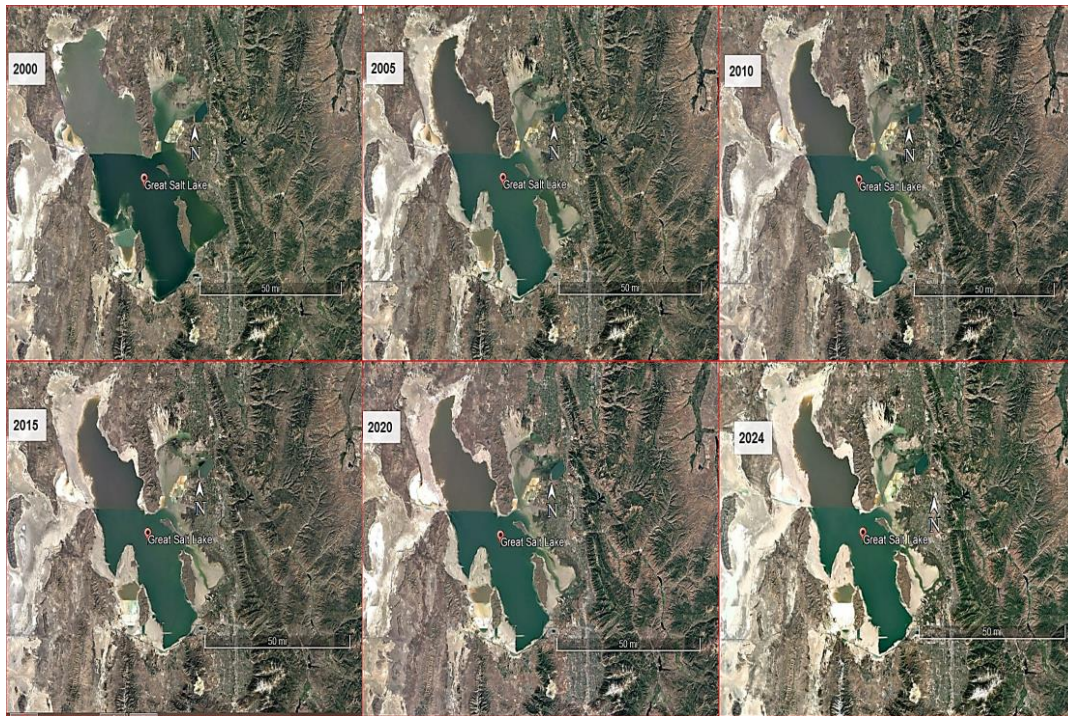


Fig 7. The trend of water level changes in Great Salt Lake from 2000 to 2024

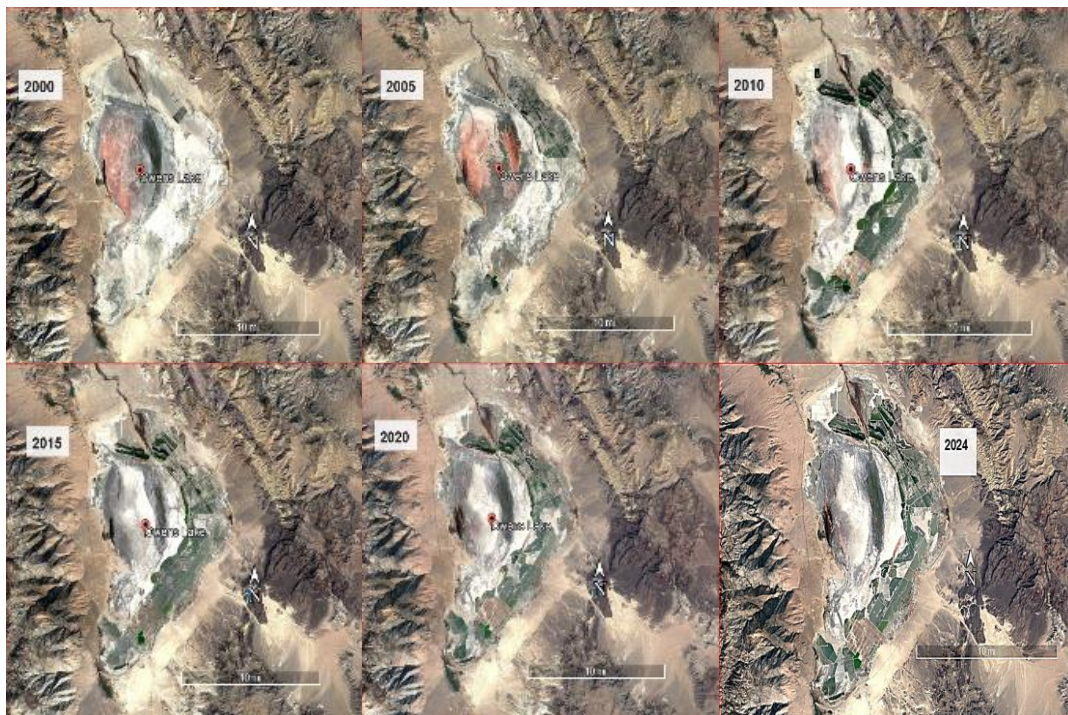


Fig 8. The trend of water level changes in Owens Lake from 2000 to 2024

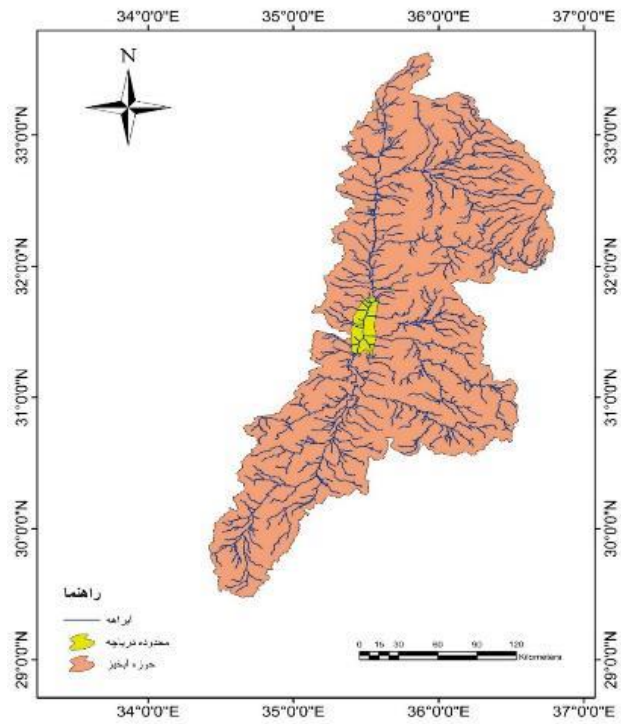


Fig 9. Dead Sea watershed and its streams

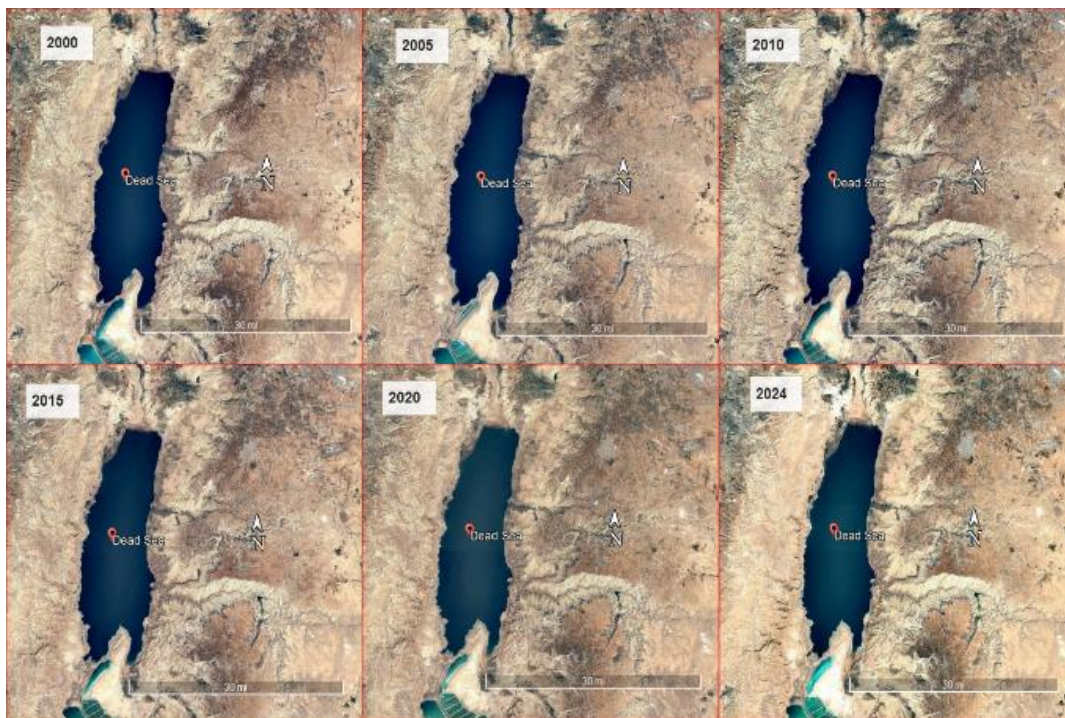


Fig 10. The trend of water level changes in Dead Sea from 2000 to 2024

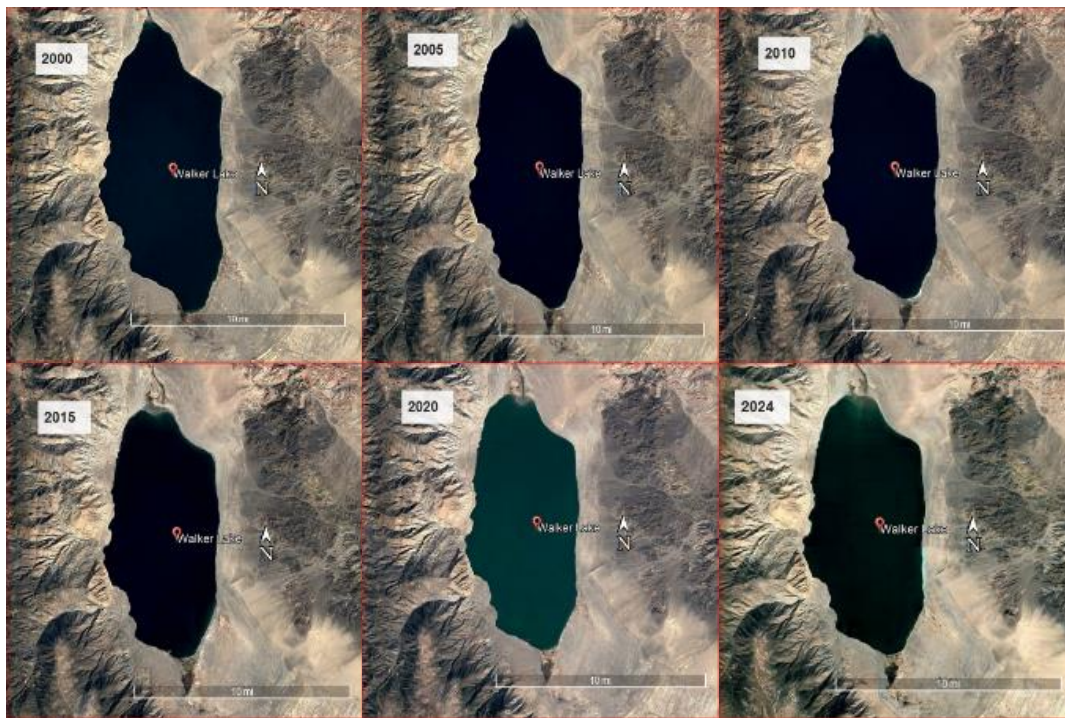


Fig 11. The trend of water level changes in Lake Walker from 2000 to 2024

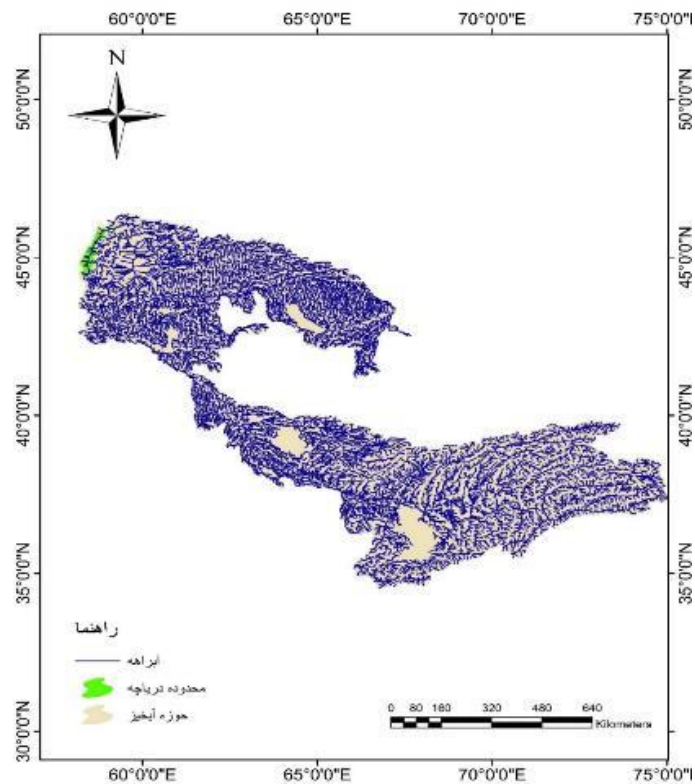


Fig 12. Aral Sea watershed and its streams

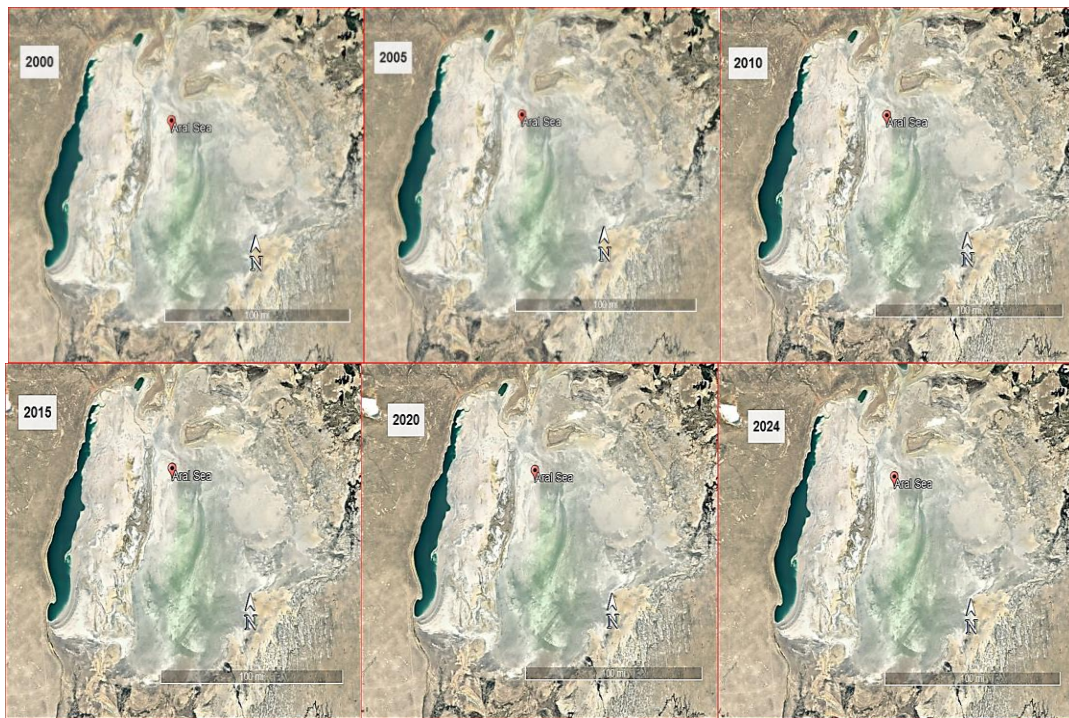


Fig 13. The trend of water level changes in Aral Sea from 2000 to 2024

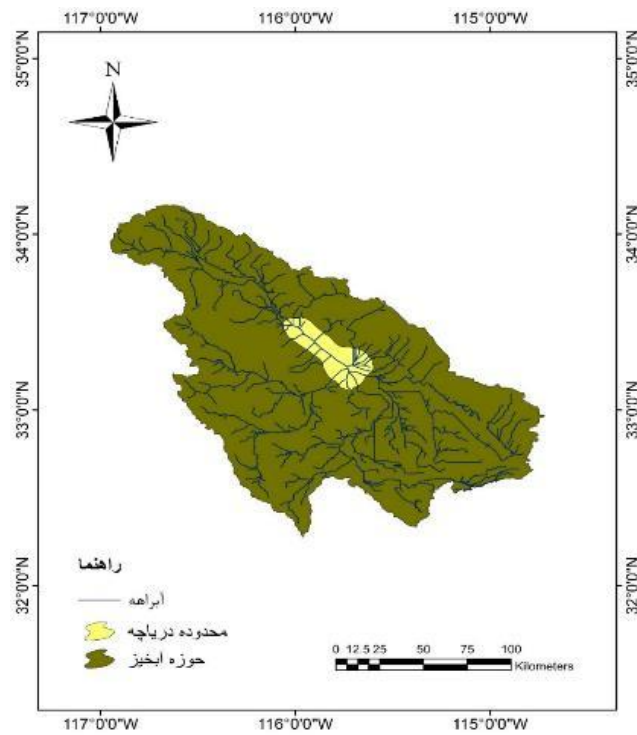


Fig 14. Salton Sea watershed and its streams

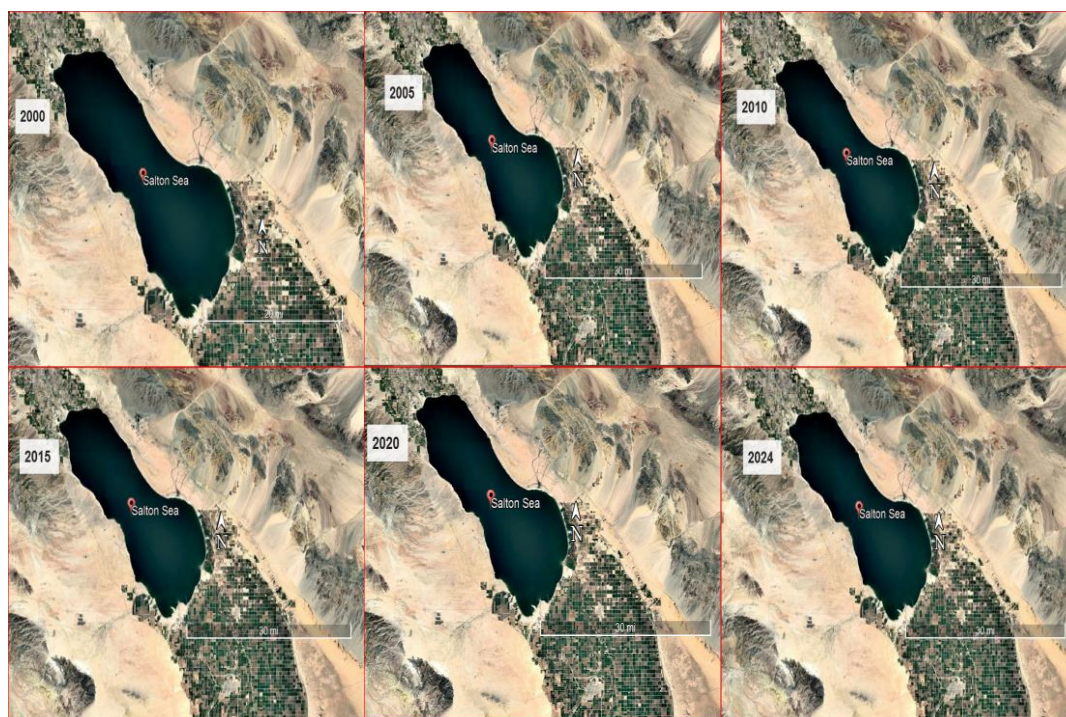


Fig 15. The trend of water level changes in Salton Sea from 2000 to 2024

Table 1. Geometric characteristics of lakes and their drying factors

The main cause of drying	(m) Depth	(km ²) Area	Country	The name of the lake
Dam construction, agricultural development, mismanagement, drilling of authorized and unauthorized wells, improper management, excessive development of water resources, climate and weather changes, worsening of drought, evaporation, temperature increase, decrease of precipitation, construction of Shahid Kalantari bypass road, water diversion, excessive pumping of water, competition for water, development of industry	10	6000	Iran	Lake Urmia
Global warming, climate and weather changes, increased water consumption, lack of rainfall, evaporation and transpiration, large-scale water harvesting for mining, agriculture and urban use, human population	2	3000-500	Bolivia	Lake Poopo
Increased water consumption, evaporation, water diversion, global warming, mineral extraction, urban landscaping, industrial uses	42	4400	United States of America	Great Salt Lake
River water diversion and salinization, evaporation, changes in discharge	14/9		United States of America	Owenz Lake
Evaporation, human effects, precipitation, topography and soil cover, weather conditions	298	40000	Occupied Palestine	Dead Sea
Climate change and major agricultural exploitation, evaporation and transpiration	35	140	United States of America	Lake Walker
Human mismanagement, unsustainable use of water resources, diversion of river water to agricultural lands, construction of dams and reservoirs, climate changes, changes in precipitation patterns	69	68000	Turkish	Aral Sea
Agriculture, evaporation, water diversion, reduction of precipitation and river flows, global warming	8	984	California	Salton Sea



خشکیدگی برخی دریاچه‌های شور جهان، پراکنش و علت‌های آن

رقیه محمدلو^۱، حسام احمدی بیرگانی^{۲*}

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، گرایش حفاظت آب و خاک، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۲. دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

* نویسنده مسؤل: h.ahmadybirgani@urmia.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۸



DOI: [10.22034/jdmal.2025.2047056.1491](https://doi.org/10.22034/jdmal.2025.2047056.1491)

چکیده

بیابان‌زایی نوعی تخریب تدریجی زمین است که در آن زمین‌های حاصلخیز و بارور به تدریج دچار زوال تولید می‌شوند و شروع این فرایند با تشدید خشکی زمین آغاز می‌شود. این پدیده معمولاً به دلیل ترکیبی از فرآیندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی رخ می‌دهد که می‌تواند عواقب وخیمی برای انسان، محیط‌زیست و اقتصاد محلی داشته باشد. در این میان، خشک‌شدن دریاچه‌های شور به‌عنوان مسئله جدی در سرتاسر جهان، نقش مهمی در بروز پدیده بیابان‌زایی ایفا می‌کنند. دریاچه‌های شور باقیمانده دریاچه‌های دوره کواترنری هستند که به دلیل عدم ارتباط با آب‌های آزاد، در اثر تغییرات اقلیمی و عوامل انسانی، به طور مداوم دچار نوسان سطح آب، فروکش و تهی‌شدگی می‌شوند. پژوهش جاری به مرور وضعیت دریاچه‌های خشک در نقاط مختلف جهان از جمله دریاچه ارومیه، دریاچه پوپو، دریاچه نمک بزرگ، دریاچه اوونز، دریای مرده، دریاچه واکر، دریاچه سالتون و دریای آرال و همچنین علت‌های خشکیدگی و پیامدهای ناشی از آن را مورد واکاوی قرار داده است. نتایج حاکی از آن است که علت اصلی خشک شدن این دریاچه‌ها به میزان ۴۰٪ ناشی از تغییرات اقلیمی شامل افزایش دما، کاهش بارش و تغییر الگوی جوی است که به تبخیر بیشتر آب دریاچه‌ها و کاهش سطح آب منجر می‌شود و ۶۰٪ ناشی از عوامل انسانی از جمله فعالیت‌های کشاورزی، برداشت بی‌رویه آب، ساخت و ساز، آلودگی و مدیریت نادرست منابع آب است. این فعالیت‌ها به شدت بر زیست‌بوم‌های آبی تأثیر می‌گذارند و موجب کاهش سطح آب و در پایان خشک شدن دریاچه‌ها می‌شوند که در نتیجه آن موجب ایجاد آلودگی هوا، شیوع بیماری‌های تنفسی، مشکلات بهداشتی، گرد و غبار، کاهش درآمد کشاورزی، از دست رفتن حاصلخیزی خاک و تخریب زمین‌های کشاورزی، مهاجرت مردم، فروپاشی اقتصاد محلی و کاهش فرصت‌های شغلی در این مناطق و اطراف آن‌ها می‌شود.

واژگان کلیدی: بیابان‌زایی؛ گرد و غبار؛ اثرات اجتماعی و اقتصادی؛ دریاچه‌های شور داخلی

استناد به این مقاله

محمدلو، رقیه و احمدی بیرگانی، حسام. (۱۴۰۴). خشکیدگی برخی دریاچه‌های شور جهان، پراکنش و علت‌های آن. مدیریت بیابان، ۱۳(۱)، ۱۰۹-۱۴۰

DOI: [10.22034/jdmal.2024.2042597.1484](https://doi.org/10.22034/jdmal.2024.2042597.1484)



■ مقدمه

حدود ۲۳٪ از مساحت کل دریاچه‌های جهان را دریاچه‌های شور تشکیل می‌دهند. این دریاچه‌ها با ویژگی‌های محیط‌زیستی خاص، تأثیر قابل توجهی بر زیست‌بوم‌ها، منابع آب و فعالیت‌های اقتصادی در سراسر جهان دارند (۷۷، ۸۸). از طرفی با توجه به مزایای متعددی که دارند حائز اهمیت می‌باشند. از جمله این مزایا می‌توان به زیستگاهی برای حیوانات، لانه‌سازی و تغذیه پرندگان اشاره کرد. پرندگان ساحلی و آبی از دریاچه‌های شور برای لانه‌سازی و برای تغذیه مهاجرت‌های طولانی با منابع غذایی فراوان مانند *A. Salina* و *Ephydriidae* استفاده می‌کنند. از سوی دیگر به‌عنوان منبع مهم گردشگری مطرح هستند و برای اهداف تفریحی همچون قایق‌سواری، شنا، تماشای پرندگان، ماهیگیری، شکار پرندگان آبی و درمان برخی بیماری‌ها نیز استفاده می‌شوند. یکی دیگر از مزایای اقتصادی دریاچه‌های شور استخراج مواد معدنی می‌باشد. از سوی دیگر دریاچه‌های شور می‌توانند بهتر از بوم‌سازگان‌های آب شیرین، مواد مغذی را جمع‌آوری و بازیافت کنند، بنابراین این زیست-بوم‌ها مقدار زیادی غذا برای ماهی‌ها تولید می‌کنند. بسیاری از دریاچه‌های شور در سراسر جهان در حوزه‌های آبخیز بسته خود در حال کوچک و خشک شدن هستند. خشک شدن دریاچه بسیاری از خدمات آن را کاهش یا از بین می‌برد (۸۸). تبخیر و کوچک شدن دریاچه‌های شور هزینه‌های اقتصادی و محیط‌زیستی مستقیم از جمله کاهش تولید محصولات کشاورزی، از بین رفتن زیستگاه‌های آبی و کاهش تنوع زیستی و غیر مستقیم از جمله افزایش هزینه‌های بهداشتی ناشی از کاهش کیفیت آب، افزایش خطرات مرتبط با تغییرات اقلیمی، افزایش بیکاری و مهاجرت را به همراه دارند (۹۰). هنگامی که این دریاچه‌ها خشک شوند شوری آب آن‌ها بیش از ۱۸-۲۰۰ gr/lit افزایش می‌یابد و این موضوع به تنهایی می‌تواند به سلامت انسان و زیست‌بوم منطقه آسیب برساند (۷۳، ۵۹). همچنین خشک شدن دریاچه‌های شور دسترسی به فعالیت‌های قایقرانی، شنا و دیگر فعالیت‌های تفریحی را محدود کرده (۷۳، ۸۱) و موجب افزایش منابع

گرد و غبار و در پایان، آسیب رساندن به انسان، کشاورزی، شکل‌گیری بیابان‌ها و پلایاها می‌شوند. از سوی دیگر با خشک شدن دریاچه‌ها تراکم گونه‌هایی همچون آرتمیا، مگس‌ها، پرندگان و غیره زیر فشار قرار می‌گیرند و تراکم آنها کاهش می‌یابد. بنابراین، شکار را برای پرندگان محدود می‌کند و این مشکل به‌عنوان چالش جهانی در کشورهای در حال توسعه نیز مطرح است (۸۸، ۸۷، ۸۶). خشکی دریاچه‌های شور باعث پدیده‌های مخرب محیط‌زیستی و اضمحلال زیست‌بوم از جمله بیابان‌زایی و مهاجرت جامعه محلی می‌شود. از طرفی گرم شدن کره زمین به تسریع تبخیر و تعرق و در نتیجه افزایش شوری کمک خواهد کرد (۳۹، ۸۳). در این میان به عوامل طبیعی همچون تغییرات آب و هوایی، کاهش سطح آب، افزایش دما، بادهای شدید و تغییرات طولانی مدت در الگوی بارش نیز می‌توان اشاره نمود. همچنین عوامل انسانی بر پدیده بیابان‌زایی نقش اساسی و کلیدی دارند و موجب تسریع و افزایش سرعت روند بیابان‌زایی می‌شوند. عوامل انسانی علاوه بر نقش مستقیم خود در تغییرات زیست‌بوم، به‌عنوان محرک عمل می‌کنند و موجب تحریک و تقویت عوامل محیطی از جمله اقلیم را فراهم می‌کنند.

به‌دلیل خشک شدن دریاچه‌ها شور داخلی، تشدید پدیده بیابان‌زایی، می‌تواند تغییرات محیط زیستی گسترده به‌ویژه شوری شدن و افت آب زیرزمینی موجب تأثیر منفی بر زندگی انسان از جمله آلودگی هوا، تخریب زمین‌های کشاورزی، شیوع بیماری‌ها و فروپاشی اقتصاد محلی و مهاجرت مردم محلی به مکان‌های دیگر داشته باشد (۸، ۵۴، ۷۶). از جمله بزرگترین دریاچه‌های شور و فوق شور دنیا می‌توان به دریاچه ارومیه^۱ در ایران، دریاچه پوپو^۲ در بولیوی، دریاچه نمک بزرگ^۳ در جنوب غربی آمریکا، دریاچه اوونز^۴ در ایالات متحده آمریکا، دریای مرده^۵ در فلسطین اشغالی، دریاچه واکر^۶ در غرب ایالات متحده، دریاچه سالتون^۷ در جنوب شرقی کالیفرنیا و

¹ Lake Urmia

² Poopo Lake

³ Great Salt Lake

⁴ Owens Lake

⁵ Dead Lake

⁶ Walker Lake

⁷ Salton Lake

بر روی رودخانه‌های اصلی و سرشاخه‌های بالادست، بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی در سراسر حوضه دریاچه با تعداد کلی ۸۵۰۰۰ چاه در سال ۲۰۱۹، (که ۵۰٪ از آن‌ها غیرقانونی است) ارتباط دارد (۴). در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ سطح آب از ۱۲۷۶m به ۱۲۷۰m کاهش یافت (معادل ۶m) (۴). همچنین توسعه آب برای کشاورزی موجب از دست دادن بیش از ۹۰٪ حجم آب این دریاچه شده است (۶۶). دریاچه ارومیه در ایران در بسیاری از ویژگی‌ها مشابه با دریاچه نمک بزرگ در ایالات متحده است که به دلیل انحراف آب برای کشاورزی و آلودگی از شهرهای مجاور تهدید می‌شود. دریاچه ارومیه توسط مسیر عبور اتومبیل و دریاچه نمک بزرگ توسط مسیر راه آهن به دو حوضه شمالی و جنوبی تقسیم شده است. شکاف ۱۲۵۰m در گذرگاه دریاچه ارومیه و شکاف ۸۲m در گذرگاه دریاچه نمک بزرگ باعث ایجاد تفاوت عمده شوری، تبخیر و زیست‌بوم در حوضه‌های شمالی و جنوبی شده است (۸۸). تغییرات شدید سطح دریاچه در نتیجه عواملی مانند برنامه‌ریزی نامناسب منابع آب، به ویژه معرفی کشاورزی متمرکز، رقابت بر سر آب، پمپاژ بیش از حد آب و کشاورزی شدید بدون استفاده از روش‌های آبیاری موثر است که موجب شور شدن خاک و افزایش توفان‌های گرد و غبار و در نتیجه کاهش تولیدات کشاورزی، مشکلات بهداشتی و مهاجرت انبوه روستاییان شده است (۸، ۵۹). با این حال بررسی‌ها نشان می‌دهد گرمایش جهانی نیز در کاهش سطح آب دریاچه ارومیه نقش دارد. به‌طوریکه نتایج بررسی محققانی همچون (۱۹)، (۶۷) در سطح جهان بیانگر این موضوع است که کاهش سطح دریاچه ارومیه ممکن است نتیجه یک دوره طولانی هوای خشک باشد و به دلیل چرخه‌های اقلیمی و انحراف آب برای مصارف کشاورزی و سدسازی در نوسانات است. پژوهشی دیگر بیانگر این است که گسترش کشاورزی آبی، سد سازی و سوء مدیریت بیش از افزایش دما و کاهش بارندگی بر خشک شدن دریاچه ارومیه (جدول ۱) تاثیرگذار بوده است (۶۶). بر اساس اطلاعات سال ۲۰۱۹ از مرکز آمار ایران، فعالیت‌های کشاورزی پر مصرف‌ترین بخش در حوضه دریاچه ارومیه است و تنها ۱۳٪ از تولید ناخالص داخلی منطقه و ۲۸٪ اشتغال را به خود اختصاص

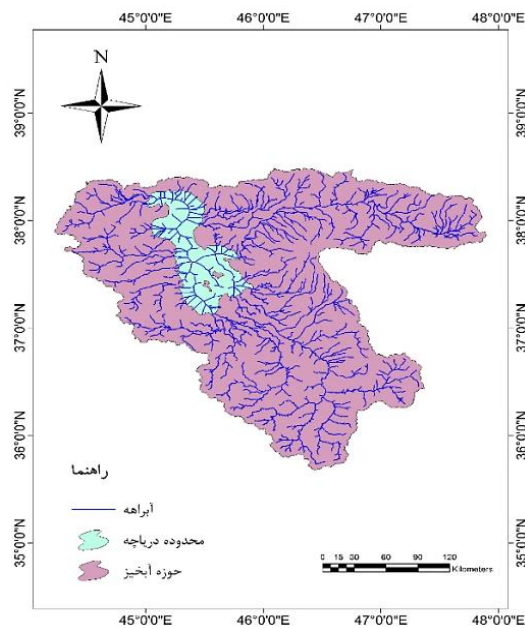
دریاچه آرال^۱ در مرز desert ازبکستان-قزاقستان اشاره کرد که امروزه در معرض خشک و بیابانی شدن قرار گرفته‌اند. بر همین اساس هدف از پژوهش جاری بر منابع صورت گرفته در خصوص دلایل خشک شدن دریاچه‌های شور دنیا، علت‌ها و پیامدهای ناشی از آن است. در ادامه به ترتیب مهمترین دریاچه‌های شور دنیا بررسی خواهند شد:

۱- **دریاچه ارومیه:** یکی از جاذبه‌های طبیعی مهم در ایران، به عنوان دومین دریاچه بزرگ نمک در جهان و ششمین دریاچه بزرگ نمک در سراسر جهان شناخته می‌شود (۵۸). دریاچه ارومیه در شمال غربی ایران در میان دو استان آذربایجان غربی و شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). مساحت دریاچه ارومیه در سال ۱۹۷۲ حدود ۶۰۰۰km^۲ بوده است. این دریاچه به دلیل داشتن ویژگی‌های منحصر به فرد از جمله داشتن ۱۰۲ جزیره و وجود آب شیرین در برخی از این جزایر، پناهگاهی امن برای پرندگان مهاجر است. همچنین به دلیل تنوع گیاهی موجود در این منطقه، دارای اهمیت زیادی است. کاهش تراز آب آن از سال ۱۳۷۴ آغاز شده است و در مدت بیست سال تراز دریاچه بیش از ۸m کاهش یافته و در تابستان ۲۰۲۰ به زیر سطح ۱۲۷۲m رسیده است. روند تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه در شکل (۲) از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ نشان داده شده است. همچنین حجم این دریاچه به دلیل فشارهای طبیعی و انسانی به مقدار ۹۰٪ کاهش یافته و دو سوم بستر دریاچه در معرض خشکیدگی کامل قرار گرفته است (۲، ۴، ۳۴). این دریاچه در ایران نقش مهمی در محیط زیست و اقتصاد استان‌های شمال غرب کشور دارد (۴۴). پلایاها و پادگانه‌های بزرگ و خشکیده‌ای که حدود ۹۰٪ از سطح خشکیده را تشکیل می‌دهند ممکن است منشأ گرد و غبار در منطقه شوند (۵۴). دریاچه ارومیه از ۱۳ رودخانه دائمی، به طور عمده از حوزه‌های آبخیز جنوبی تغذیه می‌شود (۶۱) که در این میان زربینه‌رود و سیمینه‌رود به ترتیب ۴۲٪ و ۱۳٪ حجم آب وارد شده به این دریاچه را تشکیل می‌دهند. علت اصلی کاهش ورودی آب به دریاچه ارومیه ساخت ۷۷ سد

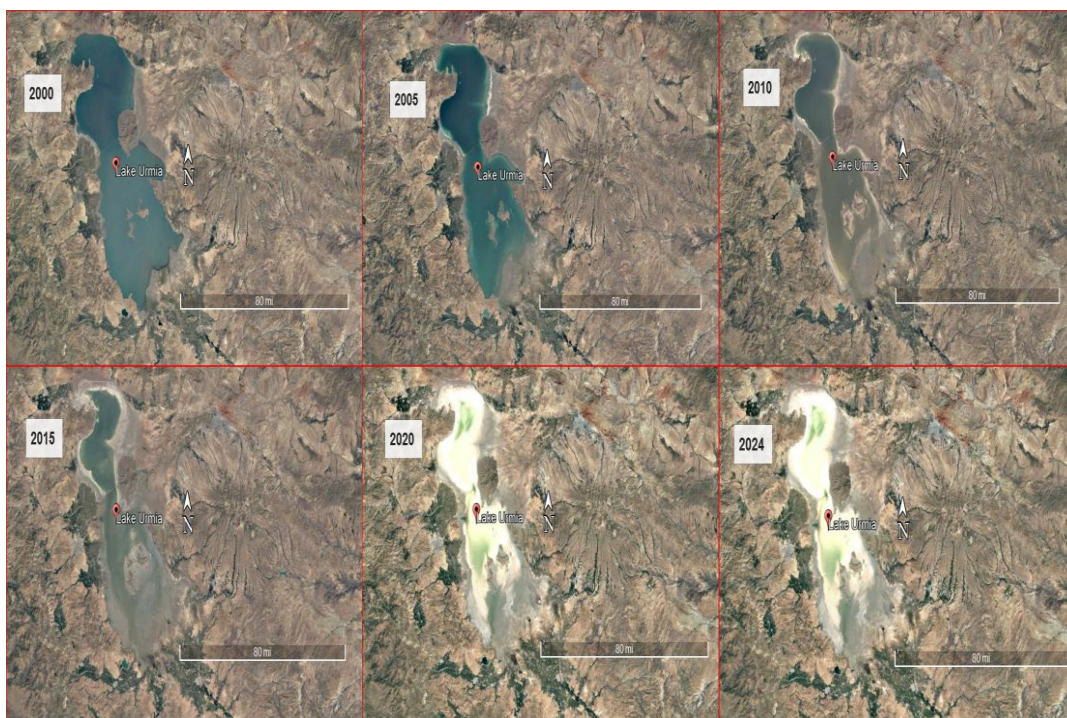
¹ Aral Lake

شده‌اند و چالش‌هایی زیادی را بوجود آورده‌اند. این تپه‌ها باغ‌ها، زمین‌های زراعی، جاده‌های قدیمی و کانال‌های آبیاری را می‌توانند به سرعت مدفون می‌کنند. مخروط افکنه‌ها، تراس‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای-نمکی در واحدهای زمین‌ریخت‌شناسی بیشترین سهم را در تشکیل تپه‌های ماسه‌ای دریاچه ارومیه داشته‌اند (۲).

داده است. در مقابل بخش خدمات با داشتن ۱٪ از کل مصرف آب، بیشترین سهم تولید ناخالص داخلی ۵۵٪ و اشتغال ۴۴٪ را در سه استان حوضه دریاچه ارومیه به خود اختصاص داده است (۸۸). در سال‌های اخیر پس از خشک شدن دریاچه ارومیه تپه‌های ماسه‌ای به‌عنوان ناهمواری‌های زمین‌ریخت‌شناسی حاصل دست بشر ایجاد



شکل ۱. حوزه آبخیز دریاچه ارومیه و آبراهه‌های موجود در آن



شکل ۲. روند تغییرات سطح آب دریاچه ارومیه در فاصله سال‌های ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۲۴

بخش شمالی دریاچه پوپو دارای فعالیت معدنی و متالوژی فشرده است که حدود ۱۲۰ معدن سرب، قلع، نقره، طلا و آهن است (۳۳). از نظر جمعیت محلی، دریاچه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ زیرا مردم برای ماهیگیری و فعالیت‌های کشاورزی به آن وابسته هستند (۴۲، ۴۳). تبخیر و تعرق منطقه‌ای بین سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ به میزان ۱۲/۸٪ افزایش داشته است. خشکسالی اخیر در دریاچه پوپو، دومین مجموعه آبی بزرگ در بولیوی، یکی از نگرانی‌های اصلی اجتماعی و زیست‌محیطی است. این خشکسالی موجب تهدید جمعیت محلی و وابسته به ماهیگیری و همچنین گونه‌های بومی محلی شده است. همچنین، رسوبات آلوده شده به دلیل فعالیت‌های معدنی شدید در این منطقه، که در کف دریاچه جمع شده‌اند، زیر تأثیر فرسایش بادی قرار گرفته و دشت‌های مرتفع میانکوهی^۴ را با خطر آلودگی مواجه کرده است. دو عامل اصلی که در خشک شدن دریاچه پوپو نقش داشته‌اند، گرم شدن کره‌زمین و تغییرات اقلیمی با افزایش مداوم دمای هوا است. از سال ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۲، افزایش دما تأثیر کمی بر تبخیر و تعرق داشته است، اما ذوب یخچال‌ها را تسریع کرده است. به عنوان مثال، یخچال چاکلتایا، یکی از بزرگترین یخچال‌های طبیعی در منطقه، در سال ۲۰۱۰ به طور کامل ذوب شد. دومین عامل، افزایش مصرف آب به علت فعالیت‌های کشاورزی است که از عوامل اصلی بیابان‌زایی منطقه و خشک شدن دریاچه پوپو است. این دو عامل به‌طور مشترک موجب کاهش سطح آب دریاچه و تشدید مشکلات محیط‌زیستی شده‌اند (۷۱، ۹۱).

۳- **دریاچه نمک بزرگ (یوتا):** بزرگترین دریاچه در غرب آمریکا و هشتمین دریاچه شور جهان است. مساحت دریاچه نمک بزرگ 4400 km^2 است که شامل حوزه آبخیز غربی در غرب دریاچه می‌باشد (۲۴). این دریاچه زیست‌بوم مهم جهانی است که توسط استفاده بیش از حد آب تهدید می‌شود. دریاچه بزرگ نمک حدود ۳۱٪ از آب خود را مستقیماً از بارش‌های جوی و نزدیک به ۳٪ را از منابع آب زیرزمینی دریافت می‌کند.

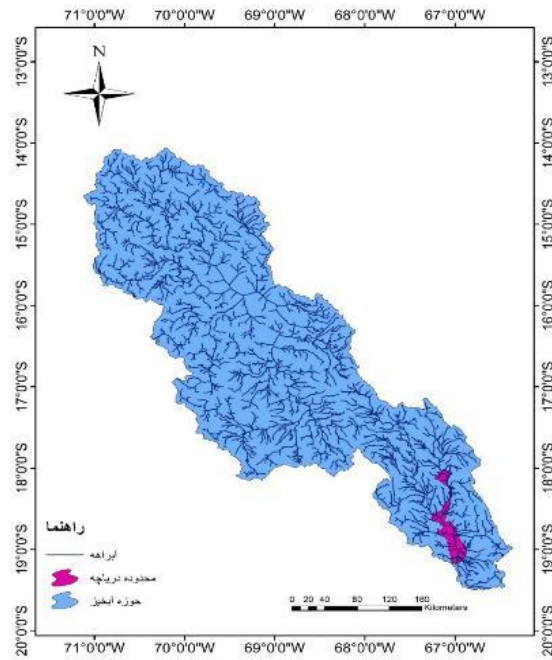
۲- دریاچه پوپو دومین دریاچه شور جهان و دومین دریاچه بزرگ است که در ارتفاعات بولیوی بین ۳۶۰۰ تا 3900 m^2 واقع شده است (۲۵). این دریاچه در محدوده جغرافیایی با عرض 17° تا 20° جنوبی و طول جغرافیایی 66° غربی و 68° با ارتفاع 3686 m واقع شده است (شکل ۳). چون منطقه‌ای که دریاچه پوپو در آن قرار دارد بسیار مسطح است، مساحت آن بین ۵۰۰ تا 3000 km^2 متغیر است و به شدت با تغییرات فصلی مرطوب و خشک تغییر می‌کند. این دریاچه از ۲۲ رودخانه منطقه‌ای آب دریافت می‌کند و بزرگترین آن رودخانه مارکز^۱ است. همچنین عمق بسیار کمی دارد و میانگین ژرفای آن کمتر از ۲m زیر سطح سربز خروجی قرار دارد. میانگین سالانه بارندگی تقریباً 400 mm بر روی دریاچه (۷۱) و نرخ تبخیر و تعرق 1700 mm در سال برآورد شد که منجر به شور شدن آب دریاچه شد (۳۲). حدود ۶۵٪ ورودی آب به دریاچه پوپو از رودخانه دساگوآدرو^۲ به عنوان خروجی آب آن از رودخانه تیتیکاکا^۳ است. در ۵۰ طول سال گذشته این رودخانه تنها یک بار، در سال ۱۹۸۶ طغیان کرده است. دریاچه پوپو در سال‌های ۱۹۹۴، ۱۹۹۵ و ۲۰۱۵ چندین بار خشک شد. در سال ۱۹۹۴، این دریاچه به‌طور کامل خشک شد و تا ۱۹۹۷ به حالت خشک باقی ماند. در دسامبر ۲۰۱۵ نیز کاملاً خشک شد. زمانی که وسعت دریاچه کمتر از 700 km^2 باشد، دسترسی به آب آن دشوار می‌شود و این کاهش عمق آب موجب کمبود ماهی در دریاچه می‌شود. روند تغییرات سطح آب دریاچه پوپو از سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ در شکل (۴) نشان داده شده است. از نظر زمین‌ریخت‌شناسی این حوضه را می‌توان به سه منطقه تقسیم نمود که منطقه کوهستانی شرقی حدود ۴۰٪ از کل مساحت حوضه پوپو را اشغال می‌کند و در ارتفاعات بین ۳۸۰۰ تا 5000 m از سطح زمین قرار دارد. منطقه کوهستانی غربی تنها بخش کوچکی از حوضه را در ارتفاع 3800 m تا 4800 m اشغال می‌کند. همچنین مطابق بررسی اگر عمق دریاچه پوپو در طول فصل مرطوب کمتر از ۱m باشد، خطر خشک شدن این دریاچه کم عمق در فصل خشک وجود دارد (۷۱، ۹۱).

¹ Márquez River

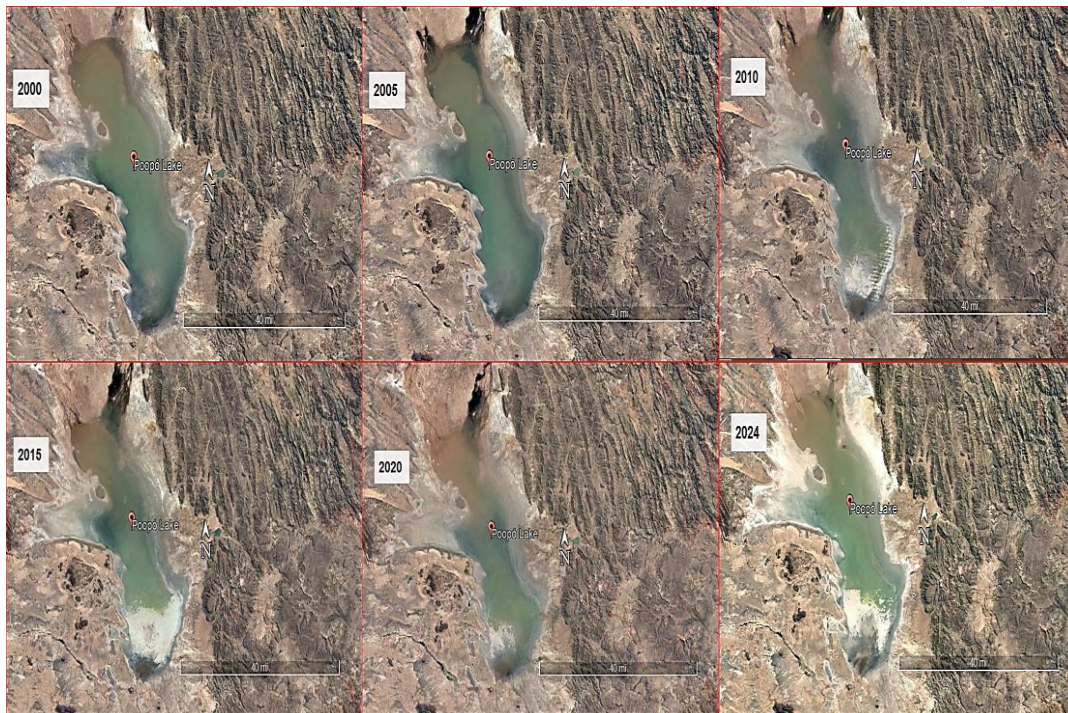
² Desaguadero River

³ Lago Titicaca

⁴ Altiplano



شکل ۳. حوزه آبخیز دریاچه پوپو و آبراهه‌های موجود در آن



شکل ۴. روند تغییرات سطح آب دریاچه پوپو در فاصله سال‌های ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۲۴

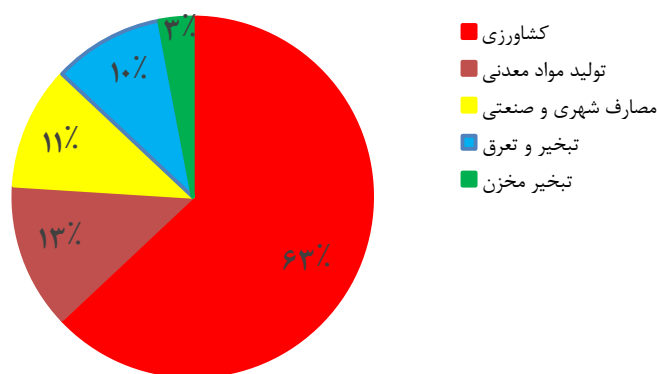
فرعی در شرق و جنوب حوضه آبریز وارد دریاچه می‌شود. دریاچه بزرگ نمک دریاچه انتهایی داخلی است که هیچ خروجی ندارد و آب خود را از طریق تبخیر از دست می‌دهد (شکل ۶). از اواسط قرن نوزدهم مقدار آب جاری ۳۹٪ کاهش یافته است که دلیل آن انحرافات بالادست باعث کاهش حجم دریاچه تا ۴۸٪ و مساحت ۵۰٪ شده

حدود ۶۶٪ از آب این دریاچه از جریان‌های سطحی رودخانه‌ها تأمین می‌شود که عمدتاً ناشی از ذوب برف در رشته‌کوه‌های Wasatch و Uinta هستند. از میان این رودخانه‌ها، رودخانه خرس با ۵۸٪ بیشترین سهم را دارد و پس از آن رودخانه اردن با ۲۲٪ و رودخانه وبر با ۱۵٪ قرار دارند. همچنین ۵٪ باقی‌مانده از آب سطحی از ده شاخه‌ی

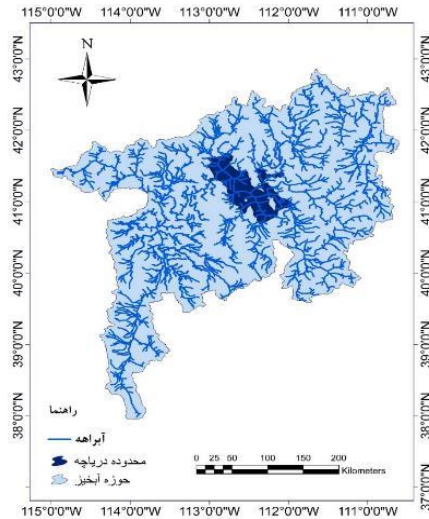
تفریحی و زیستگاه پرندگان، ارزشمند هستند. این دریاچه توقفگاهی حیاتی برای میلیون‌ها پرنده مهاجر و آبی است که در طول سفر تغذیه، استراحت و لانه درست می‌کنند. همچنین منافع اقتصادی و فرهنگی دریاچه نمک بر روی مدیریت و حفاظت آن تاثیرگذار بوده به‌طوری‌که ارزش اقتصادی ۱/۷ میلیارد دلاری دریاچه نمک بزرگ عمدتاً از استخراج مواد معدنی ۰.۸۷٪، تفریح ۰.۹٪ و برداشت آرتیمیا (*Artemia salina*) ۰.۴٪ است (۸۸). خشک‌شدن دریاچه تأثیر مخربی بر فعالیتهای تفریحی، حیات وحش و صنایع محلی دارد. همچنین، توفان‌های گرد و غبار به افزایش آلودگی و کاهش کیفیت هوای ناسالم در اطراف دریاچه منجر شده است. در پایان، گرد و غبار تولید شده ناشی از خشک شدن دریاچه به سلامت انسان آسیب می‌زند و موجب شیوع بیماری‌های تنفسی و قلبی عروقی می‌شود (۶۲). توفان‌های گرد و غبار ناشی از خشک شدن دریاچه نمک بزرگ (یوتا) جمعیت مردمی به میزان دو میلیون نفر را زیر تأثیر قرار داده است (۸۷). با کاهش سطح دریاچه وسعت منطقه‌ای دریاچه کاهش و شوری آن افزایش می‌یابد؛ در نتیجه منابع غذایی اولیه برای پرندگان مهاجر مانند مگس شور (*Lucilia Sericata*) کاهش می‌یابد (۱۱). عمق دریاچه در فصل بهار به دلیل آب شدن برف‌های کوهستانی بیشتر است و در سال‌های مرطوب که برف زیادی ببارد سطح دریاچه بالا می‌رود. در حالیکه در سال‌های خشک سطح آن کاهش می‌یابد. روند تغییرات سطح آب دریاچه نمک بزرگ از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ در شکل (۷) نشان داده شده است.

است. همچنین هر ساله ۳/۳ تریلیون لیتر آب از رودخانه‌های تغذیه کننده منحرف می‌شود و موجب کاهش جریان‌های سطحی ورودی به دریاچه می‌شود. این کاهش شدید آب بیشتر ناشی از انحراف جریان‌های بالادستی آب برای کشاورزی (به مقدار ۶۳٪ شکل ۵) و محوطه‌سازی شهری و فعالیتهای صنعتی و دیگر استفاده‌ها است. رفته‌رفته با گرمایش جهانی برداشت‌ها تشدید می‌شود و چنین برداشتهایی موجب کاهش بیش از ۶۰٪ حجم دریاچه شده است. نرخ زیاد رشد جمعیت موجب افزایش تقاضا برای آب و مصارف کشاورزی شده است که این امر موجب کاهش ۶۷٪ دریاچه شده است. از این میزان ۷۵٪ تلفات ناشی از توسعه منابع آبی و ۲۵٪ به افزایش خشکسالی مربوط می‌شود (جدول ۱). در نوامبر ۲۰۱۶ دریاچه نمک بزرگ به پایین‌ترین سطح خود در تاریخ ثبت شده رسید. انحراف آب ورودی دریاچه نمک بزرگ توسط کشاورزی، صنعت و شهرنشینی در حال افزایش است؛ زیرا ادامه رشد اقتصادی به آب بستگی دارد و از طرفی استخراج مواد معدنی در آب دریاچه نمک بزرگ باعث کاهش بیشتر آب می‌شود. به دلیل افزایش مصرف آب، نوسانات قابل‌توجه سطح آب که ناشی از فعالیتهای انسانی و انحراف مسیر رودخانه‌ها در نتیجه‌ی محوطه‌سازی شهری است، موجب کاهش سطح آب دریاچه شده است و بیشتر آب منحرف شده از طریق تبخیر از زمین‌های کشاورزی، محوطه‌سازی شهری و فعالیتهای صنعتی از بین رفته است (۲۸، ۸۳، ۸۷). تالاب‌ها حاشیه‌ای دریاچه بزرگ نمک، به دلیل استفاده

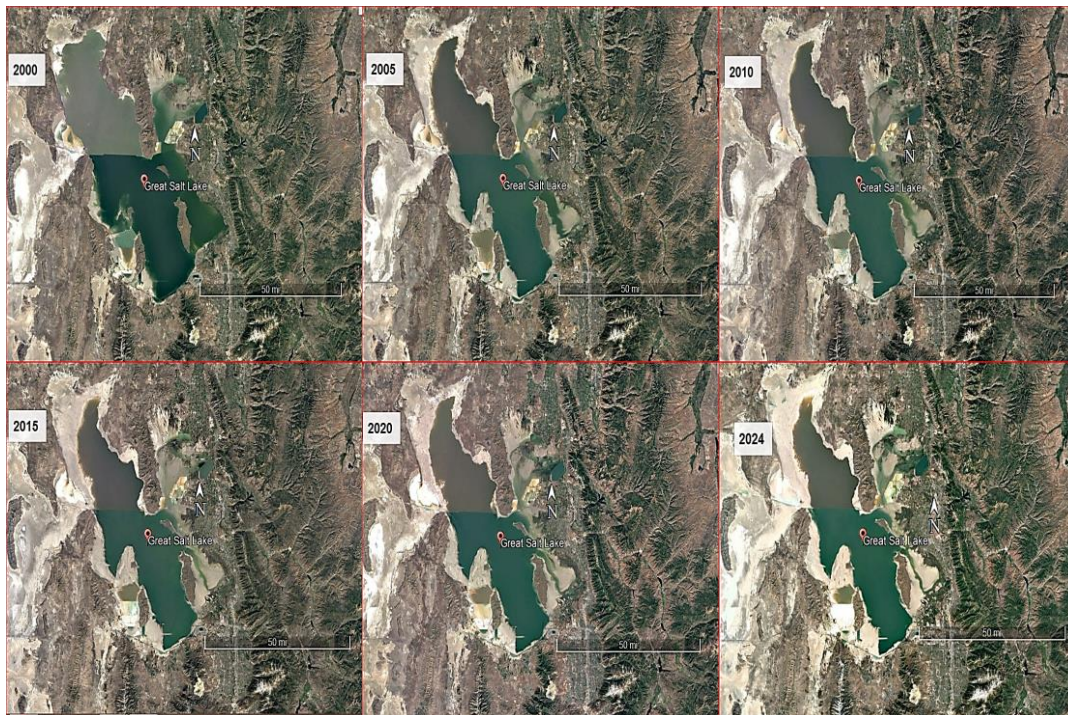
وضعیت مصرفی منابع آب



شکل ۵. وضعیت مصرفی منابع آب یوتا در آمریکا



شکل ۶. حوزه آبخیز دریاچه نمک بزرگ و آبراهه‌های موجود در آن



شکل ۷. روند تغییرات سطح آب دریاچه نمک بزرگ در فاصله سال‌های ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۲۴

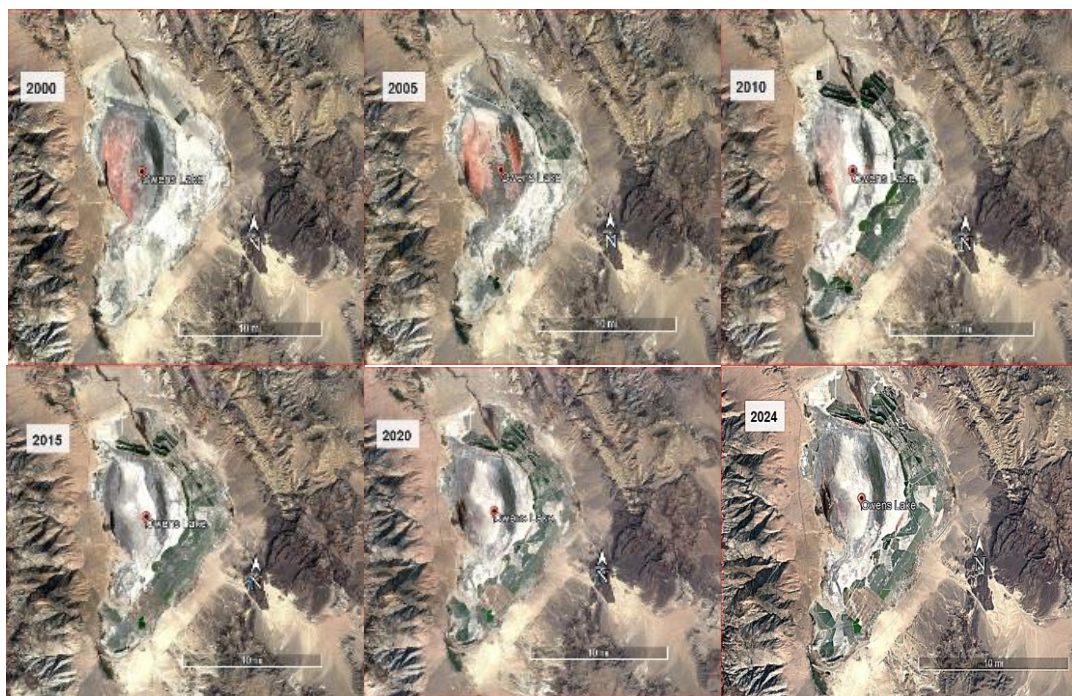
کند و موجب کاهش آب این دریاچه شد (۳۵، ۳۸). در سال ۱۹۱۳ انحراف رودخانه به تونل انتقال آب لس‌آنجلس موجب به فرسایش بادی گسترده شد و پلایا را به یکی از شدیدترین منابع گرد و غبار موجود در هوا تبدیل کرده است (۶۹). این دریاچه بین سال‌های ۱۹۲۱ و ۱۹۲۶ اساساً خشک و یک پلایای بزرگ برجای گذاشت (۵۰). این دریاچه قبل از انحراف جریان آب، ۱۴م عمق داشت. دریاچه اوونز برای اولین بار در سال ۱۹۲۱ به دلیل این

۴- یکی از دریاچه‌های شور جهان دریاچه اوونز در جنوب غربی آمریکا است که خشک شده است (۱۸). همچنین حوضه دریاچه اوونز به دلیل نرخ رسوب زیاد رودخانه اوونز و مخروط افکنه‌های اطراف نسبتاً کم عمق است (۱۲). پس از ۱۹۱۳ انحراف آب (جدول ۱) در دره اوونز با ساخت سامانه تونل انتقال آب لس‌آنجلس آغاز شد و آب‌های سطحی حوضه رودخانه اوونز و دریاچه مونو برای استفاده‌های انسانی بیش از ۳۲۰ km به سمت جنوب منتقل

تهدید می‌کند (۴۸). متعاقباً، دریاچه اوونز به یک پلایای بیابانی تبدیل شده است که در آن نمک‌ها از طریق تبخیر آب زیرزمینی بالا می‌آیند و منبع پیوسته ذرات اتمسفر را در طول دوره‌های بادی فراهم می‌کنند (۵۰). تبخیر آب زیرزمینی در دریاچه اوونز سالانه ۲۴۵۰۰۰ ton نمک را به سطح بستر دریاچه منتقل می‌کند (۵۳). روند تغییرات سطح آب دریاچه اوونز در فاصله زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ در شکل (۸) نشان داده شده است.

۵- **دریای مرده:** شورترین دریاچه جهان است (۶۰) که مساحت آن 40000 km^2 است. این حوضه شرایط آب و هوایی را در بر می‌گیرد که از خشکی فوق العاده در قسمت‌های جنوبی تا مدیترانه‌ای نیمه مرطوب در شمال حوضه آبخیز را شامل می‌شود (۶۴). امروزه این حوضه آب شیرین، منابع آبی مورد نیاز جمعیتی حدود ۱۶ میلیون نفر را در کشور اردن و سرزمین‌های اشغالی فلسطین تأمین می‌کند (۷۹). این دریاچه از قسمت شمالی عمیق و جنوبی کم عمق تشکیل شده است (۷۲). بارندگی در سطح این دریاچه حدود ۵۰ تا ۱۰۰ mm است (۸۰). از دهه ۱۹۵۰ تاثیر انسان‌زایی موجب کاهش آب بی‌سابقه‌ای در دریای مرده شده است (۱، ۲۲، ۴۷).

انحرافات شروع به رسوب نمک در کف دریاچه کرد و تا سال ۱۹۳۱ این دریاچه خشک و به پلایا تبدیل شد (۷۴). رسوبات فراوانی از نمک‌های غنی از سولفات و کربنات که بیش از 130 km^2 از بستر دریاچه را پوشانده‌اند وجود دارد (۴۸). تغییرات دبی رودخانه اوونز و میزان تبخیر دریاچه اهمیت زیادی در تعادل آب این دریاچه دارند. گرد و غبار ناشی از خشک شدن دریاچه اوونز حاوی چندین عنصر بالقوه سمی از جمله آرسنیک (As)، کادمیم (Cd)، کبالت (Co)، کروم (Cr)، سرب (Pb)، مولیبدن (Mo) و روی (Zn) با اثرات مضر بر سلامتی و محیط زیست است (۶۹). دریاچه اوونز در جنوب کالیفرنیا منبع بزرگ‌ترین مقادیر اندازه‌گیری شده آلودگی هوای ذرات در شمال آمریکا است (۱۸). شدت برخاست گرد و غبار از سطح دریاچه اوونز در طول توفان‌های بادی به $1/5 \text{ ton/km}^2$ می‌رسد و گرد و غبار ناشی از خشک شدن دریاچه موجب مشکلات تنفسی مکرر، سوزش چشم و حتی مشکلات روانی در میان ساکنان دره اوونز می‌شود (۱۸، ۴۸). غلظت ذرات معلق در منطقه اغلب از سطح هشدار ملی 375 mg/m^3 در متر مکعب فراتر می‌رود که به دلیل استنشاق گرد و غبار که حاوی غلظت‌های بالقوه خطرناک SO_4 و As سلامتی حدود ۴۰۰۰۰ نفر را



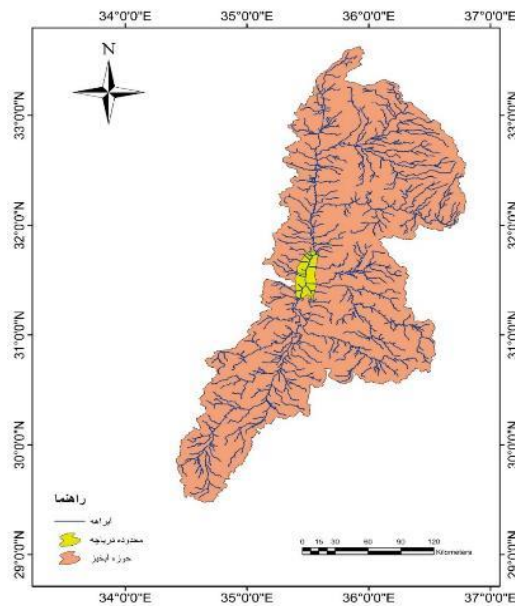
شکل ۸. روند تغییرات سطح آب دریاچه اوونز در فاصله سال‌های ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۲۴

۶- **دریاچه واکر:** دریاچه بزرگی در غرب ایالات متحده آمریکا در توپوگرافی بسته قرار دارد که ارتفاع آن ۱۲۳۴m است و دارای مساحت تقریبی 140 km^2 با عمق متوسط ۱۹/۳ و بیش از ۳۰/۵m است (۷۸). این دریاچه به شکل بیضی شکل با محور طولانی شمال به جنوب است. دریاچه واکر از غرب به رشته کوه Wassuk و از شرق به رشته کوه Gillis محدود است. بیشترین بارندگی در حوضه به صورت برف در رشته کوه سیرا نوادا اتفاق می‌افتد (۵۲). امروزه دریاچه واکر شور، قلیایی و مسطح است (۱۷، ۲۳، ۴۹). از اواخر دهه ۱۸۰۰ انحراف آب از رودخانه واکر برای مصارف کشاورزی افزایش یافته است و منجر به کاهش جریان کمتر آب ورودی به دریاچه واکر نسبت به تبخیر در بیشتر سال‌ها گردیده است (۹). خشک شدن در دریاچه واکر، بین سال‌های ۱۸۸۲ و ۱۹۹۶ بوده است و حجم دریاچه را تقریباً ۷۵٪ کاهش داده و در سال‌های ۱۹۷۹ و ۲۰۰۵ کاهش ۹۹/۹٪ دبی در رودخانه وجود داشته است. روند تغییرات سطح آب دریاچه واکر در فاصله سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ در شکل (۱۱) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که سطح این دریاچه به طور قابل توجهی در پاسخ به تغییرات آب و هوایی و نیازهای عمده کشاورزی از اوایل دهه ۱۹۰۰ کاهش داشته است (۱۴). نرخ تبخیر از سطح دریاچه به طور تقریبی 1200 mm در سال برآورد شده است (۱۰، ۴۰). افزایش شوری در دو دهه گذشته در دریاچه واکر موجب انقراض دو گونه زئوپلانکتون و فیتوپلانکتون شده است. از طرفی از سال ۱۸۸۲ بخش عمده این دریاچه برای آبیاری کشاورزی منحرف شده که موجب کاهش سطح آب دریاچه به میزان $42/72 \text{ m}$ شده است. همچنین ذرات غیر قابل حل از $2/5 \text{ g/lit}$ به 16 g/lit در این دریاچه افزایش پیدا کرده که در پایان این عوامل زیست‌بوم آب شیرین و بقای ماهی قزل‌آلا را تهدید می‌کند (۵۲). همچنین از دلیل خشک شدن دریاچه واکر به علت استفاده بیش از حد آب دریاچه برای آبیاری در دره میسون بوده است (۷۰). از سوی دیگر کاهش ۷ تا ۲۶ سانتی‌متری در ارتفاع سطح دریاچه بین سال‌های ۱۸۶۸ تا ۱۸۸۲ می‌تواند تا حدی به دلیل انحرافات آب باشد. از طرفی حدود 88600 ha از زمین‌های آبی در حوضه رودخانه واکر وجود داشته که محصولاتی همچون یونجه، پیاز، سیر، ذرت و گندم کاشت

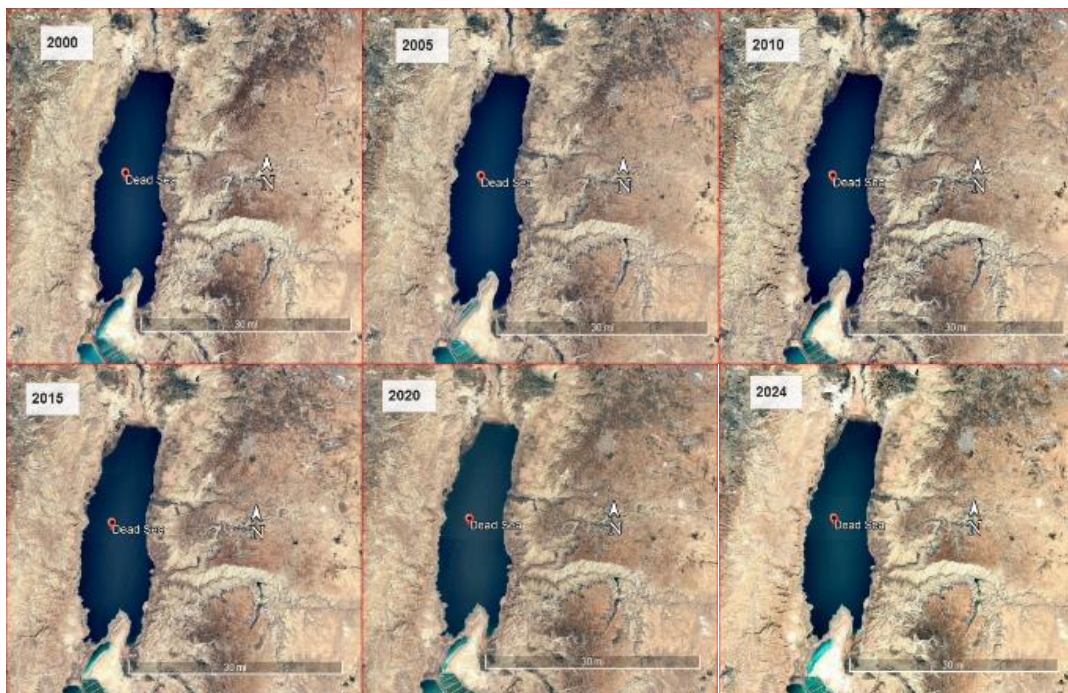
در طول قرن بیستم، درواقع از دهه ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۵ سطح این دریاچه 41 m کاهش یافته است. تا پایان دهه ۱۹۵۰، مساحت این دریاچه 1000 km^2 بوده است که حدود 757 km^2 آن در قسمت شمالی و 240 km^2 در قسمت جنوبی قرار داشت. همچنین از آغاز سال ۱۹۸۰ کاهش قابل توجهی در سطح و حجم آن ایجاد شد و در پایان حوضه جنوبی به حوضه‌های تبخیر تبدیل شده است (۶، ۲۲). در شکل (۹) حوزه آبخیز دریای مرده و آبراهه‌های موجود در آن مشخص شده است. عدم تعادل قابل توجه در سال‌های اخیر بین ورودی آب شیرین از یک سو و تبخیر طبیعی و خروج آب نمک برای فعالیت‌های صنعتی از سوی دیگر موجب افت سطح بزرگ و کاهش سطحی شده است که موجب تغییرات قابل توجهی در ترکیب شیمیایی دریاچه شده است (۵۶، ۷۹). از عوامل متعددی که موجب کاهش آب این دریاچه شده است نرخ زیاد تبخیر (2600 mm در سال) (۶۵) و تغییرات فصلی است. از طرفی همچنین تخمین زده می‌شود که استفاده گسترده از آب نمک برای تولید پتاس در فلسطین اشغالی و اردن با مصرف خالص آب در حدود $250/000/000 \text{ m}^3$ در سال مسئول ۴۰٪ کاهش سطح دریاچه است. همچنین پروژه‌های بزرگ آبیاری موجب کاهش ۹۰٪ آب شیرین رودخانه اردن در مقایسه با وضعیت طبیعی قبل از سال ۱۹۵۵ شده است (۸۰). نتایج پژوهش تأثیر انسان بر روی این دریاچه نشان داد که سطح دریاچه به میزان 444 km^2 و کاهش حجم به میزان 25 km^3 شده است (۵، ۸۲). یکی از عوامل اساسی که موجب کاهش آب دریای مرده شده است استفاده بیش از حد انسان از آب این دریاچه برای مصارف صنعتی است. همچنین مصرف آب از رودخانه‌های اردن و یرموک برای مصارف دیگر از دلیل کاهش آب این دریاچه می‌باشد (۲۹). با کاهش چشمگیر سطح آب دریاچه تغییرات قابل توجهی در خدمات گردشگری ایجاد شده است. تغییرات بارندگی و تبخیر در این دریاچه باعث چالش‌های عمده بیابان‌زدایی و تخریب زمین می‌شود (۸۰). روند تغییرات سطح آب دریای مرده در فاصله سال‌های ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۲۴ در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

رگبارهای کوتاه مدت، با شدت زیاد و موضعی هستند که حدود ۲۵٪ از بارندگی سالانه در حوضه رودخانه واکر را تشکیل می‌دهند (۵۱). بررسی توزیع مکانی بارش نشان می‌دهد که میانگین بارندگی سالانه برای دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰ از حدود ۱۰۱/۶mm در دریاچه واکر تا ۱۴۲۲/۴mm در امتداد تاج سیرا نوادا متغیر است (۵۲). میانگین بارندگی سالانه در کوه گرانت، بلندترین کوه مجاور دریاچه واکر، حدود ۴۰۶/۴mm در سال است.

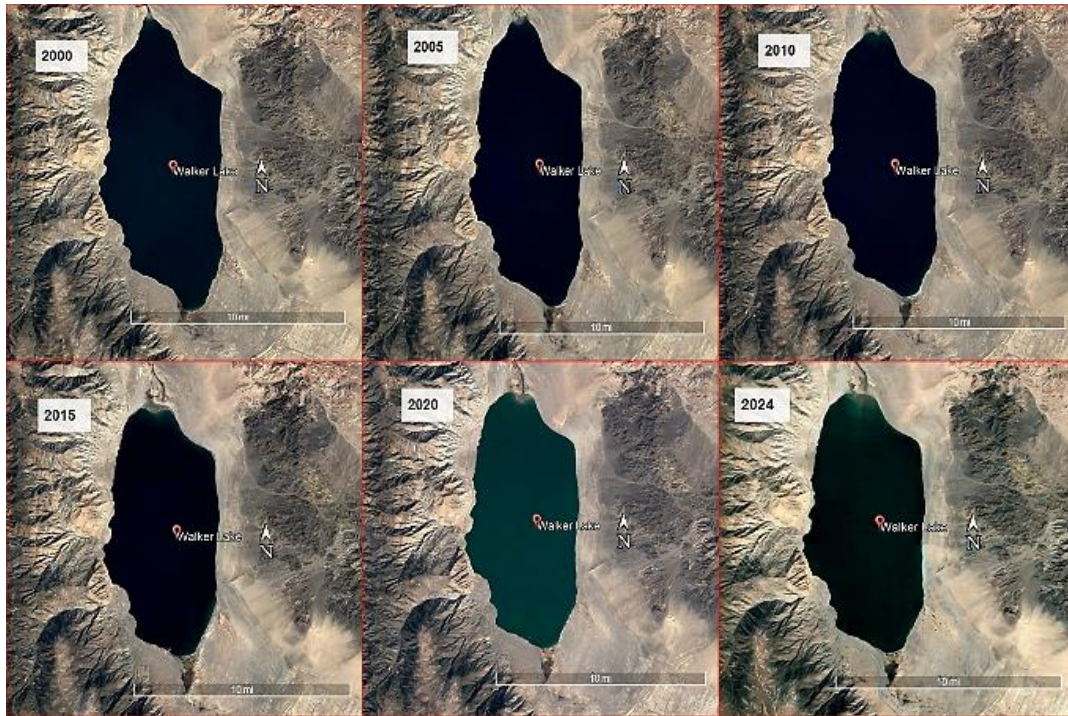
شده و آبیاری می‌شوند (۴۹). غلظت TDS در دریاچه واکر در ۳۹۰۰mg/lit در سال ۱۹۳۰ و نزدیک به ۱۶۰۰۰mg/lit در سپتامبر ۲۰۰۷ برآورد گردید. غلظت TDS در دریاچه واکر به حدی افزایش یافته است که تنها ۳ گونه از ۱۷ گونه ماهی بومی و غیربومی هنوز در دریاچه وجود دارد (۵۱). جبهه‌های سرد معمولاً توفان‌های طولانی مدت، کم شدت و گسترده هستند که حدود ۷۵٪ از بارندگی سالانه در حوضه رودخانه واکر را تشکیل می‌دهند. باران‌های مونسون معمولاً



شکل ۹. حوزه آبخیز دریاچه بحر المیت و آبراهه‌های موجود در آن



شکل ۱۰. روند تغییرات سطح آب دریای مرده در فاصله سال‌های ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۲۴



شکل ۱۱. روند تغییرات سطح آب دریاچه واکر در فاصله سال‌های ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۲۴

نیز روند خشک شدن دریای آرال تسریع کرده است. از سال ۱۹۶۰ در حوضه‌های رودخانه‌های ورودی به دریای آرال، سدها و مخازن زیادی احداث شده است که عموماً برای مصارف کشاورزی و به ندرت برای تولید برق و همچنین محافظت در برابر سیل، به تلفات آب در این منطقه کمک کرده است. وقتی دریاچه‌های شور به شدت خشک می‌شوند، تبدیل به منابع گسیل گرد و غبار می‌شوند و بر سلامت انسان و کشاورزی تأثیر نامطلوب دارند (۸۸). خشک شدن شدید دریای آرال باعث گسترش فرآیندهای بیابان‌زایی در این منطقه شده و باعث تشکیل بیابان جدیدی به نام آرال‌قوم شده است و به کانون بحرانی توفان‌های گرد و غبار و نمک در این منطقه تبدیل شده است که در این میان مناطق خشک جنوب قزاقستان، ازبکستان و ترکمنستان همواره تحت تأثیر توفان‌های گرد و غبار خطرناک بوده است (۴۱). خشک شدن دریای آرال منجر به پیامدهای اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی گسترده‌ای از جمله شور شدن خاک، افزایش خشکسالی به دلیل کمبود بارش‌ها و بیابان‌زایی، ایجاد مناطق برداشت گرد و غبار نمکی و از بین رفتن ماهی‌های بومی و کاهش جمعیت پرندگان آبی شده است. به دلیل کوچک شدن دریا، آب و هوا در نواری به عرض ۱۰۰ km در امتداد خط

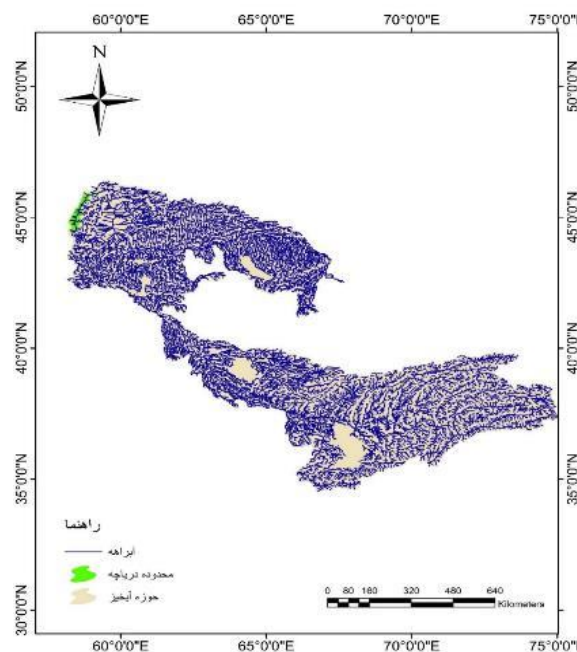
۷- دریاچه شور آرال: این دریاچه در حوضه بسته داخلی و چهارمین دریاچه بزرگ که در مرز بین قزاقستان و ازبکستان و در میان بیابان‌های آسیای مرکزی قرار دارد (شکل ۱۲). مساحت این دریاچه در سال ۱۹۶۰ برابر با 68478 km^2 بوده است و تا سال ۲۰۲۰، حدود ۸۷٪ مساحت خود را از دست داده است. آب و هوای دریای آرال نیمه‌خشک تا خشک با زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم است (۶۳). مقدار بارندگی سالانه در منطقه به 140 mm در سال می‌رسد که عمدتاً در بهار اتفاق می‌افتد (۲۷). این دریاچه در فرورفتگی آرال بین دو صحرای آسیای مرکزی، قراقوم و قیزیل‌قوم واقع شده و از دو رودخانه بزرگ، آمودریا و سیردریا تغذیه می‌شد. این دریاچه به عنوان منبع مهمی برای ماهیگیری، حمل و نقل منطقه‌ای، دامپروری، شکار، تنوع گیاهی و جانوری و همچنین حفظ کشاورزی آبی عمل می‌کرد. بین سال‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۸۹، حجم آب دریای آرال بیش از نیمی کاهش یافت (۵۷، ۸۴). توسعه آب برای کشاورزی در حوزه آبخیز دریای آرال ۷۴٪ و حجم دریاچه را تا ۹۰٪ کاهش داده است (۸۸) که عمدتاً نتیجه گسترش ناپایدار آبیاری، تغییرات آب و هوایی و تغییر رژیم‌های بارش از طریق رواناب‌های آمودریا و سیردریا بوده که تبخیر شدید

بسیار فراتر از طبقه‌بندی شیوع بیماری همه‌گیر است. همچنین، میزان مرگ و میر نوزدان در این منطقه از بالاترین میزان جهانی است که بیش از ۱۰۰ مرگ در ۱۰۰۰ تولد زنده را شامل می‌شود (۸۶). روند تغییرات سطح آب دریای آرال در فاصله سال‌های ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۲۴ در شکل (۱۳) نشان داده شده است.

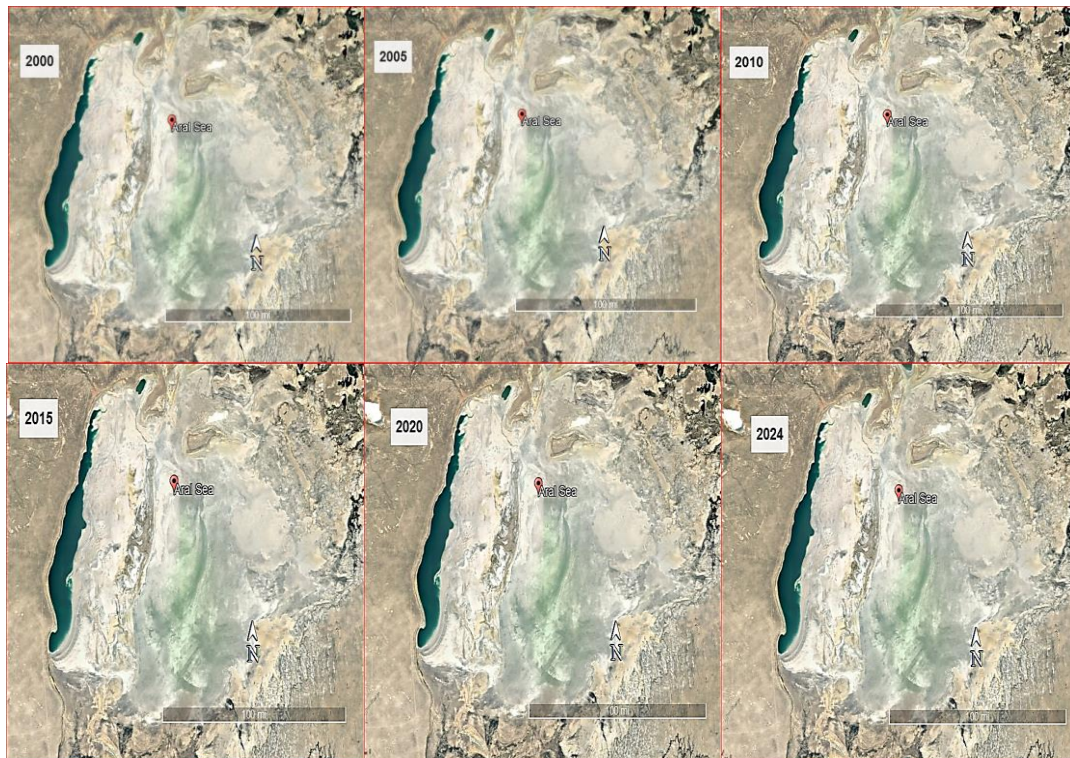
بر اساس پژوهش انجام شده (۳۲)، برداشت گسترده‌ی آب نشان می‌دهد که تغییرات ناشی از فعالیت‌های انسانی می‌توانند به‌طور مستقیم بر دینامیک گوشته و فرایندهای زمین‌ساختی اثر بگذارند.

۸- **دریاچه سالتون:** یکی از دریاچه‌های شور بزرگ جهان است که در جنوب غربی ایالات متحده آمریکا، جنوب شرقی کالیفرنیا و در ناحیه کلرادو واقع شده است. این دریاچه (شکل ۱۴) دارای مساحت ۹۸۴km^۲ و عمق متوسط ۸m و نسبتاً فوق شور است. حدود ۱۳۰۰۰۰ نفر در ۲۴km این دریاچه زندگی می‌کنند که طبق سرشماری‌های صورت گرفته ایالات متحده در سال ۲۰۱۰ یک سوم آنها کودکان هستند (۴۵). دریاچه سالتون به‌طور دوره‌ای با آب پر شده و آخرین بار این اتفاق در سال ۱۹۰۵ از طریق انحراف تصادفی رودخانه کلرادو رخ داده است. دریاچه سالتون به آرامی در حال کوچک شدن است (۱۶).

ساحلی ازبکستان و قزاقستان تغییر کرده است و تابستان‌ها گرم و زمستان‌های سرد را ایجاد کرده است. همچنین این مسائل باعث تخریب و کاهش بهره‌وری پوشش گیاهی و مراتع نیز شده است. از سوی دیگر در گذشته دریای آرال نقش مهمی در تنظیم آب و هوا و کاهش بادهای سبیری و گرمای تابستان داشته است. اما با توجه به خشک شدن آن، کاهش فصل رشد، تخریب پوشش گیاهی و مراتع رخ داده است. افزایش تقاضا برای آبیاری به منظور حمایت از اقتصاد پنبه، منجر به انحراف آب رودخانه به سوی زمین‌های کشاورزی شده و تا دهه ۱۹۸۰، هیچ آبی در طول سال‌های متوسط یا خشک به رود آرال نمی‌رسید. انحراف آب از دریای آرال منجر به افزایش شوری در سطح آب و ایجاد محیطی غیرقابل زندگی برای ماهی‌ها شد. این وضعیت منجر به فروپاشی صنعت ماهی‌گیری تجاری شد که در گذشته حدود ۴۰۰۰ تن ماهی را در سال برداشت می‌کرد و برای جامعه محلی حدود ۶۰۰۰ شغل ایجاد می‌کرد (۸۸). همچنین ساکنان منطقه نرخ بالاتری از سرطان، بیماری‌های کبدی و کلیوی و عوارض بارداری را نسبت به قبل تجربه کردند که ناشی از مواد شیمیایی سمی در آب آشامیدنی بوده است (۸۴، ۸۵). منطقه دریای آرال از میان تمامی مناطقی که اتحاد جماهیر شوروی سابق را تشکیل می‌دهند، بالاترین نرخ بیماری سل را داراست که



شکل ۱۲. حوزه آبخیز دریاچه شور آرال و آبراهه‌های موجود در آن



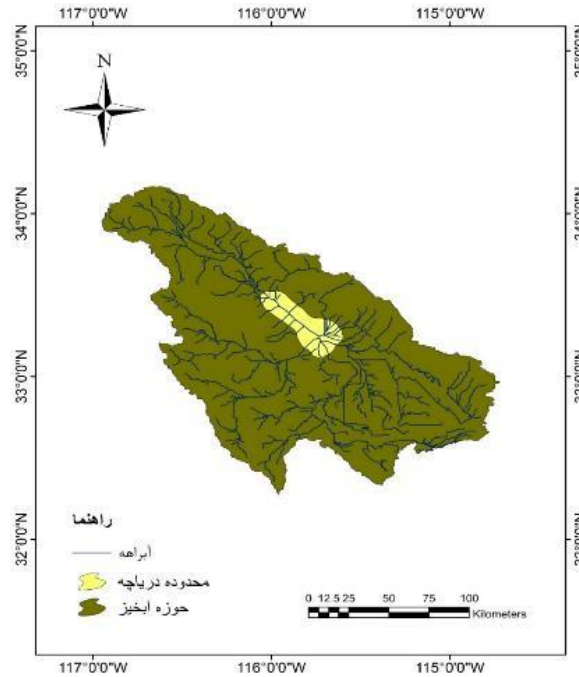
شکل ۱۳. روند تغییرات سطح آب دریای آرال در فاصله سال‌های ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۲۴

تبخیر بیشتر و کاهش بارش و جریان رودخانه‌ای رخ داده است. آلودگی دریاچه سالتون به واسطه کودها و ترکیبات آفت‌کش‌های کشاورزی توانسته علائم آسم را تشدید کند (۱۵) و ممکن است کودکان را در معرض خطر کاهش سلامت ریه قرار دهد. در شرایط آب و هوای خشک، کاهش بارش و گرمایش زمین (ناشی از کاهش سطح آب دریاچه) می‌تواند منجر به افزایش ذرات معلق در هوا شود که این موضوع به‌طور منفی بر سلامت ریه افراد تأثیر دارد (۲۰، ۲۶). داده‌های موجود از حوضه زهکشی دریاچه سالتون نشان می‌دهد که آب رودخانه کلرادو دارای کمترین غلظت عنصر سلیوم در بین تمام منابع آب سطحی است. تمام آب‌های سطحی دیگر که به دریاچه سالتون می‌ریزند، به‌دلیل تبخیر و تعرق که در مزارع کشاورزی و زیرساخت‌های انتقال آب مرتبط یا شسته شدن سلیوم از خاک‌های مزرعه آبی رخ می‌دهد، غلظت آن را افزایش می‌دهد. دریاچه سالتون به دلیل فرآیندهای بیوژئوشیمیایی مختلف که سلیوم را در داخل رسوب بازیافت می‌کند یا آن را به اتمسفر برمی‌گرداند غلظت سلیوم کمتری دارد. این دریاچه برای بیش از ۴۵۰ گونه از پرندگان آبی اقیانوس آرام (۴۶، ۷۵) مکان مهم

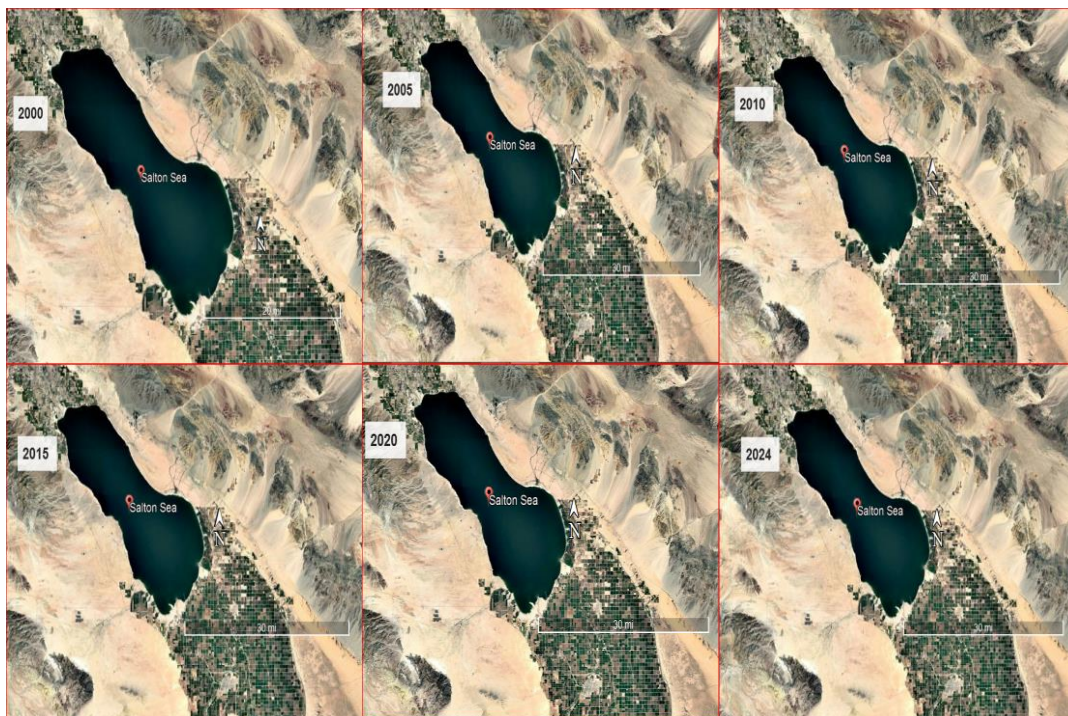
کاهش سریع و بیش از ۷m از سطح آب دریاچه از سال ۲۰۰۰، ناشی از تصمیمات مدیریتی است که منجر به کاهش جریان آب ورودی به دریاچه شده است (۸۸). این فرآیند از اواخر دهه ۱۹۹۰ و اوایل دهه ۲۰۰۰ با کاهش آب برای کشاورزی آغاز شده است. این موضوع منجر به تبخیر سریع آب و مشاهده مرزهای ساحلی جدید و تشدید آلودگی هوا شده است. انتشار گرد و غبار از دریاچه سالتون ممکن است موجب افزایش غلظت ذرات معلق هواویز (PM) شود که به بیماری‌های مختلف از جمله بیماری‌های قلبی-عروقی، تنفسی و مرگ و میر منجر شده است. همچنین، وجود فلزات و آفت‌کش‌ها در رسوبات این دریاچه ممکن است سمیت ذرات معلق هوا را افزایش دهد. شدیدترین خشکسالی‌های کالیفرنیا در طول سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۷ رخ داده است که منجر به اعلام وضعیت اضطراری توسط دولت برای چهار سال از این دوره شده است و این شرایط توانست به تشدید مشکلات مربوط به کمبود آب و آلودگی هوا در منطقه کمک کند (۱۶، ۳۷). کمبود بارش در دره امپراتور موجب کاهش سطح آب در دریاچه سالتون به رکورد پایینی در تاریخ این دریاچه از اوایل دهه ۱۹۰۰ شده است. این کاهش سطح آب به دلیل

آلاینده‌ها از جمله عنصر سلیوم باشد ایجاد مشکلات سلامتی در منطقه نمایندند (۳۱، ۷۱، ۳۰، ۲۱). روند تغییرات سطح آب دریاچه سالتون در فاصله سال‌های ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۲۴ در شکل (۱۶) نشان داده شده است.

زمستانی و مهاجرتی تبدیل شده‌است و زیستگاه گونه‌های در معرض خطر انقراض فهرست شده فدرال و ایالتی است. گرد و غبار حاصل از خشک شدن این دریاچه می‌تواند برای انسان خطرناک باشد. زیرا اندازه دانه‌های کوچک می‌تواند در ریه‌ها بچسبند و چون حاوی غلظت بالایی از



شکل ۱۴. حوزه آبخیز دریاچه سالتون و آبراهه‌های موجود در آن



شکل ۱۵. روند تغییرات سطح آب دریاچه سالتون در فاصله سال‌های ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۲۴

جدول ۱. بررسی ویژگی‌های هندسی دریاچه‌ها و عوامل خشک شدن آن‌ها

اسم دریاچه	کشور	مساحت (km ²)	عمق (m)	عامل اصلی خشک شدن
ارومیه	ایران	۶۰۰۰	۱۰	سدسازی، توسعه کشاورزی، سوء مدیریت، حفر چاه‌های مجاز و غیر مجاز، مدیریت نادرست، توسعه بی‌رویه از منابع آب، تغییرات اقلیمی و آب و هوایی، تشدید خشکسالی، تبخیر، افزایش دما، کاهش بارش، احداث جاده میانگذر شهید کلانتری، انحراف آب، پمپاژ بیش از حد آب، رقابت بر سر آب، توسعه صنعت
پوپو	بولیوی	۳۰۰۰-۵۰۰	کمتر از ۲	گرم شدن کره زمین، تغییرات اقلیمی و آب و هوایی، افزایش مصرف آب، کمبود بارندگی، تبخیر و تعرق، برداشت آب در مقیاس بزرگ برای معدن، کشاورزی و مصارف شهری، جمعیت انسانی،
نمک بزرگ	ایالات متحده آمریکا	۴۴۰۰	۴۲	افزایش مصرف زیاد آب، تبخیر، انحراف آب، گرمایش جهانی، استخراج مواد معدنی، محوطه‌سازی شهری، مصارف صنعتی
اوونز	ایالات متحده آمریکا		۱۴/۹	انحراف آب رودخانه و شور شدن، تبخیر، تغییرات در دبی
مرده	فلسطین اشغالی	۴۰۰۰۰	۲۹۸	تبخیر، اثرات انسانی، بارش، توپوگرافی و پوشش خاک، شرایط آب و هوایی
واکر	ایالات متحده آمریکا	۱۴۰	۳۵	تغییرات آب و هوایی و بهره‌برداری عمده کشاورزی، تبخیر و تعرق
آرال	مرز بین قزاقستان و ازبکستان و آسیای مرکزی	۶۸۰۰۰	۶۹	سوء مدیریت انسانی، استفاده ناپایدار از منابع آب، انحراف آب رودخانه به سمت زمین‌های کشاورزی، احداث سدها و مخازن، تغییرات آب و هوایی، تغییرات الگوی بارش،
سالتون	کالیفرنیا	۹۸۴	۸	کشاورزی، تبخیر، انحراف آب، کاهش بارش و جریان‌های رودخانه‌ای، گرمایش زمین

نتیجه‌گیری

بین ۵۰ تا ۷۰٪ در کاهش حجم آب دریاچه‌ها مؤثر باشند. در عین حال، تغییرات اقلیمی و عوامل طبیعی نیز به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در این روند نقش دارند و می‌توانند بین ۳۰ تا ۵۰٪ بر کاهش سطح آب دریاچه‌ها تأثیر بگذارند. در پایان، هم‌افزایی عوامل طبیعی و انسانی چالش‌های جدی را برای زیست‌بوم‌های آبی و منابع آب در سطح جهانی به وجود می‌آورد و نیاز به مدیریت پایدار و تدابیر مؤثر را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد.

سپاسگزاری

تصاویر مورد نیاز و محدوده‌های حوزه‌های آبخیز دریاچه‌های شور در این مقاله از سامانه‌های Google Earth و Global Watersheds گرفته شده است.

با توجه به بررسی‌های انجام شده و مرور منابع، نتایج این مقاله نشان می‌دهد که خشک شدن دریاچه‌های شور در دنیا عمدتاً تحت تأثیر دو دسته عوامل طبیعی و انسانی قرار دارد. عوامل طبیعی شامل تغییرات اقلیمی، تبخیر و تعرق، کاهش بارش، گرم شدن کره زمین و افزایش خشکسالی هستند که به‌طور مستقیم بر سطح آب دریاچه‌ها تأثیر می‌گذارند. در کنار این، عوامل انسانی نظیر سدسازی، افزایش مصرف آب، توسعه کشاورزی و مصارف صنعتی نیز نقش بسزایی در کاهش حجم آب دریاچه‌ها ایفا می‌کنند. به‌طور کلی، عوامل انسانی به‌ویژه در زمینه کشاورزی و مصرف آب، تأثیر قابل توجهی بر خشک شدن دریاچه‌ها دارند و می‌توان گفت که این عوامل می‌توانند

References

1. Abou Karaki, N., Fiaschi, S., & Closson, D. (2016). Sustainable development and anthropogenic induced geomorphic hazards in subsiding areas. *Earth Surface Processes and Landforms*, 41(15), 2282-2295. DOI:

[10.1002/esp.3977](https://doi.org/10.1002/esp.3977)

2. Ahmady-Birgani, H. (2018). The Role of Correction Factors in Sediment Source Fingerprinting of the Lake Urmia Sand Dunes. *Physical Geography Research*, 50(2), 293-305. doi: 10.22059/jphgr.2018.240078.1007107
3. Ahmady-Birgani, H., Ravan, P., Schlosser, J. S., Cuevas-Robles, A., AzadiAghdam, M., & Sorooshian, A. (2020). On the chemical nature of wet deposition over a major desiccated lake: Case study for Lake Urmia Basin. *Atmospheric Research*, 234. DOI: [10.1016/j.atmosres.2019.104725](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104725)
4. Ahmady-Birgani, H., Ravan, P., Yao, Z., & Afrasinei, G. M. (2023). Understanding saline lake sand dunes dynamics: Coupling remote sensing techniques and field studies. *CATENA*, 232, 107424. DOI: [10.1016/j.catena.2023.107424](https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107424)
5. Al-Hanball, A., Al-Bilbisi, H., & Kondoh, A. (2006). Monitoring the Dead Sea area changes using remote sensing and GIS. *Journal of Japan Society of Hydrology and Water Resources*, 19(6), 483-490. DOI: [10.3178/jjshwr.19.483](https://doi.org/10.3178/jjshwr.19.483)
6. Al-husban, Y., & Almanasyeh, N. (2017). Accounting for level decline in the Dead Sea: Land use and land cover changes, 1984-2015.
7. Alipour, S. (2006). Hydrogeochemistry of seasonal variation of Urmia Salt Lake, Iran. *Saline Systems*, 2, 9-19. DOI: [10.1186/1746-1448-2-9](https://doi.org/10.1186/1746-1448-2-9)
8. Aghakouchak, A., Norouzi, H., Madani, K., Mirchi, A., Azarderakhsh, M., Nazemi, A., et al. (2015). Aral Sea syndrome desiccates Lake Urmia: Call for action. *Journal of Great Lakes Research*, 41, 307-311. DOI: [10.1016/j.jglr.2015.01.002](https://doi.org/10.1016/j.jglr.2015.01.002)
9. Allander, K. K., Smith, J. L., & Johnson, M. J. (2009). Evapotranspiration in the lower Walker River basin, west-central Nevada: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2009-5079, 62 p.
10. Allender, S., Cowburn, G., & Foster, C. (2006). Understanding participation in sport and physical activity among children and adults: A review of qualitative studies. *Health Education Research*, 21(6), 826-835. DOI: [10.1093/her/cyl059](https://doi.org/10.1093/her/cyl059)
11. Audubon. (2020). Retrieved from <https://www.audubon.org/conservation/project/saline-lakes> (last accessed).
12. Bacon, S. N., Lancaster, N., Stine, S., Rhodes, E. J., & McCarley Holder, G. A. (2018). A continuous 4000-year lake-level record of Owens Lake, south-central Sierra Nevada, California, USA. *Quaternary Research*, 90(2), 276-302. DOI: [10.1017/qua.2018.32](https://doi.org/10.1017/qua.2018.32)
13. Barnum, D. A., Bradley, T., Cohen, M., Wilcox, B., & Yanega, G. (2017). State of the Salton Sea: A science and monitoring meeting of scientists for the Salton Sea. (Open-File Report). Reston, VA. DOI: [10.3133/ofr20171005](https://doi.org/10.3133/ofr20171005)
14. Benson, L. V., & Thompson, R. S. (1987). Lake-level variation in the Lahontan Basin for the past 50,000 years. *Quaternary Research*, 28(1), 69-85. DOI: [10.1016/0033-5894\(87\)90049-1](https://doi.org/10.1016/0033-5894(87)90049-1)
15. Blouffoff-Indelicato, M. (2012, October). Climate change is bad news for California children with asthma. *Scientific American*.
16. Barreau, T., Conway, D., Haught, K., Jackson, R., Kreutzer, R., Lockman, A., et al. (2017). Physical, mental, and financial impacts from drought in two California counties, 2015. *American Journal of Public Health*, 107(5), 783-790. DOI: [10.2105/AJPH.2016.303639](https://doi.org/10.2105/AJPH.2016.303639)
17. Beutel, M. W., Horne, A. J., Roth, J. C., & Barratt, N. J. (2001). Limnological effects of anthropogenic desiccation of a large, saline lake, Walker Lake, Nevada. *Hydrobiologia*, 466, 91-105. DOI: [10.1023/A:1014542229037](https://doi.org/10.1023/A:1014542229037)
18. Cahill, T. A., Gill, T. E., Reid, J. S., Gearhart, E. A., & Gillette, D. A. (1996). Saltating particles, playa crusts and dust aerosols at Owens (dry) Lake, California. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21, 621-639. DOI: [10.1002/\(SICI\)1096-9837\(199607\)21:7<621](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199607)21:7<621)
19. Changnon, S. A. (2004). Temporal behavior of levels of the Great Lakes and climate variability. *Journal*

- of Great Lakes Research, 30(1), 184-200. DOI: [10.1016/S0380-1330\(04\)70359-7](https://doi.org/10.1016/S0380-1330(04)70359-7)
20. Christian-Smith, J., Levy, M.C., & Gleick, P.H. (2015). Maladaptation to drought: A case report from California, USA. *Sustainability Science*, 10(3), 491–501. DOI: [10.1007/s11625-015-0320-0](https://doi.org/10.1007/s11625-015-0320-0)
 21. Cohen, J., Screen, J. A., Furtado, J. C., Barlow, M., Whittleston, D., & Comou, D. (2014). Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather. *Nature Geoscience*, 7, 627-637. DOI: [10.1038/ngeo2234](https://doi.org/10.1038/ngeo2234)
 22. Closson, D., Pasquali, P., Riccardi, P., Milisavljevic, N., & Abou Karaki, N. (2013). The water deficit in the Middle East and the disappearance of the Dead Sea. In M. De Boever et al. (Eds.), *Desertification and Land Degradation—Processes and Mitigation*.
 23. Cooper, J.J., & Koch, D.L. (1984). Limnology of a desertic terminal lake, Walker Lake, Nevada, U.S.A. *Hydrobiologia*, 118, 275–292. DOI: [10.1007/BF00004012](https://doi.org/10.1007/BF00004012)
 24. Conover, M.R. (2020). Is Great Salt Lake the only thing keeping Eared Grebes from going extinct? In B.K. Baxter & J.K. Butler (Eds.), *Great Salt Lake Biology: A Terminal Lake in a Time of Change* (pp. xx-xx). Springer, Netherlands.
 25. Cross, S., Baker, P., Seltzer, G., Fritz, S., & Dunbar, R. (2001). Late Quaternary climate and hydrology of tropical South America inferred from an isotopic and chemical model of Lake Titicaca, Bolivia and Peru. *Quaternary Research*, 56, 1-9.
 26. D’Amato, G., & Cecchi, L. (2008). Effects of climate change on environmental factors in respiratory allergic diseases. *Clinical and Experimental Allergy*, 38(8), 1264–1274. DOI: [10.1111/j.1365-2222.2008.02913.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2222.2008.02913.x)
 27. Deliry, S.I., Avdan, Z.Y., Do, N.T., & Avdan, U. (2020). Assessment of human-induced environmental disaster in the Aral Sea using Landsat satellite images. *Environmental Earth Sciences*, 79(20). DOI: [10.1007/s12665-020-09295-0](https://doi.org/10.1007/s12665-020-09295-0)
 28. Derouin, S. (2017). Utah’s Great Salt Lake has lost half its water, thanks to thirsty humans. New study suggests consumption—not climate change—is to blame for falling water levels. *Science News*. DOI: [10.1126/science.aar3941](https://doi.org/10.1126/science.aar3941)
 29. El-Hallaq, M.A., & Habboub, M.O. (2014). Using GIS for time series analysis of the Dead Sea from remotely sensing data. *Open Journal of Civil Engineering*, 4(4), 386. DOI: [10.4236/ojce.2014.44039](https://doi.org/10.4236/ojce.2014.44039)
 30. Frie, A.L., Dingle, J.H., Ying, S.C., & Bahreini, R. (2017). The effect of a receding saline lake (the Salton Sea) on airborne particulate matter composition. *Environmental Science and Technology*, 51, 8283–8292. DOI: [10.1021/acs.est.7b01474](https://doi.org/10.1021/acs.est.7b01474)
 31. Frie, A.L., Garrison, A.C., Schaefer, M.V., Bates, S.M., Botthoff, J., Maltz, M., Ying, S.C., Lyons, T., Allen, M.F., Aronson, E., & Bahreini, R. (2019). Dust sources in the Salton Sea Basin—A clear case of an anthropogenically impacted dust budget. *Environmental Science and Technology*, 53(16), 9378–9388. DOI: [10.1021/acs.est.9b01838](https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01838)
 32. Fan, W., Wang, T., Barbot, S., Fang, D., Ran, J., Luo, H., et al. (2025). Weak asthenosphere beneath the Eurasian interior inferred from Aral Sea desiccation. *Nature Geoscience*, 18, 351–357. <https://doi.org/10.1038/s41561-025-01664-w>
 33. Garcia, M., Raes, D., Allen, R., & Herbas, C. (2004). Dynamics of reference evapotranspiration in the Bolivian highlands (Altiplano). *Agricultural and Forest Meteorology*, 125, 67–82. DOI: [10.1016/j.agrformet.2004.04.002](https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.04.002)
 34. Garcia, M.E., et al. (2005). History of mining around the Poopo Lake and environmental consequences. *Vatten*, 61, 243-248.
 35. Gibert-Brunet, E., Tudryn, A., Kong, T., et al. (2023). Salt wedges and trapped brines of low-latitude endoreic saline lakes as potential modulators of GHG emission. *Scientific Reports*, 13, 21118. DOI: [10.1038/s41598-023-21316-5](https://doi.org/10.1038/s41598-023-21316-5)
 36. Gill, T.E., & Cahill, T.A. (1992). Playa-generated dust storms from Owens Lake. In C.A. Hall, V. Doyle-Jones, & B. Widawski (Eds.), *The History of Water: Eastern Sierra Nevada, Owens Valley, White-Inyo Mountains* (pp. 63–73). White Mountain Research Station Symposium Volume 4, University of

California, Los Angeles.

37. Gill, T.E., Gillette, D.A., Niemeyer, T., & Winn, R.T. (2002). Elemental geochemistry of wind-erodible playa sediments, Owens Lake, California. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 189(1-4), 209–213. DOI: [10.1016/S0168-583X\(01\)01312-7](https://doi.org/10.1016/S0168-583X(01)01312-7)
38. Griffin, D., & Anchukaitis, K.J. (2014). How unusual is the 2012-2014 California drought? *Geophysical Research Letters*, 41, 9017–9023. DOI: [10.1002/2014GL062433](https://doi.org/10.1002/2014GL062433)
39. Hollett, K.J., Danskin, W.R., McCafferey, W.F., & Walti, C.L. (1991). *Geology and water resources of Owens Valley, California*. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2370-B. United States Government Printing Office, Washington.
40. Huss, M., & Hock, R. (2018). Global-scale hydrological response to future glacier mass loss. *Nature Climate Change*, 8, 135–140. DOI: [10.1038/s41558-017-0049-5](https://doi.org/10.1038/s41558-017-0049-5).
41. Harding, S.T. (1965). Recent variations in the water supply of the Western Great Basin. University of California—Berkeley, Water Resources Center Archives, 226 p.
42. Indoitu, R., Kozhoridze, G., Batyrbaeva, M., Vitkovskaya, I., Orlovsky, N., Blumberg, D., & Orlovsky, L. (2015). Dust emission and environmental changes in the dried bottom of the Aral Sea. *Aeolian Research*, 17, 101-115. DOI: [10.1016/j.aeolia.2015.06.003](https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2015.06.003)
43. Jacobsen, S.E. (2012). What is wrong with the sustainability of quinoa production in Southern Bolivia—A reply to Winkel et al. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 198, 320–323. DOI: [10.1111/j.1439-037X.2012.00512.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2012.00512.x)
44. Jacobsen, S.-E. (2011). The situation for quinoa and its production in Southern Bolivia: From economic success to environmental disaster. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197, 390–399. DOI: [10.1111/j.1439-037X.2011.00483.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2011.00483.x)
45. Jalili, S., Kirchner, I., Livingstone, D.M., & Morid, S. (2012). The influence of large-scale atmospheric circulation weather types on variations in the water level of Lake Urmia, Iran. *International Journal of Climatology*, 32(13), 1990–1996. DOI: [10.1002/joc.2422](https://doi.org/10.1002/joc.2422)
46. Johnston, J.E., Razafy, M., Lugo, H., Olmedo, L., & Farzan, S.F. (2019). The disappearing Salton Sea: A critical reflection on the emerging environmental threat of disappearing saline lakes and potential impacts on children's health. *Science of the Total Environment*, 663, 804-817. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2019.01.026](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.026)
47. Jehl, J.R. (1994). Changes in saline and alkaline lake avifaunas in western North America in the past 150 years. *Studies in Avian Biology*, 15, 258–272.
48. Kottmeier, C., et al. (2016). New perspectives on interdisciplinary earth science at the Dead Sea: The DESERVE project. *Science of the Total Environment*, 544, 1045–1058. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2015.11.045](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.045)
49. Kohen, D.S., McAdoo, D.P., Nawrath, S.G., Patton, C.L., Hirschman, J., Lyle, J.T., Olson, J.K., & Saford, J.F. (1994). *Shaping the future of Owens Lake*. 606 Studio, Department of Landscape Architecture, California State Polytechnic University, Pomona, California.
50. Koch, D.L., Cooper, J.J., Lider, E.L., Jacobson, R.L., & Spencer, R.J. (1979). *Investigations of Walker Lake, Nevada: Dynamic Ecological Relationships*. University of Nevada, Desert Research Institute, Bioresources Center, 191 p.
51. Levy, D.B., Schramke, J.A., Esposito, K.J., Erickson, T.A., & Moore, J.C. (1999). The shallow ground water chemistry of arsenic, fluorine, and major elements: Eastern Owens Lake, California. *Applied Geochemistry*, 14(1), 53-65. DOI: [10.1016/S0883-2927\(98\)00054-1](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(98)00054-1)
52. Lopes, T.J., & Allander, K.K. (2009). *Water budgets of the Walker River basin and Walker Lake, California and Nevada*. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2009–5157, 44 p.
53. Lopes, T.J., & Smith, J.L. (2007). *Bathymetry of Walker Lake, west-central Nevada*. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2007 5012, 26 p.

54. Lopes, T.J. (1988). Hydrology and water budget of Owens Lake, California. Report prepared for Los Angeles Department of Water and Power by the Water Resources Center, Desert Research Institute, Reno, Nevada. Publication #41107.
55. Mardi, A. H., Khaghani, A., MacDonald, A. B., Nguyen, P., Karimi, N., Heidary, P., Karimi, N., Saemian, P., Sehatkashani, S., Tajrishy, M., & Sorooshian, A. (2018). The Lake Urmia environmental disaster in Iran: a look at aerosol pollution. *Science of the Total Environment*, 633, 42–49. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2018.03.148](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.148)
56. Marden, B., Brown, P., & Bosteels, T. (2020). Great Salt Lake Artemia: Ecosystem functions and services with a global reach. In B.K. Baxter & J.K. Butler (Eds.), *Great Salt Lake Biology: A Terminal Lake in a Time of Change* (pp. 175–237). Springer: Cham, Switzerland.
57. Metzger, J., Nied, M., Corsmeir, U., Kleffmann, J., Kottmeier, C. (2018). Dead Sea evaporation, energy budget, Priestly-Taylor and penman estimates. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22, 1135–1155. DOI: [10.5194/hess-22-1135-2018](https://doi.org/10.5194/hess-22-1135-2018)
58. Micklin, P. (2016). The future Aral Sea: Hope and despair. *Environmental Earth Sciences*, 75, 844. DOI: [10.1007/s12665-016-5645-3](https://doi.org/10.1007/s12665-016-5645-3)
59. Mohamadlou, R., & Ahmady-Birgani, H. (2024). A look at the drying process of Lake Urmia, reasons and challenges (In Persian).
60. Mosaffa, M., et al. (2021). An investigation of the source of salinity in groundwater using stable isotope tracer and GIS: A case study of the Urmia Lake basin Iran. *Groundwater for Sustainable Development*, 12, 100513. DOI: [10.1016/j.gsd.2021.100513](https://doi.org/10.1016/j.gsd.2021.100513).
61. Müller, D., Neugebauer, I., Ben Dor, Y., Enzel, Y., Schwab, J.M., Tjallingii, R., Brauer, A., 2022. Phases of stability during major hydroclimate change ending the Last Glacial in the Levant. *Sci. Rep.* 12, 6052.
62. Nhu, Viet-Ha, Ayub Mohammadi, Himan Shahabi, Ataollah Shirzadi, Nadhir Al-Ansari, Baharin Bin Ahmad, Wei Chen, Masood Khodadadi, Mehdi Ahmadi, Khabat Khosravi, et al. (2020). Monitoring and Assessment of Water Level Fluctuations of the Lake Urmia and Its Environmental Consequences Using Multitemporal Landsat 7 ETM+ Images. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(12), 4210. DOI: [10.3390/ijerph17124210](https://doi.org/10.3390/ijerph17124210)
63. Null, Sarah E. (2022). Water Banking Can Help Great Salt Lake. Watershed Sciences Faculty Publications. Paper 1159
64. Nezhlin, N. P., Kostianoy, A. G., & Lebedev, S. A. (2004). Interannual variations of the discharge of Amu Darya and Syr Darya estimated from global atmospheric precipitation. *Journal of Marine Systems*, 47, 67–75. DOI: [10.1016/j.jmarsys.2003.12.009](https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2003.12.009)
65. Oroud, I.M. (2023). The Future Fate of the Dead Sea: Total Disappearance or a Dwarfed Hypersaline Hot Lake? *Journal of Hydrology*, 623, 129816. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2023.129816](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129816)
66. Oroud, I. (2020). Spatial and Temporal Surface Temperature Patterns across the Dead Sea as Investigated from Thermal Images and Thermodynamic Concepts. *Theoretical and Applied Climatology*, 142, 747–764. DOI: [10.1007/s00704-020-03338-6](https://doi.org/10.1007/s00704-020-03338-6)
67. Parsinejad, M., Rosenberg, D.E., Ghale, Y.A.G., Khazaei, B., Null, S.E., Raja, O., Safaie, A., Sima, S., Sorooshian, A., Wurtsbaugh, W.A. (2022). 40-years of Lake Urmia restoration research: Review, synthesis and next steps. *Science of the Total Environment*, 832, 155055. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2022.155055](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155055)
68. Polderman, N.J., & Pryor, S.C. (2004). Linking synoptic-scale climate phenomena to lake-level variability in the Lake Michigan-Huron basin. *Journal of Great Lakes Research*, 30, 419–434. DOI: [10.1016/S0380-1330\(04\)70359-7](https://doi.org/10.1016/S0380-1330(04)70359-7)
69. Rosen, M.R., De La Cruz, S.E.W., Groover, K.D., Woo, I., Roberts, S.A., Davis, M.J., & Antonino, C.Y. (2023). Selenium hazards in the Salton Sea environment—Summary of current knowledge to inform future wetland management: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2023–5042, 112 p. DOI: [10.3133/sir20235042](https://doi.org/10.3133/sir20235042)

70. Rojo, Analila. (2010). Granulometry and Geochemistry of Dust Emission From Owens (dry) Lake, California. Open Access Theses & Dissertations, 2576.
71. Russell, I.C. (1885). Geologic history of Lake Lahontan-A Quaternary lake in northwestern Nevada: U.S. Geological Survey Monograph 11, 288 p.
72. Satgé, F., Bonnet, M.-P., Gosset, M., Molina, J., Hernan Yuque Lima, W., Pillco Zolá, R., Timouk, F., & Garnier, J. (2016). Assessment of satellite rainfall products over the Andean plateau. *Atmospheric Research*, 167, 1–14. DOI: [10.1016/j.atmosres.2015.08.013](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.08.013)
73. Siebert, C., Rodiger, T., Malast, U., Grabe, A., Guttman, J., Laronne, J., Peretz, Y., Greenman, A., Salameh, E., Al-Raggad, M., Vachtman, D., Ben, Z.A., Lonescu, D., Brenner, A., Merz, R., Geyer, S. (2014). Challenges to estimate surface- and groundwater flow in arid regions: the Dead Sea catchment. *Science of the Total Environment*, 485–486, 820–827.
74. Sima, S., Rosenberg, D.E., Wurtsbaugh, W.A., Null, S.E., Kettenring, K.M. (2021) Managing Lake Urmia, Iran for diverse restoration objectives: Moving beyond a uniform target lake level. *J. Hydrol. Reg. Stud.* 35, 100812.
75. Smith, G.I., Bischoff, J.L., Bradbury, J.P., 1997. Synthesis of the Paleoclimatic record from Owens Lake core OL-92. In: Smith, G.I., Bischoff, J.L. (Eds.), *An 800,000-year Paleoclimatic Record from Core OL-92, Owens Lake, Southeast California*. Geological Society of America Special Paper 317, 143–160
76. Shuford, W.D., Warnock, N., Molina, K.C., Mulrooney, B., & Black, A.E. (2000). Avifauna of the Salton Sea—Abundance, distribution, and annual phenology. Contribution No. 931 of Point Reyes Bird Observatory, Final report for EPA Contract no. R826552-01-0 to the Salton Sea Authority, 126 p.
77. Sotoudeheian, S., Salim, R., & Arhami, M. (2016). Impact of Middle Eastern dust sources on PM10 in Iran: Highlighting the impact of Tigris-Euphrates basin sources and Lake Urmia desiccation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(23), 14–018. <https://doi.org/10.1002/2016JD025119>
78. Tranvik, L.J., et al. (2009). Lakes and reservoirs as regulators of carbon cycling and climate. *Limnology and Oceanography*, 54, 2298–2314. DOI: [10.4319/lo.2009.54.6.2298](https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.6.2298)
79. Umek, J., Chandra, S., & Brownstein, J. (2009). Limnology and food web structure of a large terminal ecosystem, Walker Lake (NV, USA). *Natural Resources and Environmental Issues*, 15(15).
80. Vey, S., Al-Halbouni, D., Haghighi, M.H. et al. (2021). Delayed subsidence of the Dead Sea shore due to hydro-meteorological changes. *Scientific Reports*, 11, 13518. DOI: [10.1038/s41598-021-92626-5](https://doi.org/10.1038/s41598-021-92626-5)
81. Watson, R. A. et al. (2019). Sinkholes and uvalas in evaporite karst: spatio-temporal development with links to base-level fall on the eastern shore of the Dead Sea. *Solid Earth*, 10(4), 1451–1468. DOI: [10.5194/se-10-1451-2019](https://doi.org/10.5194/se-10-1451-2019)
82. Wendt, J.A. (2017). Tourism development challenges on the Dead Sea shore. *Limnological Review*, 16, 105–112. DOI: [10.1515/limre-2017-0013](https://doi.org/10.1515/limre-2017-0013)
83. Weiner, D. (1985). The Dead Sea past, present, future. *Interdisciplinary Science Reviews* 10:151–158.
84. Wang, X., Dickinson, R.E., Su, L., Zhou, C., Wang, K., (2018). PM2.5 pollution in China and how it has been exacerbated by terrain and meteorological conditions. *Bull. Am Meteorol. Soc.* 99, 105–119.
85. White, K.D., 2013. Nature-society linkages in the Aral Sea region. *J. Eurasian Studies* 4 (1), 18–33.
86. Whish-Wilson, P. (2002). The Aral Sea environmental health crisis. *Journal of Rural and Remote Environmental Health*, 1(2), 29–34.
87. Wiggs, G.F.S., O'hara, S.L., Wegerdt, J., Van Der Meer, J., Small, I., Hubbard, R. (2003). The dynamics and characteristics of aeolian dust in dryland Central Asia: possible impacts on human exposure and respiratory health in the Aral Sea basin. *Geographical Journal*, 169(2), 142–157. DOI: [10.1111/j.1475-4959.2003.00084.x](https://doi.org/10.1111/j.1475-4959.2003.00084.x)
88. Wurtsbaugh, W.A., Miller, C., Null, S.E., DeRose, R.J., Wilcock, P., Hahnenberger, M., et al. (2017). Decline of the world's saline lakes. *Nature Geoscience*, 10, 816–821. DOI: [10.1038/ngeo3091](https://doi.org/10.1038/ngeo3091)
89. Wurtsbaugh, W.A., & Sima, S. (2022). Contrasting Management and Fates of Two Sister Lakes: Great

- Salt Lake (USA) and Lake Urmia (Iran). *Water*, 14, 3005. DOI: [10.3390/w14193005](https://doi.org/10.3390/w14193005)
90. Yadesa, T.M., Atukunda, E., & Dorothy, A. (2021). Prevalence of medication errors and the associated factors: A prospective observational study among cancer patients at Mbarara Regional Referral Hospital. *Cancer Management and Research*, 13, 3739-3748. DOI: [10.2147/CMAR.S314265](https://doi.org/10.2147/CMAR.S314265)
91. Zadereev, E., Lipka, O., Karimov, B., Krylenko, M., Elias, V., Pinto, I.S., Alizade, V., Anker, Y., Feest, A., Kuznetsova, D. (2020). Overview of past, current, and future ecosystem and biodiversity trends of inland saline lakes of Europe and Central Asia. *Inland Waters*, 10, 438–452. DOI: [10.1080/20442041.2020.1798783](https://doi.org/10.1080/20442041.2020.1798783)
92. ZOLÁ, R. P., & BENGTTSSON, L. (2006). Long-term and extreme water level variations of the shallow Lake Poopó, Bolivia. *Hydrological Sciences Journal*, 51(1), 98–114. DOI: [10.1623/hysj.51.1.98](https://doi.org/10.1623/hysj.51.1.98)