



Managing Water Resources to Mitigate Drought Impacts due to Climate Change in the United States with a Focus on the State of California

N. Moghaddam^{1*}

Abstract

Water governance is one of the critical issues in the state of California, significantly impacting the lives of individuals and the economy of the region. Given the climatic conditions and water scarcity challenges in this area, water governance holds immense importance. This article will examine the significance of water governance in California and the necessity of implementing appropriate policies and programs for managing water resources in the region. Additionally, the effects of population growth, climate change, and human activities on the water resources of this area will also be explored. The article will address the role of government and related organizations in managing water resources and improving water quality in California. The importance of water governance in California is vital from economic, social, and environmental perspectives, and further research in this field could enhance water resource management in the region. Therefore, the article aims to explore practical solutions from both financial and engineering viewpoints, stating the relevant institutions and budgets associated with the projects.

Keywords: Water Resources Management, California, Climate Change, Economy, Environmental.

Received: March 13, 2024

Accepted: May 23, 2024

مدیریت منابع آب برای کاهش اثرات خشکسالی در اثر تغییر اقلیم در ایالات متحده آمریکا با تمرکز بر ایالت کالیفرنیا

نیما مقدم^{۱*}

چکیده

حکمرانی آب یکی از موضوعات حیاتی در ایالت کالیفرنیا است که تأثیر گسترده‌ای بر زندگی افراد و اقتصاد این منطقه دارد. با توجه به شرایط اقلیمی و مشکلات کم‌آبی در این منطقه، حکمرانی آب از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. در این مقاله، به بررسی اهمیت حکمرانی آب در کالیفرنیا پرداخته خواهد شد و اهمیت اجرای سیاست‌ها و برنامه‌های مناسب برای مدیریت منابع آب در این منطقه بررسی خواهد شد. همچنین، تأثیرات افزایش جمعیت، تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی بر منابع آب این منطقه نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت. این مقاله به نقش حکومت و سازمان‌های مرتبط در مدیریت منابع آب و ارتقاء کیفیت آب در کالیفرنیا نیز خواهد پرداخت. اهمیت حکمرانی آب در کالیفرنیا از لحاظ اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی بسیار حیاتی است و انجام تحقیقات بیشتر در این زمینه می‌تواند به بهبود مدیریت منابع آب در این منطقه کمک کند، لذا در مقاله سعی بر آن رفته تا راه‌کارهای عملی شده چه از نظر مالی و چه از نظر مهندسی بررسی و حتی نهادها و بودجه‌های مربوط به پروژه‌ها نیز ذکر شود.

کلمات کلیدی: مدیریت منابع آب، کالیفرنیا، منابع آب، تغییر اقلیم، اقتصاد، زیست محیطی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۳/۳

1- Master's Student in Water Resources Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: nimaznu98@gmail.com

*- Corresponding Author

Doi: [10.22034/IWRR.2024.448106.2748](https://doi.org/10.22034/IWRR.2024.448106.2748)

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه تهران، تهران، ایران.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۴۰۳ امکانپذیر است.



۱- مقدمه

در این ایالت است. ۳. آمارهای مصرف آب: مصرف آب در کالیفرنیا به طور متوسط در سال‌های اخیر کاهش یافته است، اما با افزایش دما در این ایالت طی سال‌های اخیر و کاهش منابع آب در دسترس همچنان نیاز به توجه جدی به این مسئله وجود دارد. بخش کشاورزی به طور معمول در کالیفرنیا بیشترین سهم مصرف آب را داراست و نیازمند راهکارهایی برای بهینه‌سازی مصرف آب است. از آنجایی که مدیریت منابع آب یک مسئله پیچیده و چندبعدی است، اطلاعات ریز آماری مصرف و مدیریت آب باید به صورت دقیق مانیتور شود و برنامه‌ریزی‌های مناسب برای مدیریت بهینه منابع آب انجام شود. می‌توان گفت سیستم آب کالیفرنیا پیچیده است. این پیچیدگی را می‌توان در نحوه ساختار سیستم با منابع متعدد آب که به روش‌های مختلف به هم مرتبط هستند، مشاهده کرد. همچنین، در نحوه تأمین مالی سیستم، با استفاده از منابع مختلف در سطح محلی، ایالتی و فدرال برای رفع نیازهای استفاده‌کنندگان آب شهری و کشاورزی و محیط زیست مشهود است (Dobbin & Lubell, 2021). سیستم آب بهم پیوسته کالیفرنیا به تقریباً ۴۰ میلیون نفر خدمات‌رسانی می‌کند و بیش از ۵۶۸۰،۰۰۰ هکتار (۲،۳۰۰،۰۰۰ هکتار) زمین کشاورزی را آبیاری می‌کند (Carle, 2015).

این سیستم به‌عنوان بزرگ‌ترین، پربازده‌ترین و بحث‌برانگیزترین سیستم آبی جهان (Hundley, 2001) سالانه بیش از ۴۰ میلیون جریب فوت (۴۹ کیلومتر مکعب) آب را مدیریت می‌کند (Jenkins et al., 2004).

میزان مصارف آب در کالیفرنیا به تفکیک آب‌های محیطی، کشاورزی و شهری به ترتیب برابر با ۵۰٪ محیطی^۳، ۴۰٪ کشاورزی^۴ و ۱۰٪ شهری^۵ است، اگرچه این میزان در منطقه و بین سال‌های مرطوب و خشک به طور قابل توجهی متفاوت است. در سال‌های مرطوب، آب "محیط زیستی" (آب محیطی) به طور متوسط ۶۱٪ است، در حالی که در سال‌های خشک به طور متوسط ۴۱٪ است و در سال‌های بحرانی خشک می‌تواند حتی کم‌تر باشد. آب و حقوق آب از جمله مسائل سیاسی تفرقه‌انگیز این ایالت است. به دلیل عدم وجود بارندگی قابل اطمینان در فصل خشک، آب در پرجمعیت‌ترین ایالت ایالات متحده محدود است. بحث در حال انجام این است که آیا دولت باید توزیع مجدد آب را در بخش‌های بزرگ کشاورزی و شهری خود افزایش دهد یا حفظ و حفظ اکوسیستم‌های طبیعی منابع آب را افزایش دهد (Mount et al., 2023).

کالیفرنیا^۱ ایالتی در غرب آمریکا بر کرانه اقیانوس آرام و پرجمعیت‌ترین ایالت آمریکا است. مرکز آن ساکرامنتو^۲ و شهرهای مهم آن لس‌آنجلس، سن‌دیگو، سن‌خوزه و سان‌فرانسیسکو هستند. کالیفرنیا پس از آلاسکا و تگزاس، سومین ایالت بزرگ آمریکا است. لس‌آنجلس پرجمعیت‌ترین شهر کالیفرنیا و بزرگ‌ترین شهر آمریکا پس از شهر نیویورک است. این ایالت از شمال به اورگان، از شرق به نوادا، از جنوب به مکزیک و اقیانوس آرام محدود می‌شود. کالیفرنیا دارای تنوع جغرافیایی بسیار زیادی است، از سواحل اقیانوس آرام گرفته تا کوهستان‌ها و صحراهای جنوبی. از نظر آب و هوا، کالیفرنیا دارای تنوع بسیار زیادی است. این ایالت دارای مناطقی با آب و هوای ساحلی معتدل تا مناطقی با آب و هوای گرم و خشک در دشت‌ها و صحراها است. شمال کالیفرنیا دارای آب و هوای معتدل با تابستان‌های خنک و زمستان‌های مرطوب است، در حالی که جنوب این ایالت دارای آب و هوای گرم و خشک با تابستان‌های گرم و زمستان‌های ملایم است. این تنوع آب و هوایی باعث شده که کالیفرنیا دارای مناظر طبیعی متنوعی از جمله سواحل زیبا، کوهستان‌ها، دشت‌ها و صحراها باشد (Miller and Hyslop, 1983).

اما تغییر اقلیم سبب شده است مناطق جنوبی این ایالت که از آب و هوای گرم‌تری برخوردار هستند دچار مشکلات مدیریت منابع آب و حکمرانی آب شوند؛ هرچند بقیه نقاط این ایالت نیز از این آسیب جدا نیستند. لذا در این تحقیق به عوامل لازم برای بررسی بحران‌های آبی ایالت کالیفرنیا یعنی کیفیت آب‌های سطحی و زیرسطحی، مدیریت مصرف، صرفه‌جویی مصرف و غیره و راه‌کارهای حکمرانی آب برای مقابله با این بحران‌ها پرداخته شده است. مصرف و مدیریت آب در ایالت کالیفرنیا یکی از موضوعات مهم و حیاتی است که نیازمند پایش برخط (مانیتورینگ) دقیق و برنامه‌ریزی مؤثر است. در ادامه، اطلاعات ریز آماری مصرف و مدیریت آب در ایالت کالیفرنیا را بررسی خواهیم کرد: ۱. مصرف آب: مصرف آب در کالیفرنیا از منابع مختلف از جمله آب‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی و آب‌های بازیافتی (آب‌های فاضلاب و حتی آب شور دریا) صورت می‌گیرد. بخش‌های مختلف مصرف‌کننده شامل خانوارها، کشاورزی، صنعت و سایر صنایع هستند. ۲. مدیریت آب: دولت ایالت کالیفرنیا برنامه‌ها و سیاست‌هایی برای مدیریت منابع آب ارائه کرده است که شامل محدودیت‌ها برای مصرف آب، ایجاد سیستم‌های بازیافت آب، ترویج استفاده از فناوری‌های صرفه‌جویی در مصرف آب و حفاظت از منابع آب می‌شود. برنامه‌های توسعه زیرساخت‌های آبی، تأمین آب جایگزین و ایجاد سیستم‌های مدیریت آب برای مقابله با خشکسالی نیز از جمله اقدامات مدیریت آب

مشاهده است. باران معمولاً در کالیفرنیا فقط در طول ماه‌های زمستان و بهار، از اکتبر تا مه، می‌بارد و باران در نیمه شمالی ایالت بیشتر از جنوب می‌بارد. تقریباً ۷۵ درصد از کل حجم بارش در شمال ساکرامنتو رخ می‌دهد، در حالی که ۷۵ درصد از کل نیاز آب در جنوب است. البته در زمان‌هایی بسیار نادر، تابستان‌ها در سراسر ایالت خشک است. بارش به صورت برف در سیرا و سایر رشته‌های کوهستانی شبکه مخازن و منابع آب سطحی را تغذیه می‌کند. یک سال کم باران یا بارش برف خفیف می‌تواند منجر به خشکسالی شود. رودخانه‌های شمال و ساحلی کالیفرنیا عمدتاً از باران تغذیه می‌کنند که از ژانویه تا آوریل به اوج خود می‌رسد و بین ژوئن و نوامبر به سطح بسیار پایین می‌رسد. ذوب برف تأثیر قابل توجهی بر رودخانه‌های سیرا نوادا از شرق ساکرامنتو تا شرق بیکرزفیلد دارد که معمولاً بین آوریل و جولای به اوج خود می‌رسد. ذوب برف همچنین منبع اصلی آب برای رودخانه کلرادو است که جنوب کالیفرنیا را تأمین می‌کند. بارندگی و برف کالیفرنیا توسط ایالت کالیفرنیا با "سال آبی" اندازه‌گیری می‌شود که از ۱ اکتبر تا ۳۰ سپتامبر ادامه دارد (Sarhan & Harris, 2023).

طبق گزارش دفتر منابع آب ایالات متحده آمریکا (DWR)، حوزه آبخیز دره مرکزی، که شامل رودخانه ساکرامنتو، رودخانه سان خواکین^۱ و مناطق دریاچه تولار^۲ است، بزرگترین حوضه در کالیفرنیا است که بیش از یک سوم ایالت را زهکشی می‌کند، ۶۰۰۰۰ مایل مربع (۱۶۰۰۰۰ کیلومتر مربع)، و تقریباً نیمی از کل رواناب را تولید می‌کند (Murphy, 2020).

در صورتی که بارندگی کم باشد، کوله برفی سیرا نوادا^۱ سیستم‌های رودخانه‌ای دره مرکزی را تغذیه می‌کند و منبع حیاتی آب در فصل خشک طولانی این ایالت است. تا ۳۰ درصد از تأمین آب کالیفرنیا از برف است و اکثر برق آبی کالیفرنیا نیز از برف سیرا نوادا تولید می‌شود (Stene, 2016). به طور کلی، در ایالات متحده یکی از بزرگترین کاربردهای آب شیرین، برداشت برای بخش انرژی است (Hundley, 2001). بیش‌تر سیستم مخزن و قنات گسترده کالیفرنیا برای ذخیره و جذب رواناب از حوضه آبخیز دره مرکزی^۱ طراحی شده است. با افزایش سن سدهای این ایالت، از بین بردن سدها در کالیفرنیا گسترده‌تر شده است، فرآیندی که تا حد زیادی موفقیت‌آمیز بوده است (Jenkins et al., 2004).

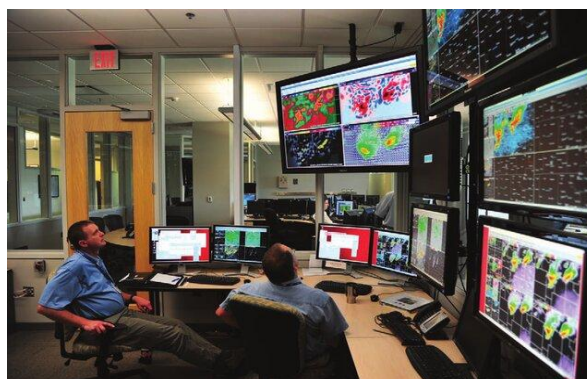


Fig. 1- Online monitoring of statistical information on water consumption and water resources management in California

شکل ۱- پایش برخط (مانیتورینگ) اطلاعات آماری مصرف و مدیریت منابع آب کالیفرنیا

۱-۲- مصرف آب

۱-۱-۲- آب سطحی

منابع محدود آب کالیفرنیا از دو منبع اصلی تأمین می‌شود: آب سطحی، آب زیرزمینی. آب سطحی یا آبی که روی زمین حرکت می‌کند یا روی زمین جمع می‌شود مانند رودخانه‌ها، نهرها و دریاچه‌ها که عموماً از طریق بارش‌های رخ داده در طول سال تأمین می‌شوند، حال یا ناشی از بارش مستقیم باران است و یا ناشی از ذوب یخ‌ها که البته در طی سال‌های اخیر این بارش‌ها نیز به طور چشم‌گیری کاهش یافته است (Bain et al., 2021). بارندگی سالانه در کالیفرنیا بسیار متغیر است و میانگین بارندگی در کل ایالت ۲۲/۹ اینچ (۵۸/۲ سانتی متر) در سال است. با این حال، مجموع بارش‌های ثبت شده می‌تواند به شدت از سال به سال به دلیل شرایط جوی و تغییرات آب و هوایی در نوسان باشد. نوسانات ال نینو-جنوبی اغلب تأثیر قابل توجهی بر بارندگی ایالت دارد، بطور کلی بارش در دوره‌های ال نینو بیشتر است. علاوه بر این، تغییرات آب و هوا بر الگوهای بارش کالیفرنیا در سال‌های اخیر با اثراتی از جمله ذوب سریع‌تر برف، موج‌های گرمای مکرر، و شرایط خشک‌تر در سراسر ایالت تأثیر گذاشته است (Puddephatt, 2022).

همانطور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود میزان بارش‌ها در کل ایالات متحده طی سال‌های اخیر رو به کاهش رفته است، بنابراین این منبع مهم نیز رو به خطر است که به وضوح در شکل‌های ۳ و ۴ نیز قابل

California's Precipitation is Highly Variable

Annual Statewide Precipitation in Inches

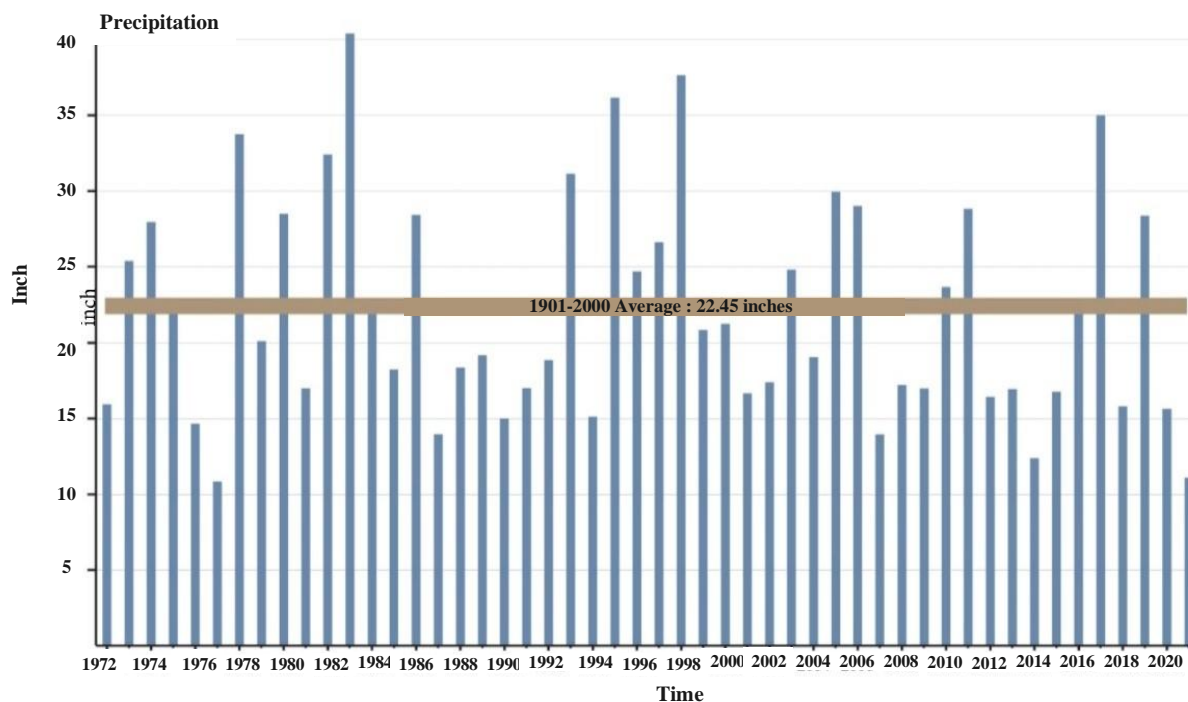


Fig. 2- Rainfall across the United States during the years 1972 to 2021 (U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration)

شکل ۲- میزان بارندگی در سراسر ایالات متحده آمریکا طی سالهای ۱۹۷۲ تا ۲۰۲۱ (اداره ملی اقیانوس و جو آمریکا)

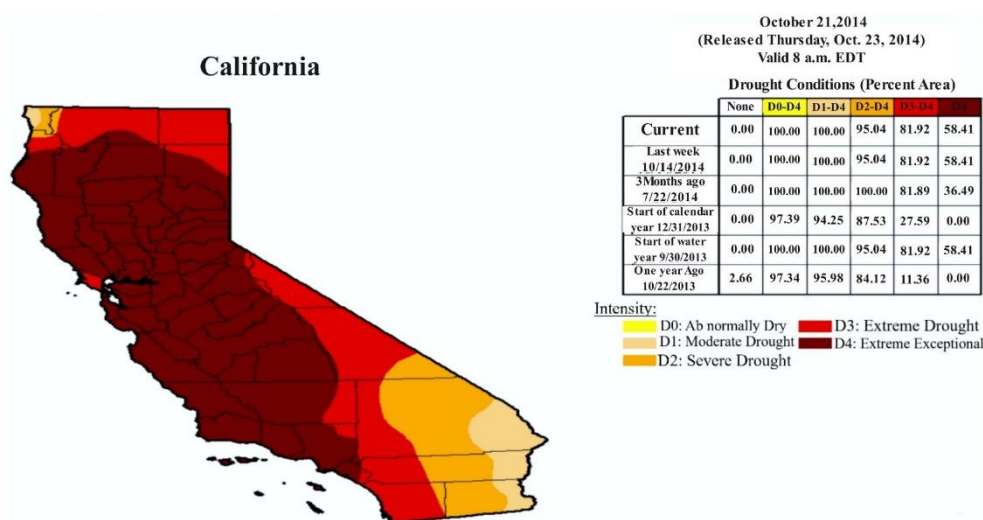


Fig. 3- Drought status in California in October 2014. The map shows "exceptional drought" status in more than 58% of the state (U.S. Drought Monitor)

شکل ۳- وضعیت خشکسالی در کالیفرنیا در اکتبر ۲۰۱۴. نقشه وضعیت "خشکسالی استثنایی" را در بیش از ۵۸ درصد از ایالت نشان می‌دهد (U.S. Drought Monitor)

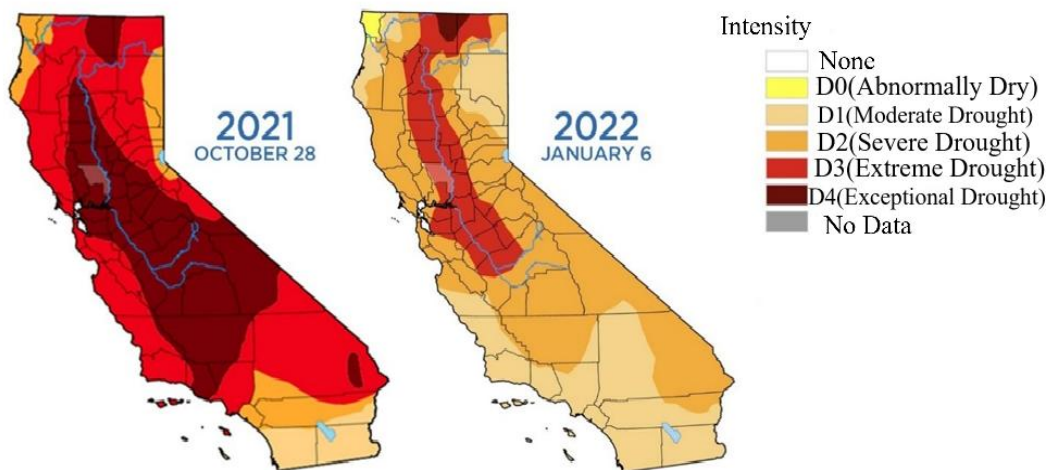


Fig. 4- Evolution of drought conditions in California after a dry year from January 2020 to October 2021
شکل ۴- تکامل شرایط خشکسالی در کالیفرنیا پس از یکسال خشک از ژانویه ۲۰۲۱ تا اکتبر سال ۲۰۲۲ میلادی (U.S. Drought Monitor)

رودخانه‌های ساکرامنتو و سان خواکین در دلتای رودخانه ساکرامنتو- سان خواکین، یک مصب بزرگ آب شیرین است که بسیاری از منابع آب این ایالت از آنجا خارج می‌شود، به هم می‌رسند. حوضه آبخیز دره مرکزی، بیشتر آب مورد نیاز کالیفرنیا شمالی و مرکزی و همچنین بخش قابل توجهی از مصرف جنوب کالیفرنیا را تأمین می‌کند (Grimaldo et al., 2021).

رودخانه‌های ساکرامنتو و سان خواکین در دلتای رودخانه ساکرامنتو- سان خواکین، یک مصب بزرگ آب شیرین است که بسیاری از منابع آب این ایالت از آنجا خارج می‌شود، به هم می‌رسند. حوضه آبخیز دره مرکزی، بیشتر آب مورد نیاز کالیفرنیا شمالی و مرکزی و همچنین بخش قابل توجهی از مصرف جنوب کالیفرنیا را تأمین می‌کند (Grimaldo et al., 2021).

۲-۱-۲- آب بازیافتی

- آب شور تصفیه شده

با توجه به گرمای بی سابقه‌ای که کره زمین در سال ۲۰۲۳ در برخی مناطق تجربه کرد این مهم مورد توجه قرار می‌گیرد که تنش آبی دیر یا زود گریبان‌گیر همه جهان خواهد شد و سهل‌انگاری است اگر تصور کنیم این بحران بر مسائل گوناگون از جمله اقتصادی، سیاسی، نرخ رشد جمعیت و غیره تأثیر نخواهد گذاشت. مگر آنکه امید داشته باشیم به اینکه یا از همین حالا از منابع آب شیرین موجود و حتی شور قابل مصرف، صحیح و نظام‌مند استفاده شود؛ یا از منابع آبی وسیع یخ‌های قطبی یا چشم‌پوشی از آسیب‌های زیست محیطی آن استفاده شود و یا کمبود آب مورد نیاز با شیرین کردن منابع عظیم آب‌های شور سطحی و زیرزمینی جبران شود (Edward et al., 2019).

حوضه آبی ساحل شمالی بیش‌ترین بارش سالیانه را از هر حوضه دیگری در کالیفرنیا دریافت می‌کند. این حوضه شامل بسیاری از سیستم‌های رودخانه‌ای بزرگ از قبیل رودخانه‌های کلومات، اسمیت، ترینیتی و ایل است و بیش از یک سوم آب رواناب در این ایالت تولید می‌کند. به‌جز سدهای ترینیتی که آب را از رودخانه ترینیتی به رودخانه ساکرامنتو منتقل می‌کند و سد اسکات که آب را از رودخانه ایل به رودخانه روسیان منتقل می‌کند، بیشتر حوضه‌های آبخیز ساحل شمالی نسبتاً توسعه نیافته‌اند، برخی دارای وضعیت بکر و دست نخورده و مناظر زیبا هستند. موقعیت منظره‌ای که آنها را از توسعه محافظت می‌کند یعنی در واقع منطقه محافظت شده است. رودخانه‌های ساحلی شمالی آب را برای زیستگاه ماهی قزل‌آلا، جنگل‌های جذب‌کننده کربن و جوامع محلی-بومی تأمین می‌کنند. برخی از این مناطق تحت تأثیر حقوق آبی و ماهیگیری قابل هستند. آبی که در این حوضه‌ها جریان دارد و وارد اقیانوس آرام می‌شود برای محیط زیست حساس، ماهی‌های مهاجر و ماهی‌های در خطر انقراض و یا حساس بسیار حیاتی است. پیشنهادهای برای ایجاد انتقالات بین حوضه‌ای اضافی از

این واقعیت که در جهانی تشنه زندگی می‌کنیم انکارناپذیر است، با آنکه اطرافمان را منابع عظیم آب معادل $1/4 \times 10^9$ کیلومتر مکعب فرا گرفته است اما ۹۷/۵ درصد از این آب، آب دریا است که میانگین

می‌جوشاندند و مصرف می‌کردند. همچنین فرانسویس‌بیکن^{۱۳} در سفرش به برزیل در سال ۱۶۰۳ میلادی، زمانی که با کمبود آب شیرین مواجه شد پیشنهاد شیرین کردن آب شور دریا با فیلترهای شنی را داد (Esfahani et al., 2016; Moghaddan et al., 2023).

در پاسخ به کمبود آب در این ایالت، برخی از مناطق آبی به دنبال نمک‌زدایی به عنوان راهی برای تأمین آب برای ساکنان هستند.

شوری آن ۳۵۰۰ppm یا میلی‌گرم در لیتر است (Ibrahim et al., 2017; Shahzad, et al., 2017).

حداکثر میزان شوری آب جهت تأیید سازمان بهداشت جهانی از لحاظ شیرین بودن آن، آبی است با غلظت شوری ۵۰۰ppm به طور کلی شیرین کردن آب‌های شور به قرن‌ها پیش باز می‌گردد از جمله موارد تاریخی می‌توانیم به نمونه‌های زیر اشاره کنیم. اسکندر افرویدی^{۱۴} در سال ۳۲۰ قبل از میلاد توصیف کرد که ملوانان آب دریا را



Fig. 5- The major rivers of the state of California (October 2015)
 شکل ۵- رودخانه‌های اصلی ایالت کالیفرنیا (October 2015)

Table 1- The major watersheds of California
جدول ۱- حوزه‌های آبخیز اصلی کالیفرنیا

Major California watersheds		
Hydrologic region	Annual precipitation acre-feet	Annual runoff acre-feet
North Coast	55,900,000 (69.0 km ³)	28,900,000 (35.6 km ³)
Sacramento River	52,400,000 (64.6 km ³)	22,400,000 (27.6 km ³)
North Lahontan	6,000,000 (7.4 km ³)	1,900,000 (2.3 km ³)
San Francisco Bay	5,500,000 (6.8 km ³)	1,200,000 (1.5 km ³)
San Joaquin River	21,800,000 (26.9 km ³)	7,900,000 (9.7 km ³)
Central Coast	12,300,000 (15.2 km ³)	2,500,000 (3.1 km ³)
Tulare Lake	13,900,000 (17.1 km ³)	3,300,000 (4.1 km ³)
South Lahontan	9,300,000 (11.5 km ³)	1,300,000 (1.6 km ³)
South Coast	10,800,000 (13.3 km ³)	1,200,000 (1.5 km ³)
Colorado River	4,300,000 (5.3 km ³)	200,000 (0.25 km ³)

آب شرب تشخیص داده است. یکی از مزایای اصلی استفاده از آب فاضلاب تصفیه شده برای آب شرب این است که به کاهش تقاضا بر روی منابع آب سنتی مانند رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی کمک می‌کند. در مواجهه کالیفرنیا با کمبود آب مداوم، بازیافت آب یک جایگزین قابل اعتماد و پایدار است که می‌تواند به تضمین منبع آب این ایالت برای آینده کمک کند. با وجود مزایای استفاده از آب فاضلاب تصفیه شده برای آب شرب، هنوز چالش‌هایی برای غلبه بر آن وجود دارد، مانند نگرش عمومی و پذیرش آب بازیافتی. با این حال، در حالی که کمبود آب به یک مسئله فشرده تبدیل می‌شود، جوامع بیشتری در کالیفرنیا به عنوان یک راه‌حل قابل قبول به بازیافت آب روی آورده‌اند. به اختصار، استفاده کالیفرنیا از آب فاضلاب تصفیه شده برای آب شرب نشان از تعهد این ایالت به پایداری و نوآوری در مقابل کمبود آب است. با سرمایه‌گذاری در فناوری‌های بازیافت آب، کالیفرنیا نمونه‌ای برای مناطق دیگری که با چالش‌های مشابه روبرو هستند فراهم می‌کند و راه را برای یک آینده آب پایدارتر می‌گشاید (Puddephatt, 2022).

۲-۱-۳- آب زیرزمینی

آبی است که از زمین خارج می‌شود و یکی از منابع مهم تأمین آب در شرایط خشکسالی است. همچنین، به سبب آن که کالیفرنیا در سال‌های اخیر دچار بحران جدی خشکسالی و کمبود آب شده بود، شروع به تولید مقدار کمی آب نمک‌زدایی شده کرده است، آبی که زمانی آب دریا بوده، اما تصفیه شده است. در شکل ۶ به خوبی گام‌های استفاده پایدار از آب‌های زیرزمینی که یکی از مزایای حکمرانی آب برای

حمیان، نمک‌زدایی آب دریا را منبع آب قابل اطمینان‌تری می‌دانند، زیرا آب خود را از اقیانوس می‌گیرد و بنابراین، مانند سایر منابع آب تحت تأثیر دوره‌های خشکسالی قرار نمی‌گیرد (Nair, 2013). یکی دیگر از انگیزه‌های نمک‌زدایی، توانایی مناطق برای خودکفایی بیشتر با تأمین آب است و در نتیجه انعطاف‌پذیری آنها در برابر خشکسالی بهبود می‌یابد. با این حال، نمک‌زدایی توسط مخالفان مورد بررسی قرار گرفته است، که معتقدند هزینه‌ها و اثرات زیست‌محیطی احتمالی نمک‌زدایی، شاخص‌هایی هستند که کالیفرنیا باید به دنبال جایگزین‌های دیگر ادامه دهد (Cooley et al., 2006).

- آب فاضلاب تصفیه شده

کالیفرنیا به خاطر آب و هوا مستعد خشکسالی‌ها شناخته شده است که این امر منجر به بررسی راه‌حل‌های نوآورانه برای حفظ آب شده است. یکی از این راه‌حل‌ها استفاده از آب فاضلاب تصفیه شده برای مصرف به عنوان آب شرب است. در سال‌های اخیر، کالیفرنیا پیشگام تلاش‌های بازیافت آب بوده و آب فاضلاب را به یک سطحی تصفیه می‌کند که برای مصرف انسان ایمن باشد. این ایالت در فناوری‌های پیشرفته تصفیه آب سرمایه‌گذاری کرده که می‌تواند آلاینده‌ها و میکروب‌ها را از آب فاضلاب حذف کند و آن را برای مصرف به عنوان آب شرب مناسب کند. ایده استفاده از آب فاضلاب تصفیه شده برای آب شرب ممکن است به نظر برخی غیر جذاب بیاید، اما مطالعات نشان داده است که آب فاضلاب به درستی تصفیه شده، در واقع تمیزتر از بسیاری از منابع آب سنتی است. در واقع، سازمان بهداشت جهانی^۴ پتانسیل آب فاضلاب تصفیه شده را به عنوان یک منبع ایمن و پایدار

زیرزمینی هستند. این برنامه‌ها شامل اقدامات و استراتژی‌هایی برای مدیریت و حفظ منابع آب زیرزمینی در یک حوضه مشخص هستند. با توجه به شکل ۶، اگر بخواهیم به عنوان نمونه اقدامات که بایستی برای سال‌های ۲۰۴۰ و ۲۰۴۲ انجام شود را توضیح دهیم، می‌توانیم به این نکات اشاره کنیم که در سال ۲۰۴۰ و ۲۰۴۲، اقدامات مهمی برای مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی (SGMA) باید انجام شوند. در سال ۲۰۴۰، GSAs از حوضه‌هایی که در وضعیت فوریت شدید از فرسایش هستند باید به اهداف پایداری برسند. این به این معناست که باید برنامه‌های مدیریت پایداری آب زیرزمینی را به طور کامل اجرا کنند و از فرسایش زمین جلوگیری کنند. این اقدامات ممکن است شامل کنترل مصرف آب، افزایش بازدهی منابع آب، استفاده از تکنولوژی‌های بهینه‌سازی آب و اجرای اقدامات حفاظت از آب شامل باز کردن چاه‌ها و محدود کردن دسترسی به منابع آب باشد. در سال ۲۰۴۲، GSAs از حوضه‌هایی که در وضعیت فوریت شدید از فرسایش نیستند باید به اهداف پایداری برسند.

جلوگیری از بحران خشکسالی و کمبود آب کالیفرنیا است نشان داده شده و توضیحات به تفصیل در ذیل آن بیان شده است.

شکل ۶ در واقع نشان‌دهنده تاریخ‌های مهم و مراحل اجرای قانون مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی (SGMA)^{۱۵} در کالیفرنیا است. SGMA یک قانون است که به منظور مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی در ایالت کالیفرنیا تصویب شده است. این متن شامل گام‌های زمانی برای ایجاد سازمان‌های مدیریت پایداری آب زیرزمینی (GSAs)^{۱۶}، اعتبارسنجی و اجرای برنامه‌های مدیریت پایداری آب زیرزمینی (GSPs)^{۱۷} و تعیین اهداف پایداری برای منابع آب زیرزمینی در بعضی از حوضه‌ها است. GSAs به معنای سازمان‌های مدیریت پایداری آب زیرزمینی هستند. این سازمان‌ها مسئول ایجاد و اجرای برنامه‌های مدیریت پایداری آب زیرزمینی در یک حوضه آب زیرزمینی مشخص هستند. GSPs به معنای برنامه‌های مدیریت پایداری آب

Implementation Timeline for Sustainable Groundwater Management Act (SGMA) Major Requirements



- January 2015**
DWR released initial basin prioritization. High and medium priority basins are subject SGMA requirements.
- January 2016**
DWR identified final list of basins subject to critical conditions of overdraft. These basins face some expedited compliance deadlines.
- June 30, 2017**
Local agencies must establish groundwater sustainability agencies (GSAs). SWRCB may designate probationary basins subject to intervention for areas that fail to comply
- January 31, 2020**
GSAs from basins in critical overdraft must adopt and begin to implement groundwater sustainability plans(GSPs). DWR will review plans for adequacy after adoption.
- January 31, 2022**
GSAs from basins not in critical overdraft must adopt and begin to implement GSPs. DWE will review plans for adequacy after adoption.
- January 31, 2040**
GSAs from basins not in critical overdraft must achieve sustainability goals.
- January 31, 2042**
GSAs from basins not in critical overdraft must achieve sustainability goals.

DWR = Department of Water Resources and SWRCB = State Water Resources Control Board.

Fig. 6- Timeline of the main requirements of the Sustainable Groundwater Management Act (SGMA) (December 2021)

شکل ۶- جدول زمانی الزامات اصلی قانون مدیریت پایدار آب‌های زیرزمینی (SGMA) (December 2021)

فرهنگ‌سازی در جوامع شهری و کشاورزی برای صرفه‌جویی و در پی آن افزودن امکانات لازمه برای کمک به این صرفه‌جویی است، بعداً به اینکه چه هزینه‌های هنگفتی برای این مهم صورت گرفته پرداخته خواهد شد، برای نمونه پروژه فاضلاب این ایالت که قرار بود در طی برنامه‌ای ۲۰ ساله به پایان برسد با سرمایه‌گذاری‌های به موقع و هنگفت در طی ۲ سال به پایان رسید تا اول آنکه این فاضلاب، آب‌های زیرزمینی را آلوده نکند و در نوبت دوم این ایالت بتواند آب‌های تصفیه‌شده از فاضلاب را برای مصارفی از جمله آبیاری درختان و حتی شرب و غیره استفاده نماید (Bain, 2021). بهتر است قبل از ورود کامل به این مسائل با نهادها و سازمان‌های صنعت آب و بودجه‌ای که در راستای حکمرانی آب در ایالت کالیفرنیا مصرف شده بیش‌تر آشنایی داده شود.

ساده‌ترین بخش این کار مدیریت کردن تخصیص منابع آب در کالیفرنیا به معنای واقعی کلمه است، همانطور که در شکل ۷ دیده می‌شود در ترسالی‌ها بخش زیادی از آب موجود برای نیازهای زیست محیطی جهت حفظ محیط زیست و حتی حفظ منابع آب موجود مصرف می‌شود، به صورتی که چون ایالت کالیفرنیا در کنار اقیانوس واقع شده لذا خطر به وقوع پیوستن تداخل آب شور و شیرین و از بین رفتن منابع

این نیز نشان می‌دهد که باید برنامه‌های مدیریت پایداری آب زیرزمینی را به طور کامل اجرا کنند و از افزایش فرسایش زمین جلوگیری کنند. این اقدامات ممکن است شامل اصلاح روش‌های کشاورزی، افزایش استفاده از روش‌های مدیریت آب، ترویج استفاده از منابع آب معدنی و اجرای برنامه‌های حفاظت از آب شامل اصلاح سیاست‌ها و مقررات مربوط به آب باشد. تحلیل این اقدامات نشان می‌دهد که دولت و نهادهای مربوطه، جدی به مسئله مدیریت پایدار آب زیرزمینی می‌پردازند و تلاش می‌کنند تا با اجرای برنامه‌های مدیریتی مناسب، فرسایش زمین و کاهش منابع آب زیرزمینی را به حداقل برسانند. این اقدامات نشان از توجه و تعهد به حفظ منابع آب زیرزمینی برای نسل‌های آینده دارند و نشان از پیشرفت در حوزه محیط زیست و مدیریت منابع آب دارند (California Governor's Office of Emergency Services, 2018).

۱-۳- مدیریت آب

حال که آشنایی بیش‌تر با سیستم آب‌های سطحی و زیرزمینی و بازیافتی کالیفرنیا پیدا شد، بهتر آن است که به ترندهای حکمرانی آب برای برطرف کردن مشکلات آبی ناشی از خشکسالی این ایالت پرداخته شود، واضح است که یکی از مهم‌ترین این فعالیت‌ها

Table 2- Institutions involved in water management in the United States (U.S. Legislative Analyst's Office)
جدول ۲- نهادهای دخیل در مدیریت آب ایالات متحده (Legislative Analyst's Office)

	Responsibilities		
	Water Supply	Water Quality	Flood Control
State Agencies			
Department of Water Resources	X		X
State Water Resources Control Board	X	X	
California Public Utilities Commission	X	X	
Colorado River Board	X		
Delta Stewardship Council	X	X	X
Department of Pesticide Regulation		X	
Department of Toxic Substances Control		X	
Department of Conservation		X	
Office of Environmental Health Hazard Assessment		X	
Federal Agencies			
Bureau of Reclamation	X		X
Army Corps of Engineers	X		X
Environmental Protection Agency		X	
Geological Survey	X	X	
Other Entities			
Cities and counties	X	X	X
Special districts	X	X	X
Tribal governments	X	X	X
Private water companies	X		

آب شیرین زیرزمینی وجود دارد لذا بخشی از سهم آب شیرین سالانه در قالب رفع نیازهای زیست محیطی و برای پمپاژ به سفره‌های زیرزمینی نزدیک ساحل برای جلوگیری از پیش‌روی آب شور دریا به سمت سفره‌های آب شیرین زیرزمینی صرف می‌شود و بخش دیگر نیازهای زیست محیطی برای حفظ حیات وحش و غیره استفاده می‌شود. بخش عمده بعدی به مصرف کشاورزی می‌رسد و باقی آب به تأمین نیاز آب شهری اختصاص می‌یابد، اما نکته قابل توجه این است که در فصول خشک سال این تخصیص‌ها تغییر می‌کند و ثابت نمی‌ماند، به سبب اینکه بخش زیادی از درآمد مردم این ایالت از کشاورزی است و کالیفرنیا بخش عمده محصولات کشاورزی ایالات متحده را تأمین می‌کند، به صورت بسیار بهینه از نیازهای زیست محیطی به نحوی که به آن آسیبی وارد نشود کاهش یافته و به بخش کشاورزی اختصاص می‌یابد که بخش کشاورزی نیز آسیب نبیند و نیاز شهری نیز ثابت در هر دو فصل در نظر گرفته شده است که این مهم نشان از فرهنگ‌سازی برای صرفه‌جویی چه در فصول تر و چه در فصول خشک است (Lilly & Ohman, 2021).

آب شیرین زیرزمینی وجود دارد لذا بخشی از سهم آب شیرین سالانه در قالب رفع نیازهای زیست محیطی و برای پمپاژ به سفره‌های زیرزمینی نزدیک ساحل برای جلوگیری از پیش‌روی آب شور دریا به سمت سفره‌های آب شیرین زیرزمینی صرف می‌شود و بخش دیگر نیازهای زیست محیطی برای حفظ حیات وحش و غیره استفاده می‌شود. بخش عمده بعدی به مصرف کشاورزی می‌رسد و باقی آب به تأمین نیاز آب شهری اختصاص می‌یابد، اما نکته قابل توجه این است که در فصول خشک سال این تخصیص‌ها تغییر می‌کند و ثابت نمی‌ماند، به سبب اینکه بخش زیادی از درآمد مردم این ایالت از کشاورزی است و کالیفرنیا بخش عمده محصولات کشاورزی ایالات متحده را تأمین می‌کند، به صورت بسیار بهینه از نیازهای زیست محیطی به نحوی که به آن آسیبی وارد نشود کاهش یافته و به بخش کشاورزی اختصاص می‌یابد که بخش کشاورزی نیز آسیب نبیند و نیاز شهری نیز ثابت در هر دو فصل در نظر گرفته شده است که این مهم نشان از فرهنگ‌سازی برای صرفه‌جویی چه در فصول تر و چه در فصول خشک است (Lilly & Ohman, 2021).

آب شیرین زیرزمینی وجود دارد لذا بخشی از سهم آب شیرین سالانه در قالب رفع نیازهای زیست محیطی و برای پمپاژ به سفره‌های زیرزمینی نزدیک ساحل برای جلوگیری از پیش‌روی آب شور دریا به سمت سفره‌های آب شیرین زیرزمینی صرف می‌شود و بخش دیگر نیازهای زیست محیطی برای حفظ حیات وحش و غیره استفاده می‌شود. بخش عمده بعدی به مصرف کشاورزی می‌رسد و باقی آب به تأمین نیاز آب شهری اختصاص می‌یابد، اما نکته قابل توجه این است که در فصول خشک سال این تخصیص‌ها تغییر می‌کند و ثابت نمی‌ماند، به سبب اینکه بخش زیادی از درآمد مردم این ایالت از کشاورزی است و کالیفرنیا بخش عمده محصولات کشاورزی ایالات متحده را تأمین می‌کند، به صورت بسیار بهینه از نیازهای زیست محیطی به نحوی که به آن آسیبی وارد نشود کاهش یافته و به بخش کشاورزی اختصاص می‌یابد که بخش کشاورزی نیز آسیب نبیند و نیاز شهری نیز ثابت در هر دو فصل در نظر گرفته شده است که این مهم نشان از فرهنگ‌سازی برای صرفه‌جویی چه در فصول تر و چه در فصول خشک است (Lilly & Ohman, 2021).

مصرف آب در کالیفرنیا به تقریباً ۵۰ درصد برای مصارف زیست محیطی، ۴۰ درصد مصارف کشاورزی و ۱۰ درصد مصارف شهری تقسیم می‌شود، اگرچه این میزان به طور قابل توجهی بین مناطق و

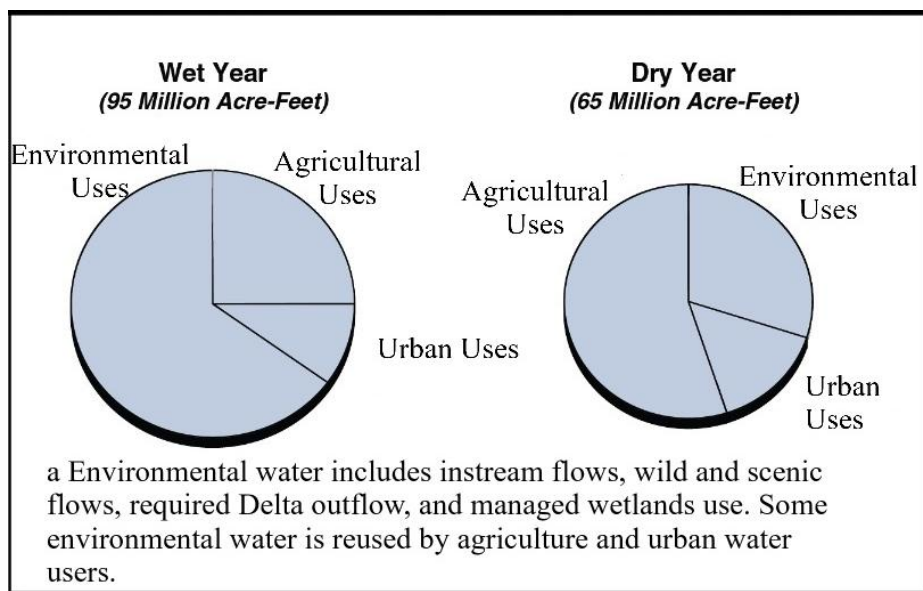


Fig. 7- Changes in water consumption and allocation from wet to dry years in California (U.S. Legislative Analyst's Office) (October 2008)

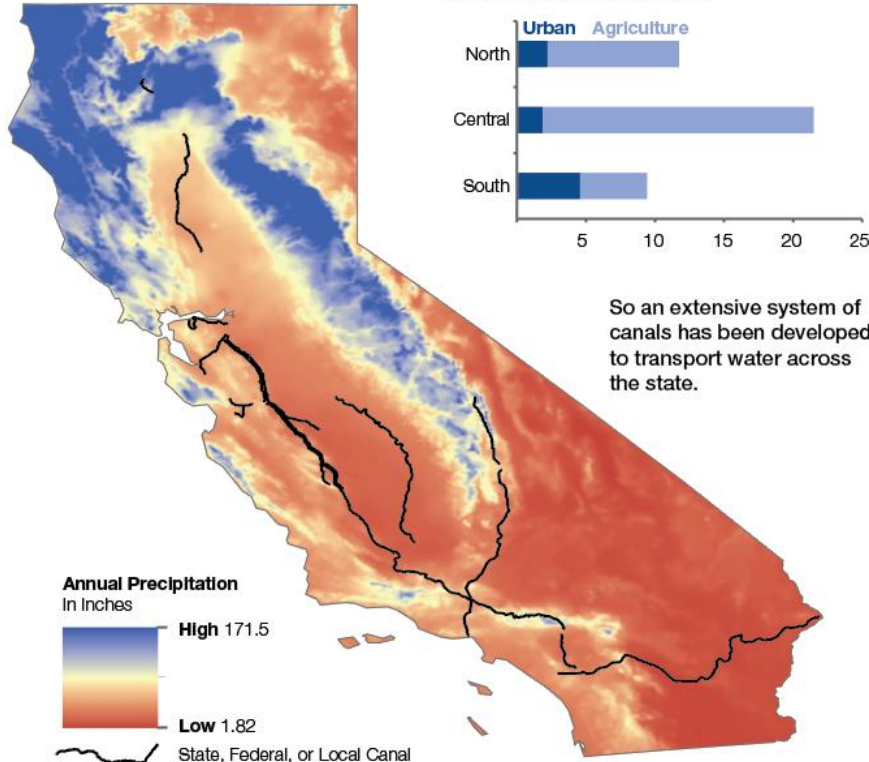
شکل ۷- تغییر مصرف و اختصاص آب از سال‌های مرطوب به خشک در کالیفرنیا (Legislative Analyst's Office) (October 2008)

Water Supply Versus Demand

Most Precipitation Falls in Northern California

But Much of People's Water Use Occurs in Southern and Central California

Water Use In Millions of Acre Feet



So an extensive system of canals has been developed to transport water across the state.

Map created by California Department of Water Resources using PRISM (prism.oregonstate.edu).

Fig. 8- Water supply versus water demand in the state of California (U.S. Legislative Analyst's Office) (December 2021)

شکل ۸- عرضه آب در مقابل تقاضای آب در ایالت کالیفرنیا (Legislative Analyst's Office) (December 2021)

مخازن ذخیره‌سازی آب ایالت کالیفرنیا یکی از عوامل مهم در تأمین آب کشاورزی، صنعتی و شهری این ایالت هستند. با توجه به شرایط کمبود آب در بسیاری از مناطق کالیفرنیا، ایجاد مخازن ذخیره‌سازی آب از اهمیت بسزایی برخوردار است. این مخازن ذخیره‌سازی آب می‌توانند به عنوان منابع اصلی آب برای مصارف مختلف مورد استفاده قرار گیرند و همچنین می‌توانند به عنوان ذخیره‌سازی آب برای زمان‌های خشکی و کمبود آب مورد استفاده قرار گیرند (Lund et al., 2010). این می‌توانند شامل سدها، تانکرها، مخازن زیرزمینی و سایر سازه‌های ذخیره‌سازی آب باشند. سدها به عنوان یکی از اصلی‌ترین مخازن ذخیره‌سازی آب در کالیفرنیا شناخته می‌شوند و در سال‌های اخیر نیز توسعه سدها و افزایش ظرفیت آنها از اهمیت بسزایی برخوردار است (Hanak, 2011).

در شکل ۹ بخش‌هایی که آب از آنها انتقال یافته است با رنگ سفید و بخش‌هایی که آب به آنها انتقال پیدا کرده با رنگ آبی کم‌رنگ مشخص شده است. همچنین، کانال‌ها با خط چین و رودخانه‌ها و دلتاها با خط آبی مشخص شده است. این مهم نشان‌دهنده آن است که علاوه بر کانال‌های دست‌ساز رودخانه‌ها و دلتای‌ها و خلیج‌های طبیعی و یا حتی مصنوعی نیز به تأمین آب در راستای حکمرانی آب ایالت کالیفرنیا برای مقابله با بحران آب این ایالت کمک کننده هستند. شکل ۱۰ نقشه‌ای جامع و کامل از تأمین و ذخیره آب در کالیفرنیا را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده جنبه دیگر حکمرانی آب و همچنین نظریه بازی‌ها، یعنی مکان‌یابی و تأسیس مخازن مناسب و تخصیص آب به درستی برای حل تعارضات منابع آبی برای جمع‌آوری آب انتقال یافته شده و یا آب بارش است (Moghaddam et al., 2023).

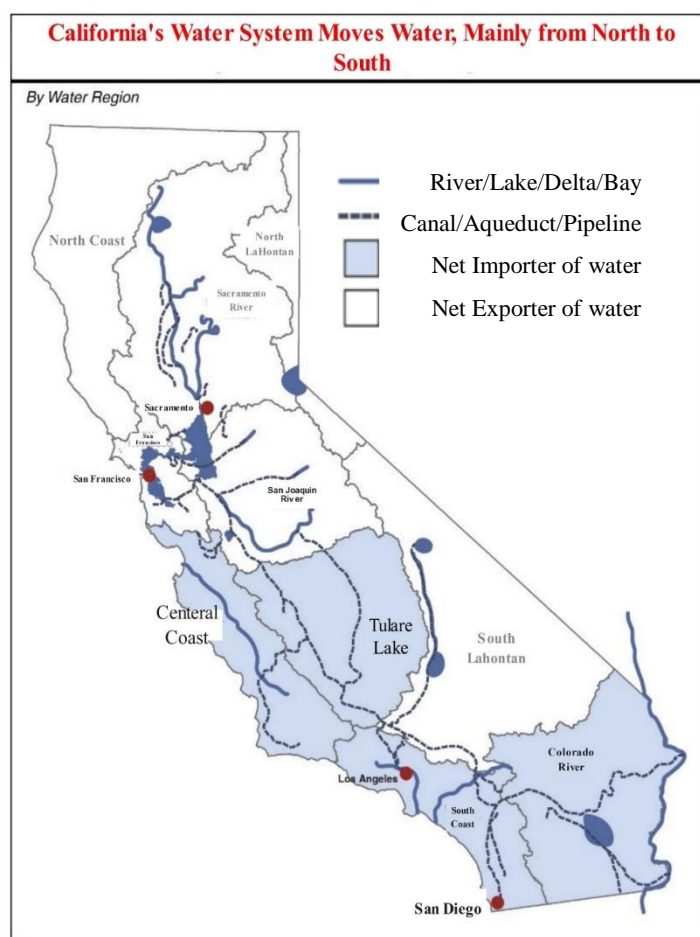


Fig. 9- Transfer of water from northern California to the south by the water system of the state of California (U.S. Legislative Analyst's Office) (October 2020)

شکل ۹- انتقال آب از شمال کالیفرنیا به جنوب توسط سیستم آب ایالت کالیفرنیا (Legislative Analyst's Office) (October 2020)

پیشگیری از آسیب‌های وارده به کشورهای دیگر ناشی از استفاده از منابع آب مرزی انجام دهند؛ ۳. اصل عدم وارد کردن آسیب قابل توجه، بیان می‌کند که کشورها نباید از طریق استفاده از منابع آب، آسیب قابل توجهی به کشورهای دیگر وارد کنند؛ ۴. اصل احترام و انجام تعهدات مربوط به آب، اهمیت رعایت توافقات قبلی و بازنگری قراردادها به طوری که شرایط تغییر یافته را مورد تأکید قرار می‌دهد و در نظر گرفتن سایر اصول عدالتی را توصیه می‌کند و ۵. اصل عدالت بین‌نسلی، بر این امر تأکید دارد که استفاده حاضر از منابع آب باید به نیازهای نسل‌های آینده توجه کند و آب را به‌عنوان یک کالای اجتماعی می‌شناسد و پیامدهای اخلاقی پایداری و تأثیرات تغییرات آب و هوایی بر نسل‌های آینده را در نظر می‌گیرد.

همچنین، در شکل ۱۱ به توزیع، نسبت به کل ظرفیت آبی که برای استفاده قراردادی در اختیار سیستم توزیع آب مرکزی (CVP)^{۱۸} قرار دارد بین گروه‌های ذی‌نفع مختلف اشاره دارد. به عبارت دیگر، این عبارت به نسبت‌هایی از مجموع ظرفیت آبی که برای استفاده قراردادی در اختیار سیستم توزیع آب مرکزی (CVP) قرار دارد که بین گروه‌های کاربری مختلف تقسیم می‌شود اشاره دارد.

از دیدگاه قانون‌گذاران این ایالت حکمرانی آب برای توزیع عادلانه آب باید بر ۵ اصل استوار باشد:

۱. اصل استفاده عادلانه و معقول از منابع آب، بر اهمیت استفاده منصفانه و عادلانه از منابع آب با توجه به نیازهای تمام ذینفعان، از جمله نسل‌های حاضر و آینده تأکید می‌کند؛ ۲. اصل پیشگیری از آسیب‌های مرزی، ایجاب می‌کند که کشورها اقداماتی را برای

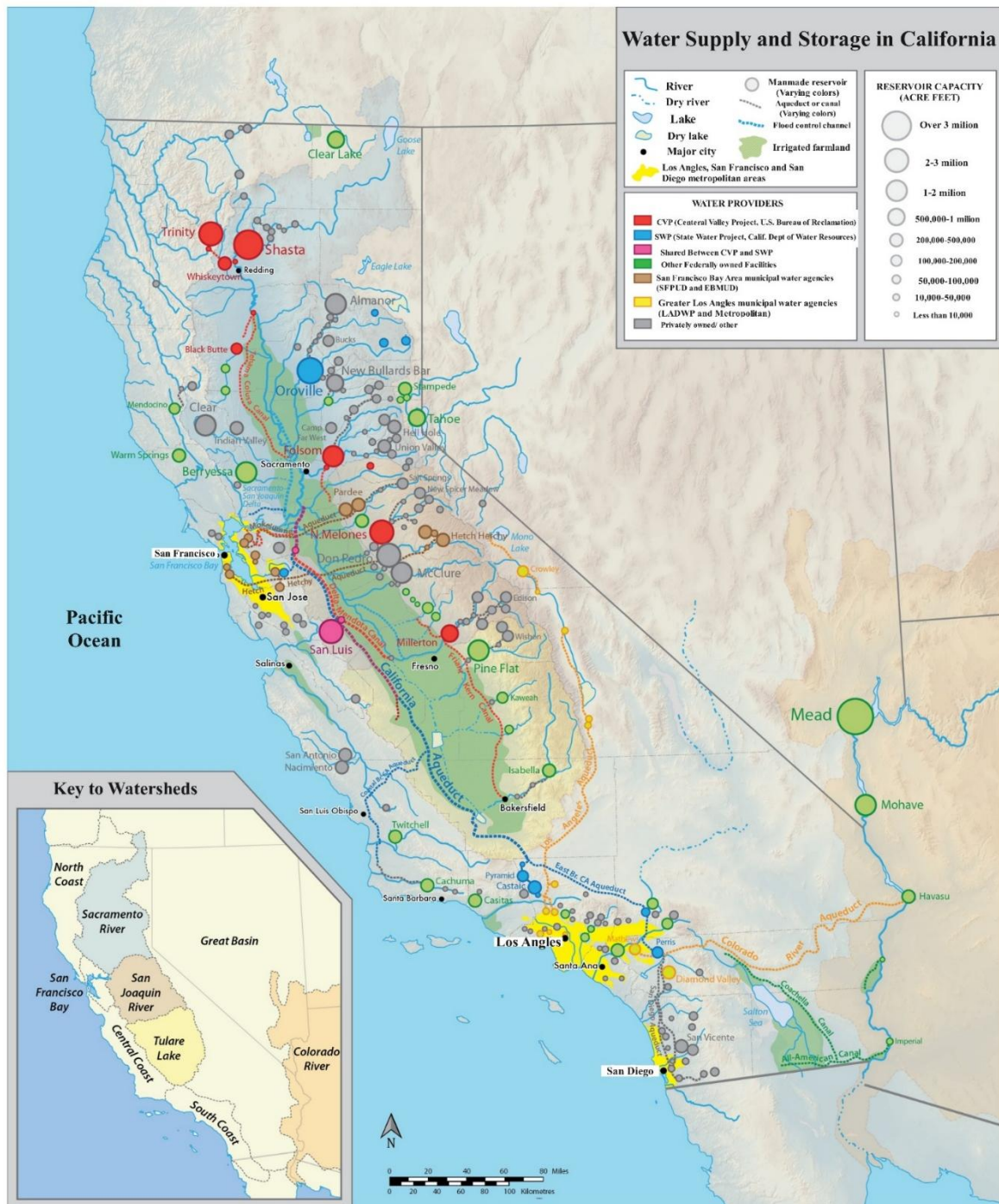


Fig. 10- Map of water storage and delivery facilities, as well as rivers and major cities in the state of California; Central Valley Project systems are in red and State Water Project systems are in blue (April 2016)

شکل ۱۰ - نقشه امکانات ذخیره‌سازی و تحویل آب و همچنین رودخانه‌ها و شهرهای بزرگ در ایالت کالیفرنیا، سیستم‌های پروژه دره مرکزی به رنگ قرمز و پروژه آب دولتی به رنگ آبی هستند (April 2016)

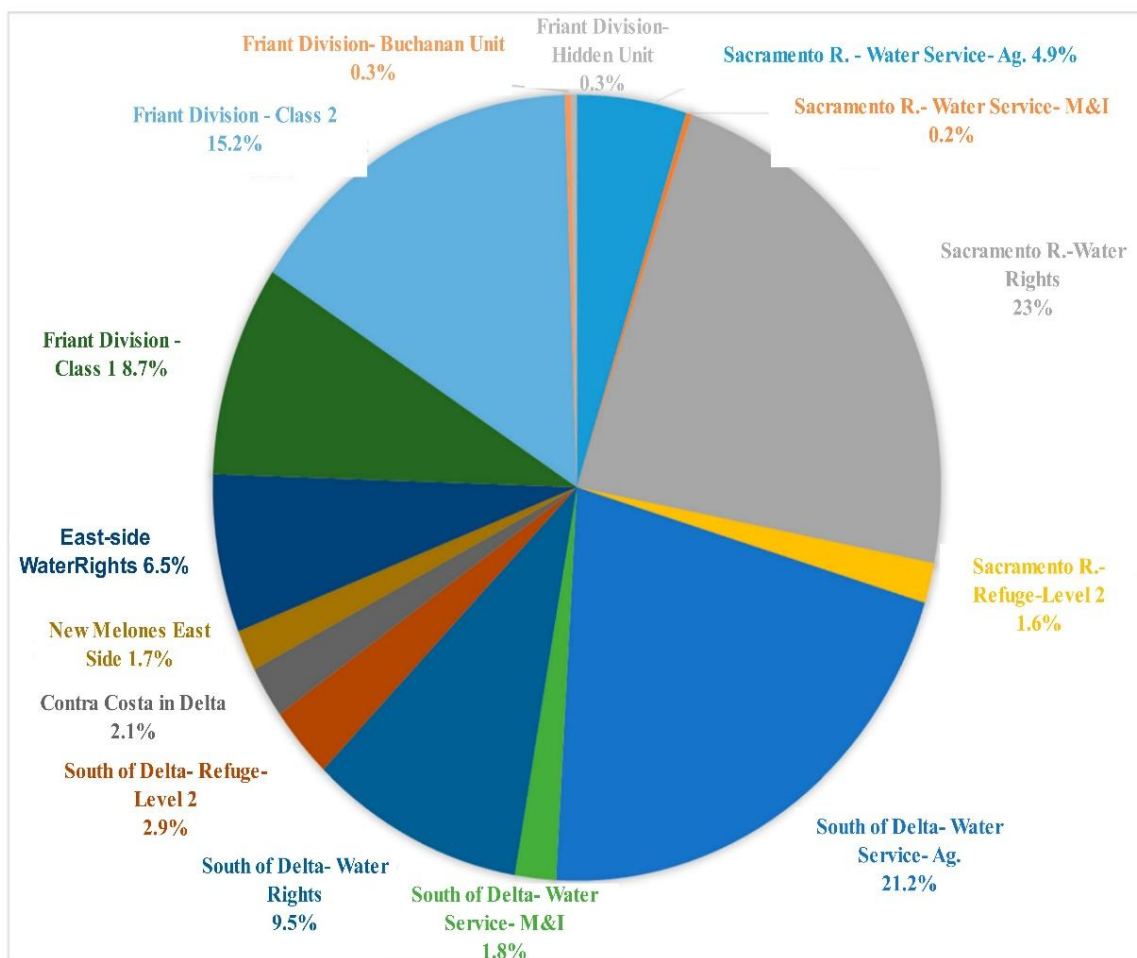


Fig. 11- The proportional distribution of 9.5 MAF CVP from the total maximum contracted water supplies among different user groups. Percentages derived from data reported by the U.S. Bureau of Reclamation for 2016 (U.S. Bureau of Reclamation, Central Valley Project)

شکل ۱۱- توزیع متناسب ۹/۵ ماف CVP از کل حداکثر منابع آب قراردادی در میان گروه‌های کاربری مختلف. درصد‌های به دست آمده از داده‌های گزارش شده توسط اداره احیای ایالات متحده برای سال ۲۰۱۶

سان خاکین و اطراف آن از طریق یک سری کانال‌ها، قنات‌ها و نیروگاه‌های پمپ، که برخی از آنها با پروژه آب ایالتی کالیفرنیا (SWP)^{۲۰} مشترک بود باعث رنگ باختن تقریبی بحران آبی این ایالت شد. پروژه دره مرکزی، حدود ۱۶ کیلومتر مکعب آب را در ۲۰ مخزن در دامنه‌های سیرا نوادا، کوه‌های کلامات و رشته کوه‌های ساحلی کالیفرنیا ذخیره می‌کند و سالانه حدود ۹/۱ کیلومتر مکعب آب از خود عبور می‌دهد. از طریق کانال‌های آن از آب منتقل شده، حدود ۶/۲ کیلومتر مکعب، برای آبیاری ۱،۲۰۰،۰۰۰ هکتار از زمین‌های کشاورزی، ۰/۷۴ کیلومتر مکعب برای مصارف شهری مصرف می‌شود و ۹۹ کیلومتر مکعب آب به رودخانه‌ها و تالاب‌ها به منظور مطابقت با استانداردهای زیست محیطی ایالتی و فدرال رها می‌شود (Chung & Helweg, 1985).

عامل دیگر در مدیریت آب از مبحث حکمرانی آب، احداث مخازن متعدد برای جمع‌آوری حداکثر آب‌های ورودی به حوضه از طریق بارش است که همزمان برای جلوگیری از سیلاب بسیار مهم هستند. پروژه دره مرکزی ایالت کالیفرنیا از دیگر پروژه‌ها در راستای احقاق حکمرانی آب و ذخیره حداکثری آب برای نیازهایی از جمله شرب، کشاورزی و صنعت و حتی تولید انرژی است. پروژه دره مرکزی (CVP) یک پروژه فدرال برق و مدیریت آب در ایالت کالیفرنیا تحت نظارت اداره احیای ایالات متحده (USBR)^{۱۹} است. این سیستم در سال ۱۹۳۳ به منظور تأمین آبیاری و آب شهری تحت عنوان پروژه دره مرکزی در دره مرکزی کالیفرنیا ابداع شد، با تنظیم و ذخیره آب در مخازن در نیمه شمالی ایالت (که زمانی غنی از آب بود اما در اکثر سال‌ها بیش از نیمی از آن از شرایط کم آبی رنج می‌برد) و انتقال آن به دره فقیر از آب



Fig. 12- Map of integrated regional water management plans of California (2013)

شکل ۱۲ - نقشه برنامه‌های مدیریت آب منطقه‌ای یکپارچه کالیفرنیا (۲۰۱۳)

خود را دارند. اما مطالعات نشان می‌دهد که مخازن زیرزمینی آب نسبت به سدها بسیار مؤثرتر و بهره‌ورتر هستند (Moghaddam, 2023). در ادامه به بررسی مزایای مخازن زیرزمینی آب نسبت به سدها پرداخته خواهد شد. یکی از مزایای اصلی مخازن زیرزمینی آب نسبت به سدها، صرفه جویی در فضا است. زیرزمین‌ها نیاز به فضای زیادی ندارند و این به معنای این است که می‌توان آبهای زیادی را درون آنها ذخیره کرد. از طرفی، برای احداث یک سد نیاز به فضای بسیار بزرگی است که این امر ممکن است منجر به تخریب مناطق زیست بومی و اختلال در بوم‌سازگان آن‌ها شود. در ادامه، مخازن زیرزمینی آب نسبت به سدها دارای عمر طولانی‌تر و پایداری بیشتری هستند. بر اساس تحقیقات انجام شده، مخازن زیرزمینی آب تا چندین دهه می‌توانند آب را ذخیره

اما امروزه ساخت سد به عنوان یک مخزن ذخیره آب زیاد مناسب به نظر نمی‌رسد باتوجه به هزینه بالای احداث آن و آسیب‌های محیط زیستی که ساخت سد به منطقه و آثار باستانی و زیست‌گاه موجودات زنده و انسان‌ها وارد می‌سازد و حتی موجب تغییرات آب و هوایی منطقه بالادست و پایین دست می‌گردد، لذا بهتر است امروزه از مخازن زیرزمینی برای ذخیره آب بهره‌بیریم همان‌کاری که ژاپنی‌ها آن را به اجرا رساندند؛ زیرا هم زمین کم‌تری از دست خواهد رفت و هم فرسایش کم‌تری را شاهد خواهیم بود و از همه مهم‌تر هدر رفت آب بسیار بسیار کاهش یافته و چه بسا کیفیت آب نیز سالم‌تر شود به سبب عدم تماس آب با محیط آلوده بیرون. مخازن زیرزمینی آب و سدها دو روش اصلی برای ذخیره‌سازی آب هستند که هر کدام مزایا و معایب

کرده و از آن استفاده کنند، در حالی که سدها ممکن است به دلیل عوامل مختلفی مانند فرسایش و ترسیب رسوبات، در طول زمان خراب شده و نیاز به تعمیرات مکرر داشته باشند. همچنین، مخازن زیرزمینی آب نسبت به سدها دارای ضریب تبخیر کمتری هستند که منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب و انرژی می‌شود. در واقع، آبهای ذخیره شده در زیرزمین تحت تأثیر حرارت خورشید و باد کمتری قرار می‌گیرند و از این رو تبخیر آنها کمتر است. در نهایت، بر اساس مطالعات انجام شده، مخازن زیرزمینی آب نسبت به سدها به عنوان یک روش ذخیره‌سازی آب موثرتر و پایدارتر شناخته شده‌اند. این روش همچنین از نظر محیط زیست نیز بسیار مطلوب‌تر است و به حفظ منابع طبیعی کمک می‌کند. مخازن زیرزمینی آب به عنوان یک روش مؤثر برای ذخیره‌سازی آب شناخته شده‌اند. این مخازن معمولاً در لایه‌های زیرزمینی که شامل سنگ‌ها و خاک است قرار دارند و می‌توانند حجم زیادی از آب را ذخیره کنند. این مخازن از طریق چاه‌های چاه نگاری دسترسی پیدا می‌کنند و آب را تأمین می‌کنند.

مزایای مخازن زیرزمینی آب نسبت به سدها عبارتند از:

۱. صرفه‌جویی در فضا: مخازن زیرزمینی نیاز به فضای زیادی ندارند و این به معنای این است که می‌توان آبهای زیادی را درون آنها ذخیره کرد، در حالی که سدها نیاز به فضای بزرگی دارند؛ ۲. عمر طولانی‌تر و پایدارتر: مخازن زیرزمینی آب تا چندین دهه می‌توانند آب را ذخیره کرده و از آن استفاده کنند، در حالی که سدها ممکن است به دلیل عوامل مختلفی مانند فرسایش و ترسیب رسوبات، در طول زمان خراب شوند؛ ۳. ضریب تبخیر کمتر: مخازن زیرزمینی آب دارای ضریب تبخیر کمتری هستند که منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب و انرژی می‌شود و ۴. محیط زیست: مخازن زیرزمینی آب از نظر محیط زیست مطلوب‌تر هستند و به حفظ منابع طبیعی کمک می‌کنند. به طور کلی، مخازن زیرزمینی آب به عنوان یک روش پایدار و مؤثر برای ذخیره‌سازی آب مورد توجه قرار گرفته‌اند و مزایا و موارد اشاره شده بالا نشان می‌دهد که این روش نسبت به سدها برتری دارد (Stern, 2019).

برای مثال ژاپن یکی از کشورهایی است که با مشکلات جدی در زمینه منابع آبی مواجه است. بخش زیادی از زمین‌های این کشور کوهستانی و ناهموار است که باعث مشکلاتی مانند سیلاب، خسارات زمین‌لغزش و کمبود آب شده است. به دلیل این مشکلات، استفاده از مخازن جمع‌آوری و ذخیره‌سازی آب زیرزمینی در ژاپن اهمیت زیادی پیدا کرده است. مخازن جمع‌آوری و ذخیره‌سازی آب زیرزمینی در ژاپن به منظور مدیریت منابع آبی و کنترل سیلاب‌ها بسیار مؤثر است. این مخازن باعث کاهش خطرات سیلاب و کنترل جریان آب در زمان‌های باران

زیاد می‌شوند. همچنین، ذخیره‌سازی آب زیرزمینی می‌تواند به عنوان یک منبع آبی مطمئن و پایدار برای مصرف کشاورزی، صنعتی و شرب در مناطق مختلف کشور استفاده شود. به عنوان مثال، مخازن زیرزمینی مانند چاه‌ها و تونل‌های زیرزمینی برای جمع‌آوری و ذخیره‌سازی آب استفاده می‌شوند. این سیستم‌ها به صورت محلی و منطقه‌ای در مناطق مختلف ژاپن احداث می‌شوند و به مدیریت منابع آبی و کنترل سیلاب‌ها کمک می‌کنند. با این حال، باید توجه داشت که مخازن جمع‌آوری و ذخیره‌سازی آب زیرزمینی نیازمند مدیریت دقیق و پایدار هستند تا از بهره‌وری و پایداری منابع آبی مرتبط با آنها اطمینان حاصل شود. این مخزن عظیم زیرزمینی در شهر توکیو واقعاً یکی از بناهای بسیار جالب و منحصر به فرد است. این نوع سیستم‌های ذخیره‌سازی آب باران، همچنین به عنوان "مخازن زیرزمینی" شناخته می‌شوند و برای مدیریت منابع آب و کنترل سیلاب‌ها بسیار مفید هستند. مخازن زیرزمینی می‌توانند به عنوان یک راهکار مؤثر برای جلوگیری از سیلاب‌ها و افزایش منابع آب در مناطق شهری استفاده شوند. این مخازن می‌توانند آب باران را جمع‌آوری کرده و سپس از آن برای آبیاری، سیستم‌های سرمایش یا حتی به عنوان آب آشامیدنی استفاده کنند. این مخزن ۲۲ متر زیر سطح زمین ساخته شده است و با پهنای ۷۸ متری، طول ۱۷۷ متری و عمق ۲۵ متری رکورد بزرگ‌ترین مخزن آب جهان را در اختیار دارد. در این مخزن ستون‌های عظیمی با وزن ۵۰۰ تن مسئولیت نگهداری سقف را بر عهده دارند. استفاده از ستون‌های عظیمی با وزن ۵۰۰ تن برای نگهداری سقف نشان از اهمیت و اعتماد به این ساختمان بزرگ دارد. این نوع سازه‌ها نیازمند مهندسی دقیق و مواد ساختمانی با کیفیت بالا هستند تا بتوانند بارهای زیرزمینی و فشارهای آب را به خوبی تحمل کنند. بسیار جالب است که این مخزن زیرزمینی در توکیو به عنوان بزرگ‌ترین مخزن آب جهان شناخته شده است. این نشان می‌دهد که توانایی مهندسان ژاپن در طراحی و ساخت سازه‌های زیرزمینی بسیار بزرگ و پیچیده بسیار قابل توجه است.

همان‌طور که در شکل قابل مشاهده است، زیر قسمت ورودی مخزن مثلی با طول ساق‌های ۶۰ متر، ۸۰ متر و ۱۰۰ متر دیده می‌شود که این اعداد از ضرایب اعداد مثلث طلایی هندسه یعنی ۳، ۴، ۵ هستند و برای این موضوع تعبیه شده‌اند که اگر آب از دهانه ورودی با قدرت و شدت وارد شد توانایی تحمل وزن آب وجود داشته باشد، لازم به ذکر است می‌توان ورودی‌های مخزن را در مسیل‌ها و محل عبور رواناب‌های ناشی از بارندگی برای کنترل سیلاب و با لوله‌کشی به داخل خیابان‌های شهری متصل کرد تا آب اضافی از باران موجب سیل در مراکز و شهرها نشود از طرفی برای ذخیره آب این مخازن به شدت مناسب هستند.

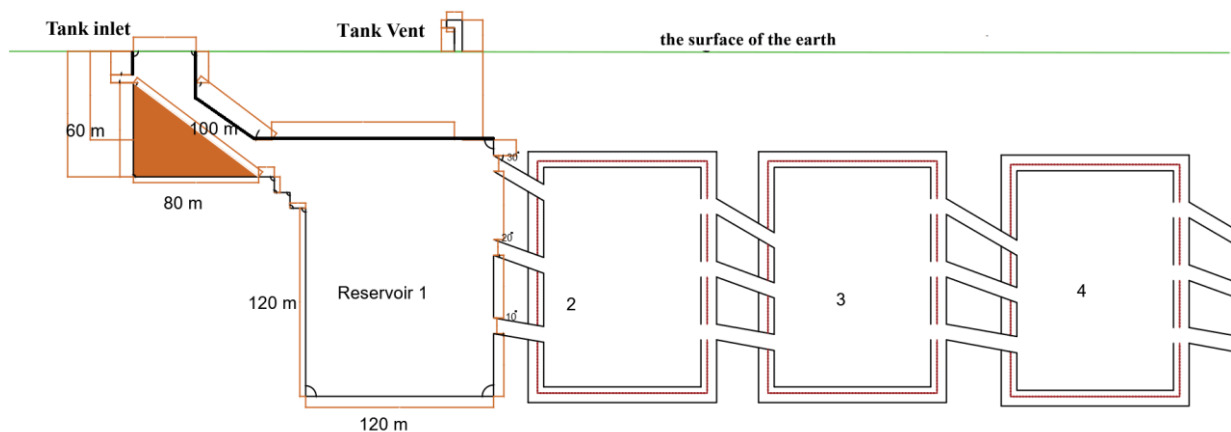


Fig. 13- Schematic of the reservoir proposed by the authors of the article to collect and store surface water
شکل ۱۳- شماتیک مخزن پیشنهادی نویسندگان مقاله برای جمع‌آوری و ذخیره آب‌های سطحی

هوا در آن سال ۱ درجه سانتیگراد بالاتر از سطح قبل از صنعتی شدن است. IPCC هشدار می‌دهد که انتشارات انسانی باید کاهش یابد تا تغییرات آب و هوا و اثرات آن محدود شود (United States Environmental Protection Agency, 2016). در کالیفرنیا، آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده (EPA) ^۳ پیش‌بینی می‌کند که تا سال ۲۱۰۰ سطح دریا بین ۱ تا ۴ متر افزایش یابد، شرایط آب و هوایی شدیدتر، و تغییرات بارندگی به دلیل تغییرات آب و هوایی بر منابع آبی این ایالت تأثیر خواهد گذاشت. علاوه بر این، این تأثیرات سیستم‌ها و سیاست‌های مدیریت آب دولت را نیز تغییر خواهد داد. به گفته مؤسسه سیاست عمومی کالیفرنیا، تعداد افراد و ارزش اموال در مناطق مستعد سیل در ایالت از جمله ساکرامنتو در حال افزایش است که به این معنی است که خطر اقتصادی و تهدید امنیت عمومی در حال افزایش است. این واقعیت با شکست سد اوروویل در سال ۲۰۱۷ نشان داده شده است که در آن ۱۸۰۰۰۰ نفر اضطراری تخلیه شدند و نزدیک به ۵۰۰ میلیون دلار خسارت وارد شد (Pathak, 2018).

تغییر اقلیم همچنین می‌تواند موجب آسیب به سلامتی انسان‌ها شود، آسیب‌هایی از جمله: ۱. افزایش حوادث طبیعی: گرم شدن آب و هوا می‌تواند باعث افزایش حوادث طبیعی مانند سیل، خشکسالی، طوفان‌ها و حریق‌های جنگلی شود که منجر به آسیب‌های جسمی و روانی برای انسان‌ها می‌شود؛ ۲. بیماری‌های انتقالی: گرم شدن آب و هوا می‌تواند باعث افزایش شیوع بیماری‌های انتقالی مانند مالاریا، دیسانتری، زیکا و بیماری‌های تنفسی شود که منجر به مرگ و میر و بیماری‌های خطرناک می‌شود؛ ۳. افزایش آلودگی هوا: گرم شدن آب و هوا می‌تواند باعث افزایش آلودگی هوا و افزایش احتمال بروز بیماری‌های تنفسی مانند آسم و بیماری‌های قلبی عروقی شود؛

ابعاد این مخزن پیشنهادی ۱۲۰ متر در ۱۲۰ متر در ۱۲۰ متر است و هر مخزن حجمی معادل یک میلیون و هفتصد و بیست و هشت هزار مترمکعب دارد، این یعنی اگر شهری به مانند شکل ۴ مخزن زیرزمینی با همین ابعاد داشته باشد می‌تواند در حدود هفت میلیون مترمکعب آب را ذخیره‌سازد و از بروز سیلاب نیز جلوگیری نماید. همچنین، هر مخزن از سه دریچه بهره می‌برد که در هنگام پر شدن ابتدا دریچه‌های پایینی و سپس دریچه بالایی باز خواهند شد. لازم به ذکر است که درخصوص نحوه بهره‌برداری و بهینه‌سازی آن باید با متخصصان این حیطه مشورت و تبادل نظر شود. درست است که مخازن زیرزمینی به مانند سدها نمی‌توانند دارای دریچه پشت سد باشند تا میزان ذخیره افزایش پیدا کند اما در عوض آسیب کم‌تری به محیط زیست وارد می‌کنند و همچنین این مقاله مزایای بیش‌تر این مخازن را قبلاً بررسی نموده است.

۲- تأثیر تغییر اقلیم

۱-۲- مشکلات

سوزاندن سوخت‌های فسیلی که از زمان انقلاب صنعتی با سرعت بی‌سابقه‌ای رخ داده است، غلظت گازهای گلخانه‌ای به ویژه دی‌اکسید کربن و متان را در جو افزایش داده است. در سال ۲۰۱۸، غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر ۴۰۷ قسمت در میلیون (ppm) بود و تخمین زده شده بود که انتشار گازهای گلخانه‌ای ۰/۶ درصد در هر دهه رشد خواهد کرد (Friedlingstein et al., 2019). افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو باعث شده است که دمای سطح جهانی زمین نیز افزایش یابد، پدیده‌ای که به نام تغییر اقلیم شناخته می‌شود. در سال ۲۰۱۸، هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC) ^۳ تخمین زد که میانگین دمای جهانی ۰/۲ درجه سانتیگراد در هر دهه افزایش می‌یابد و آب و

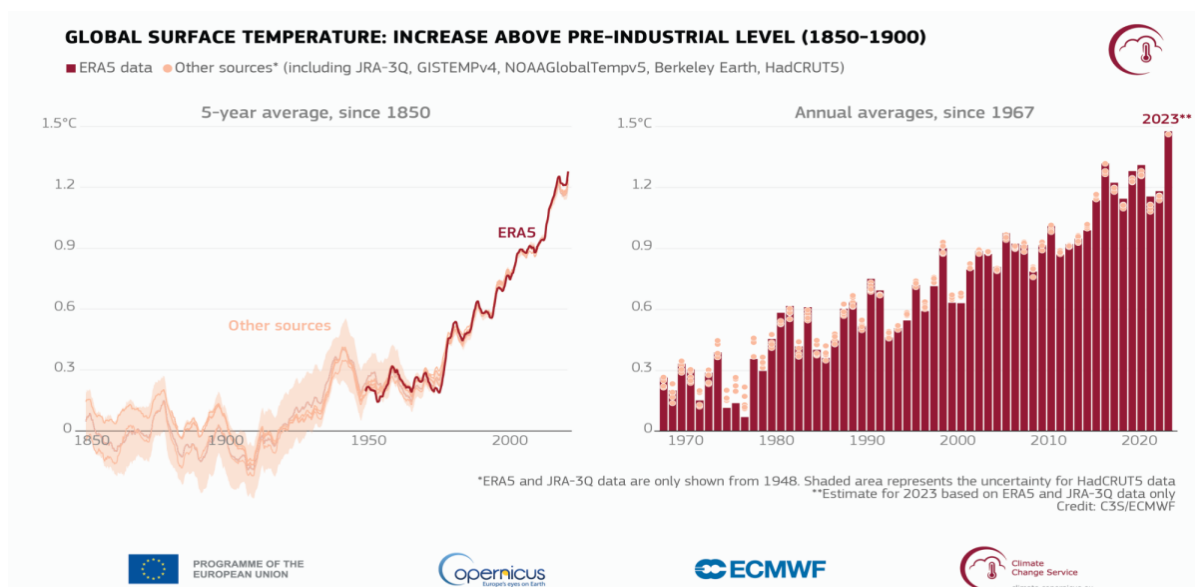


Fig. 14- Average surface temperature anomalies (degrees Celsius) from 1970 to 2018 showing a rapid increase in recent decades, with the last decade being the warmest on record

شکل ۱۴ - میانگین ناهنجاری‌های دمای سطح (درجه سانتیگراد) از ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۳ که افزایش سریعی را در چند دهه اخیر نشان می‌دهد، با دهه اخیر که گرم‌ترین دهه ثبت شده است

انتظار می‌رود این پدیده باعث ایجاد سیلاب‌های ساحلی و مصب شود که هم از نظر آب دارای پیامدهای اقتصادی، زیست محیطی و سیاسی خواهد بود. در واقع، دانشمندان دپارتمان منابع آب کالیفرنیا بر این باورند که افزایش سطح دریا باعث نفوذ بیشتر آب نمک به دلتای ساکرامنتو-سن خواکین، بزرگترین مصب ایالت، قلب سیستم تأمین آب کالیفرنیا و منبع آب برای ۲۵ میلیون کالیفرنایی و میلیون‌ها هکتار زمین کشاورزی. (Precipitation, 2023)^{۲۳} بر اساس گزارش این وزارتخانه، افزایش سطح آب دریاها همچنین خطرات سیل ناشی از طوفان و نفوذ آب شور به سفره‌های زیرزمینی ساحلی را به همراه خواهد داشت.

باتوجه به وجود بالا آمدن سطح آب دریاها و اقیانوس‌ها در اثر گرمایش جهانی و ذوب شدن یخ‌ها، در زیر به تعدادی از راه‌کارهای لازم برای مقابله با این پدیده اشاره شده است. ۱. ایجاد سدها و دیوارهای ساحلی برای محافظت از مناطق ساحلی و شهرها در مواجهه با افزایش سطح دریا؛ ۲. افزایش ارتفاع ساختمان‌ها و سازه‌های ساحلی به منظور جلوگیری از ورود آب درون ساختمان‌ها؛ ۳. ایجاد سیستم‌های آبیگری و زهکشی مناسب برای تخلیه آب دریا در مناطق ساحلی؛ ۴. توسعه سیستم‌های هشداردهنده و اخطاردهنده برای افراد و مراکز مختلف در مواجهه با افزایش سطح دریا و ۵. انتقال زیرساخت‌های انسانی و شهری به مناطق با ارتفاع بالاتر به منظور جلوگیری از آسیب‌های احتمالی افزایش سطح دریا.

۴. افزایش مرگ و میر: گرم شدن آب و هوا می‌تواند باعث افزایش مرگ و میر ناشی از حوادث طبیعی، بیماری‌های انتقالی و بیماری‌های مرتبط با گرمای شدید شود؛ ۵. افزایش استرس حرارتی: گرم شدن آب و هوا می‌تواند باعث افزایش استرس حرارتی و افزایش احتمال بروز بیماری‌های مرتبط با گرمای شدید مانند ضربه‌های حرارتی و بیماری‌های قلبی عروقی شود؛ ۶. تغییرات در تغذیه: گرم شدن آب و هوا می‌تواند باعث تغییرات در تولید محصولات کشاورزی و کمبود منابع غذایی شود که منجر به کمبود تغذیه و بروز بیماری‌های مرتبط با تغذیه ناصحیح می‌شود و ۷. افزایش مشکلات روانی: گرم شدن آب و هوا می‌تواند باعث افزایش مشکلات روانی مانند افسردگی، اضطراب و استرس شود که منجر به افزایش مشکلات سلامت روانی و افزایش احتمال خودکشی می‌شود (Kalansky et al., 2018; Hansen, 2020).

اگرچه اقیانوس‌های زمین از آخرین عصر یخبندان در حدود ۱۸۰۰۰ سال پیش در نتیجه ذوب یخ‌های دریا و خشکی بالا می‌آیند، انتظار می‌رود تغییر اقلیم سرعت افزایش سطح جهانی آب‌ها را تسریع کند. بر اساس چهارمین ارزیابی تغییر اقلیم کالیفرنیا، که در سال ۲۰۱۸ منتشر شد، اگر انتشار گازهای گلخانه‌ای با نرخ فعلی ادامه یابد، تغییرات آب و هوایی تا سال ۲۱۰۰ باعث افزایش ۵۴ اینچی سطح دریا خواهد شد (Wilhere, 2018).

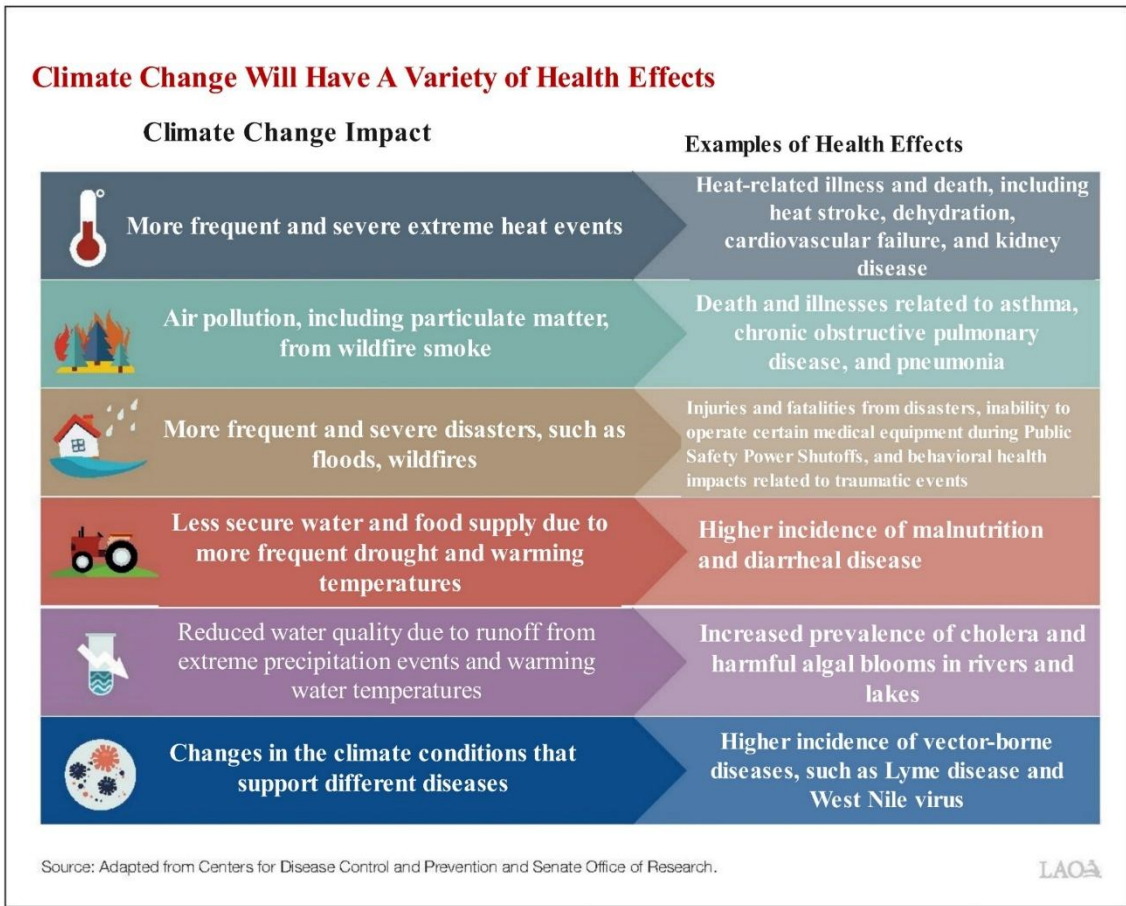


Fig. 15- Climate change and its various effects on human health (U.S. Legislative Analyst's Office) (December 2021)

شکل ۱۵- تغییرات آب و هوا و اثرات گوناگون آن بر سلامتی انسان‌ها (Legislative Analyst's Office) (December 2021)

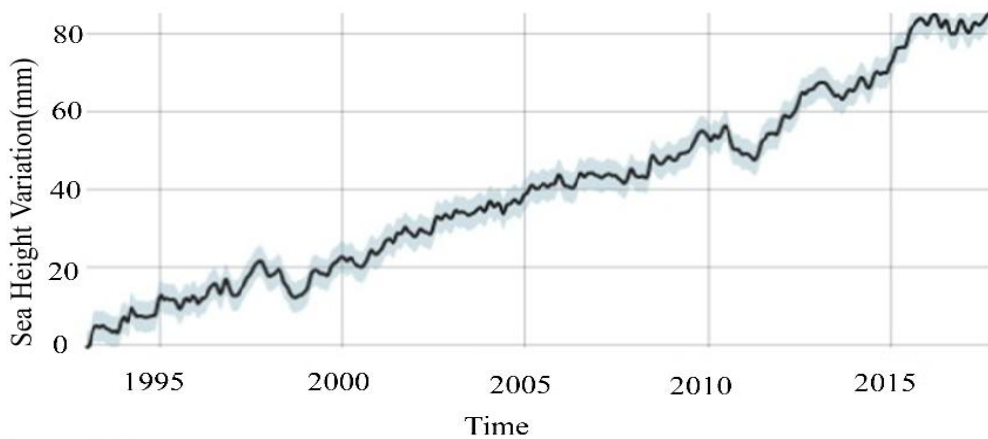
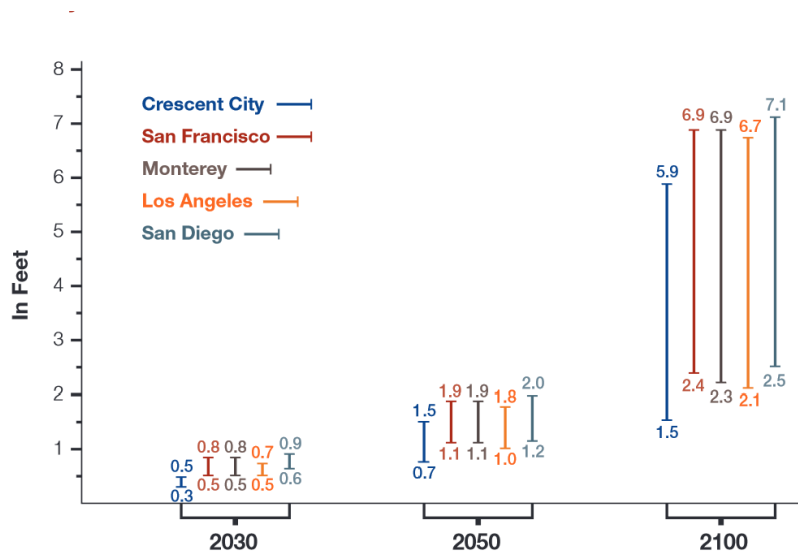


Fig. 16- Sea level rise (mm) from 1980 to 2018, which shows a constant increase over time (NASA)²⁴
 شکل ۱۶- افزایش سطح دریا (میلی‌متر) از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۸ که در طول زمان افزایش ثابتی را نشان می‌دهد (NASA)



^a Estimates represent the range between "likely" scenarios with a 66 percent chance of occurring and scenarios with a 1-in-200 chance of occurring. Range does not include estimates associated with "extreme" scenarios incorporating the effects of potential ice loss from the West Antarctic Ice Sheet, which are significantly higher.

From the *State of California Sea-Level Rise Guidance Document* published by the California Natural Resources Agency and the California Ocean Protection Council.

Fig. 17- The range of ocean level rise predictions for the coast of California (December 2021)
شکل ۱۷ - محدوده پیش‌بینی‌های افزایش سطح اقیانوس‌ها برای سواحل کالیفرنیا (December 2021)

۳- مشکلات سیاسی ناشی از کمبود آب در ایالت کالیفرنیا

ایالت کالیفرنیا با مشکلات جدی کمبود آب مواجه است که به عنوان یکی از اولویت‌های اصلی مدیریتی و سیاسی این منطقه مطرح شده است. این مشکلات آبی نه تنها بر زیرساخت‌ها و اقتصاد ایالت تأثیر می‌گذارد، بلکه به چالش‌های سیاسی نیز منجر شده و تأثیرات عمیقی در سیاست‌های عمومی این منطقه داشته است. در این بخش، به بررسی مشکلات سیاسی ناشی از کمبود آب در ایالت کالیفرنیا پرداخته می‌شود. از جمله این مشکلات سیاسی می‌توان تعدادی را به صورت منتخب نام برد: ۱. رقابت بین استفاده‌کنندگان: کمبود منابع آب منجر به رقابت شدید بین مختلف استفاده‌کنندگان از آب شده است، از جمله کشاورزان، شهرها، صنایع و محیط زیست. این رقابت‌ها منجر به تنش‌ها و اختلافات سیاسی بین گروه‌های مختلف شده است؛ ۲. سیاست‌های تقسیم آب: تصمیم‌گیری درباره تقسیم منابع آب بین مناطق مختلف و گروه‌های مختلف اجتماعی و اقتصادی نیز از مشکلات سیاسی اصلی در این زمینه است. تصمیم‌گیری‌های سیاسی در این زمینه می‌تواند منجر به تنش‌ها و اختلافات بین گروه‌ها شود و ۳. نقش دولت مرکزی و محلی: تعیین نقش و صلاحیت‌های دولت مرکزی و دولت‌های محلی در مدیریت منابع آب و تصمیم‌گیری‌های مربوط به آن نیز از مسائل سیاسی مهم در این زمینه است (Tzanakakis, 2020; Davis, 2001).

تغییر اقلیم همچنین باعث ایجاد شرایط آب و هوایی شدیدتر در این ایالت می‌شود. به طور کلی، آب و هوای کالیفرنیا با گذشت زمان خشک‌تر و گرم‌تر می‌شود (Pathak, 2018). با توجه به سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده، دمای سطح اتمسفر بالاتر و آب‌های اقیانوس گرم‌تر، سوختی برای طوفان‌های قوی‌تر، مانند طوفان‌ها یا بادهای موسمی، ایجاد می‌کند و می‌تواند منجر به سرعت بیشتر باد در طول طوفان شود (Murphy, 2020). این اثر طبق ارزیابی ملی آب و هوا باعث خشکسالی‌های مکرر و شدید و همچنین رویدادهای بارش شدید می‌شود که می‌تواند باعث سیل شود (Garfin, 2017). در واقع، این اثرات در حال حاضر مشهود است. به عنوان مثال، خشکسالی ۲۰۱۲-۲۰۱۶ شدیدترین خشکسالی‌ای بود که ایالت تا به حال دیده است، و طبق برنامه کاهش خطر ایالت کالیفرنیا، خشکسالی شایع‌ترین منبع فاجعه در کالیفرنیا در سال ۲۰۱۶ بود. علاوه بر این، اداره نظارت منابع آب کالیفرنیا نشان می‌دهد که خشکسالی از زمان انقلاب صنعتی شدیدتر شده است. در واقع، خشکسالی ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۶ شدیدترین خشکسالی بود که این ایالت تا به حال دیده است (U.S. Drought Monitor, 2023). در عین حال، سیل‌ها نیز در طول زمان بدتر شده‌اند و با ادامه افزایش دماهای جوی شدیدتر خواهند شد.

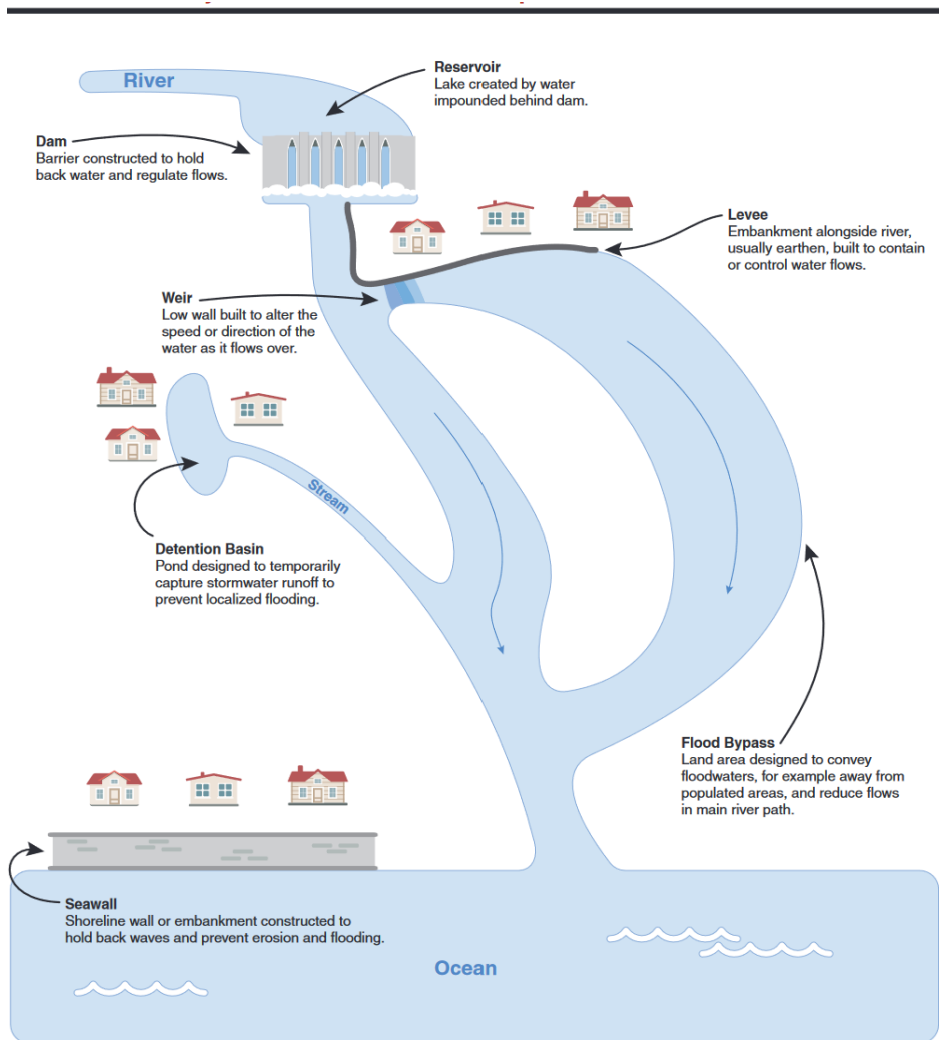


Fig. 18- Schematic of the key components of flood infrastructure (March 2017)
شکل ۱۸- شماتیکی از اجزای کلیدی زیرساخت سیل (March 2017)

ایجاد مکانیسم‌های تصمیم‌گیری مشترک: ایجاد مکانیسم‌هایی برای تصمیم‌گیری مشترک بین مختلف استفاده‌کنندگان آب، از جمله کشاورزان، شهرها و صنایع، می‌تواند به کاهش تنش‌ها و اختلافات سیاسی مرتبط با تقسیم منابع آب کمک کند و ۳. ترویج همکاری و تعامل: ترویج همکاری و تعامل بین مختلف نهادها و گروه‌های اجتماعی و اقتصادی می‌تواند به حل مشکلات سیاسی ناشی از کمبود آب کمک کند. ایجاد فضاهایی برای گفتگو و توافق بین مختلف استفاده‌کنندگان آب از این دست اقدامات است (Whaley, 2022; Sukhwai, 1987).

۴- راهکارهای حکمرانی آب برای رفع مشکلات سیاسی ناشی از کمبود آب در ایالت کالیفرنیا

برای رفع مشکلات سیاسی ناشی از کمبود آب در ایالت کالیفرنیا، نیاز به استفاده از راهکارهای حکمرانی آب مناسب و کارآمد است. این راهکارها باید به‌طور هماهنگ و شفاف از طریق همکاری بین دولت محلی، دولت مرکزی، جوامع محلی و سایر نهادهای مرتبط اجرا شوند (Bain, 2021).

و اما راهکارهای حکمرانی آب: ۱. توسعه برنامه‌های مدیریت آب: توسعه برنامه‌های مدیریت آب شامل تعیین و تنظیم حقوق بهره‌برداری از منابع آب، تقسیم منابع آب بین مختلف استفاده‌کنندگان و تعیین استانداردهای مدیریتی برای حفظ و بهره‌برداری بهینه از آب است؛ ۲.

۵- نتیجه گیری

پی نوشتها

- 1- California
- 2- Sacramento
- 3- Environmental
- 4- Agricultural
- 5- Urban
- 6- California Department of Water Resources, 2017
- 7- Sacramento River
- 8- San Joaquin River
- 9- Tulare Lake
- 10- Sierra Nevada Snowpack
- 11- Central Valley
- 12- Alexander of Aprodia
- 13- Francis Bacon
- 14- WHO (World Health Organization)
- 15- Sustainable Groundwater Management Act
- 16- Groundwater Sustainability Agencies
- 17- Groundwater Sustainability Plans
- 18- Central Valley Project
- 19- USBR: U.S. Bureau of Reclamation
- 20- State Water Project
- 21- Intergovernmental Panel on Climate Change
- 22- Environmental Protection Agency
- 23- Name of a Report from California Office of Environmental Health Hazard Assessment
- 24- National Aeronautics and Space Administration

در این مقاله، به بررسی راه کارهای اصلی برای حکمرانی آب در ایالت کالیفرنیا پرداختیم. با توجه به شرایط دشوار آبی در این منطقه، نیاز به اقدامات جدی برای مدیریت منابع آب احساس می شود. از جمله راه کارهای اصلی می توان به بهبود سیستم های آبیاری، ترویج کاربردهای جدید فناوری های مدیریت آب، افزایش همکاری بین دولت، صنعت و جامعه محلی، و تشویق به استفاده از منابع آب معادل و حتی سرمایه گذاری برای فرهنگ سازی مناسب به منظور صرفه جویی آب اشاره کرد. حکمرانی آب شامل تمام اقداماتی می شود که برای بهتر شدن مقابله با بحران های آبی می توان از آن ها استفاده کرد، حال می تواند اقدامات پیشگیرانه باشد و یا اقدامات مدیریتی و سازه های برای بهتر شدن سیستم و آمادگی آن برای بحران های احتمالی آینده. در این تحقیق ابتدا با بررسی اطلاعات و داده های دمای هوای این ایالت و سپس با بررسی امکانات و اقدامات آن ها به دید جامع و کاملی از راه کارهای ممکنه برای حکمرانی آب و به طور کلی مدیریت مسایل آب دست پیدا کردیم و در نهایت اثر تغییر اقلیم که اثری تعیین کننده و دگرگون ساز در تمامی مسایل منابع آب است را برای این ایالت و اقدامات پیشگیرانه آن ها برای حداقل کردن اثر آن را بررسی کردیم. امید است که این راه کارها بهبود چشمگیری در مدیریت آب در کالیفرنیا و در پی آن با الگوبرداری از این مقاله برای تمام بخش های کشور ایران به همراه داشته باشد و به حفظ منابع آب مناطق مستعد بحران آبی کمک کنند.

۶- پیشنهادات

پیشنهاد می شود تحقیق های تکمیلی در این حیطه به بررسی راه کارهای حاکمیت آب در منطقه ای از کشورهای خاورمیانه که با مشکلات تغییر اقلیم دست و پنجه نرم می کنند، باشد.

۷- مراجع

- Bain H M, Steenburgh R A, Onsager T G, & Stitely E M (2021) A summary of National Oceanic and Atmospheric Administration Space Weather Prediction Center proton event forecast performance and skill. *Space Weather Journal* 19(7)
- Carle D (2015) *Introduction to water in California*. University of California Press
- Chung I & Helweg O (1985) Modeling the California state water project. *Journal of Water Resources Planning and Management* 111(1):82-97
- Cooley H, Gleick P H, & Wolff G H (2006) Desalination, with a grain of salt: a California perspective. Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security
- Davis S K (2001) The politics of water scarcity in the western states. *The Social Science Journal* 38(4):527-542
- Dobbin K B & Lubell M (2021) Collaborative governance and environmental justice: Disadvantaged community representation in California sustainable groundwater management. *Policy Studies Journal* 49(2):562-590
- Esfahani I J, Rashidi J, Ifaei P, & Yoo C (2016) Efficient thermal desalination technologies with renewable energy systems: A state-of-the-art review. *Korean Journal of Chemical Engineering* 33:351-387
- Friedlingstein P, O'sullivan M, Jones M W, Andrew R M, Bakker D C, Hauck J, ... & Zheng B (2023) Global carbon budget 2023. *Earth System Science Data* 15(12):5301-5369
- Garcia Y (2023) Precipitation: Climate-change report. oehha.ca.gov, February 11, 2019, Retrieved March 11, 2023
- Garfin G, Jardine A, Merideth R, Black M, & LeRoy S (Eds.) (2013) *Assessment of climate change in the southwest United States* University of Arizona. A Report Prepared for the National Climate Assessment
- Grimaldo L F, Smith W E, & Nobriga M L (2021) Re-examining factors that affect delta smelt (*Hypomesus transpacificus*) entrainment at the State Water Project and Central Valley Project in the Sacramento-San Joaquin Delta. *San Francisco Estuary and Watershed Science* 19(1)
- Hanak E (2011) *Managing California's water: From conflict to reconciliation*. The Public Policy Institute of California
- Hansen G, Jiang E, & Yan J (2020) *Analysis of climate change and water access on the production of leading agricultural commodities in California*. CA, 36p
- Hundley N (2001) *The great thirst: Californians and water—A history*. University of California Press
- Ibrahim A G, Rashad A M, & Dincer I (2017) Exergoeconomic analysis for cost optimization of a solar distillation system. *Solar Energy* 151:22-32
- Jenkins M W, Lund J R, Howitt R E, Draper A J, Msangi S M, Tanaka S K, ... & Marques G F (2004) Optimization of California's water supply system: Results and insights. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 130(4):271-280
- Jones E, Qadir M V, Vliet M T, Smakhtin V, & Kang S M (2019) The state of desalination and brine production: A global outlook. *Science of the Total Environment* 657:1343-1356
- Kajtaniak D & Easterbrook N (2019) *California Department of Fish and Wildlife*. CA, 32p
- Kalansky J, Cayan D, Barba K, Walsh L, Brouwer K, & Boudreau D (2018) *California's fourth climate change assessment*. CA, 115p
- Karlman S (2022) Why water use varies so widely across California? *New York Times*. Half of California's annual water usage is considered environmental water, meaning it flows through protected rivers or supports wetlands in wildland preserves, according to the Public Policy Institute of California. The other 50 percent is for human use — 40 percent for agriculture and 10 percent for urban use, split between indoor (drinking water, showers) and outdoor (lawns, washing cars). *The New York Times*, 129p
- Lilly LE & Ohman M D (2021) Euphausiid spatial displacements and habitat shifts in the southern California Current System in response to El Niño variability. *Progress in Oceanography* 193:102544
- Lund J, Hanak E, Fleenor W, Bennett W, & Howitt R (2010) *Comparing futures for the Sacramento, San Joaquin delta*. Univ of California Press (Vol. 3)
- Miller C S & Hyslop R S (1983) *California, the geography of diversity*. Mayfield Publishing Company
- Moghadam N, Moghadam Y (2023) Effects of dam construction on soil layer movement and earthquake generation, focusing on the Atatürk Dam in Southeastern Turkey. *Proceedings of the Second National Water Quality Management Conference and the Fourth National Water Consumption Management Conference with a Focus on Reducing Waste and Recycling, Tehran (In Persian)*

- Moghaddam N, Bakhshandegan M F, Moghaddam Y (2023) Evaluation of salt water desalination methods [Review]. The third International Conference on New Researches and Achievements in Science, Engineering and New Technologies in Berlin
- Mount J, Hanak, E., & Peterson, C. (2023). Water use in California: California measures water use across three main sectors. Total urban water use has plateaued, even as the population has grown. Public Policy Institute of California. Retrieved September 1, 2024
- Murphy J C (2020) Changing suspended sediment in United States rivers and streams: Linking sediment trends to changes in land use/cover, hydrology and climate. *Journal of Hydrology and Earth System Sciences* 24(2):991-1010
- Nair M & Kumar D (2013) Water desalination and challenges: The Middle East perspective: A review. *Desalination and Water Treatment* 51(10-12):2030-2040
- Pathak T B, Maskey M L, Dahlberg J A, Kearns F, Bali K M, & Zaccaria D (2018) Climate change trends and impacts on California agriculture: A detailed review. *Journal of Agronomy* 8(3):25
- Puddephatt K J, McCarthy L H, & Serre B M (2022) Assessing the potential chronic, sublethal and lethal ecotoxicity of land-applying biosolids on *Folsomia candida* and *Lumbricus terrestris*. *Ecotoxicology* 31(10):1520-1535
- Sarhan R & Harris J (2023) 2022 Annual site environmental report for Sandia National Laboratories, Livermore, California (No. SAND2023-08339 O). Sandia National Laboratories (SNL), Albuquerque, NM, and Livermore, CA (United States)
- Shahzad M W, Burhan M, & Ng K C (2017) Pushing desalination recovery to the maximum limit: Membrane and thermal processes integration. *Desalination*, 416, 54-64. Natasha D, Gurpal T. Desalination of Water: A Review. *Journal of Springer* 4:104-111
- California Governor's Office of Emergency Services (2018) State of California Hazard Mitigation Plan. pp. 1-1088
- Stene E A (2016) The Central Valley Project. CA, 22p
- Stern C V & Sheikh P A (2019) Central Valley Project: Issues and Legislation. Congressional Research Service, 45342
- Sukhwil B L (1987) Political and legal implications of water scarcity in Southwestern United States and alternatives of its proper utilization. *GeoJournal* 15:307-315
- Tzanakakis V A, Paranychianakis N V, & Angelakis A N (2020) Water supply and water scarcity. *Water* 12(9):2347
- U.S. Drought Monitor (2023) Drought monitor. National Drought Mitigation Center, <https://droughtmonitor.unl.edu/>
- Whaley L (2022) Water governance research in a messy world: A review. *Water Alternatives* 15(2):218-250
- United States Environmental Protection Agency (2016) What Climate Change Means for California? Retrieved April 13, 2020
- Wilhere G F & Quinn T (2018) How wide is wide enough: Science, values, and law in riparian habitat conservation. *Natural Resources Journal* 58:279