ریاست جمهوری
مرکز همکاری‌های تحول و پیشرفت

# مروری بر روند توسعه مخازن ساحلی در چین




بسم الله الرحمن الرحیم

# پیش‌گفتار

گـزارش حاضر با بهـره‌گیری از تجربه سـال‌ها تلاش و فعالیت مطالعاتی و با بررسـی منابع معتبر و به‌روز انگلیسـی و چینی به‌نگارش درآمده‌اسـت. در ایـن پژوهش پـس از نگاهی مختصر به مبانی نظری و مفهومی مرتبط با مخازن ساحلی، سیر احداث مخازن ساحلی نسل اول شامل مخازن دهانه رودخانـه‌ای و مخـازن خلیجـی در چیـن موردبحـث قـرار می‌گیـرد. پیشینـه تاریخی مهندسـی آب و مخازن در چین و روند توسـعه مخازن سـاحلی پس از تاسیـس جمـهوری خلـق چین از موضوعـات موردبررسـی در بخش دوم گزارش حاضر هسـتند. بخش سـوم گزارش به سیر احداث مخازن سـاحلی نسـل دوم در شـانگهای اختصـاص دارد و مخـازن بائوگانـگ، چِن‌خانـگ، چینگ‌سائوشـا و دونگ‌فنگ‌شی‌شـا بـه‌طور مختصـر معرفـی شـده‌اند. در بخش نهایی گزارش نیز به بازیگران کلیدی در زمینه توسعه مخازن ساحلی نسل دوم در شانگهای پرداخته شده‌است. امید است نتایج این پژوهش مورداستفاده صاحبنظران و علاقه‌مندان محترم قرار گیرد.

**موسسه پویندگان توسعه فناوری و نوآوری ایرانیان**



# مروری بر روند توسعه مخازن ساحلی در چین

# فهرست


**خلاصه مدیریتی** ۸

**مقدمه** ۱۸

**بخش اول**

**مبانی نظری و مفهومی مرتبط با مخازن ساحلی** ۲۷

۱. مقدمه ۲۷

۲. مفهوم‌شناسی و پیشینه تاریخی ۲۸

۳. دسته‌بندی انواع مخازن ساحلی ۳۰

۱.۳. مخازن ساحلی نسل اول ۳۶

۲.۳. مخازن ساحلی نسل دوم ۴۲

**بخش دوم**

**سیر احداث مخازن ساحلی نسل اول در چین** ۴۷

۱. مقدمه ۴۷

۲. پیشینه تاریخی مهندسی آب و مخازن در چین ۴۹

۳. روند توسعه مخازن ساحلی پس از تاسیس جمهوری خلق چین ۵۳

۱.۳. اشکال اولیه مخازن ساحلی نسل اول با عنوان مخازن دهانه رودخانه‌ای ۵۷

۲.۳. اشکال نوین‌تر مخازن ساحلی نسل اول با عنوان مخازن خلیجی ۶۴

## بخش سوم


**سیر احداث مخازن ساحلی نسل دوم در شانگهای** ۷۴

۱. مقدمه ۷۴

۲. مخزن بائوگانگ ۸۰

۳. مخزن ساحلی چِن‌خانگ ۹۲

۴. مخزن چینگ‌سائوشا ۱۰۴

۵. مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا ۱۲۴


## بخش چهارم


**بازیگران کلیدی در زمینه توسعه مخازن ساحلی نسل دوم در شانگهای** ۱۳۸

۱. مقدمه ۱۳۸

۲. نهادهای مدیریتی مخازن شانگهای در سطح عالی ۱۳۹

۳. شرکت‌های فعال در زمینه بهره‌برداری از مخازن ساحلی کلان‌شهر شانگهای ۱۴۱

۴. نهادهای علمی و پژوهشی فعال در مطالعات و توسعه مخازن ساحلی شانگهای ۱۴۳

۱.۴. آزمایشگاه کلیدی ملی تحقیقات مصب و سواحل (دانشگاه نرمال شرق چین) ۱۵۲

۵. بازیگران کلیدی در طراحی مخازن ساحلی شانگهای ۱۵۷

۱.۵. موسسه مطالعات (فنی)، طراحی و تحقیقات شانگهای ۱۵۸

۲.۵. شرکت‌های فعال در فرآیند پیمانکاری مخازن ساحلی شانگهای ۱۶۱


## پیوست


**دکتر یانگ شوچینگ و تاثیر آثار وی در تحولات حوزه مهندسی منابع آب ساحلی** ۱۶۸

**منابع** ۱۷۹



# خلاصه مدیریتی

بحران جهانی کم‌آبی در دهه‌های اخیر به مرحله‌ای رسیده‌است که تهدیدی مستقیم برای امنیت غذایی، سلامت عمومی، توسعه اقتصادی و حتی صلح و ثبات جهانی تلقی می‌شود. طبق ارزیابی‌های سازمان ملل متحد در سال ۲۰۲۳، امروزه حدود دو میلیارد نفر از جمعیت جهان فاقد دسترسی به آب آشامیدنی سالم هستند و جمعیتی بین دو تا سه میلیارد نفر هر سال حداقل یک‌ماه با کمبود آب مواجه می‌شوند. روندهای اقلیمی و جمعیتی نیز نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۵۰ ممکن است حدود سه‌چهارم جمعیت جهان تحت‌تاثیر خشکسالی قرار گیرند. این شرایط، ضرورت بازاندیشی در زیرساخت‌های ذخیره‌سازی و مدیریت منابع آب را در جهان بیش‌ازپیش برجسته کرده‌است. درحالی‌که راهکارهایی همچون سدسازی متعارف، بازیافت پساب، ذخیره آب باران و شیرین‌سازی آب دریا از دیرباز در مدیریت منابع آب به‌کار گرفته شده‌اند، اما محدودیت‌های فنی، اقتصادی و

محیط‌زیستی آن‌ها سبب شده‌است که این روش‌ها برای پاسخ‌دادن به نیازهای روزافزون جمعیت کفایت نکنند. ازسوی‌دیگر، بسیاری از سدهای بزرگ جهان وارد دوره فرسودگی شده و یا این‌که امکان ساخت نمونه‌های جدید (به‌دلیل نبود محل مناسب) بسیار محدود شده‌است. در چنین بستری، احداث مخازن ساحلی به‌عنوان رویکردی نوین، طبیعت‌محور و کارآمد برای مهار روان‌آب‌های منتهی‌به دریا و تبدیل سیلاب‌های نواحی ساحلی به منابع قابل‌مصرف آب شیرین در سطح جهان مطرح شده‌است.

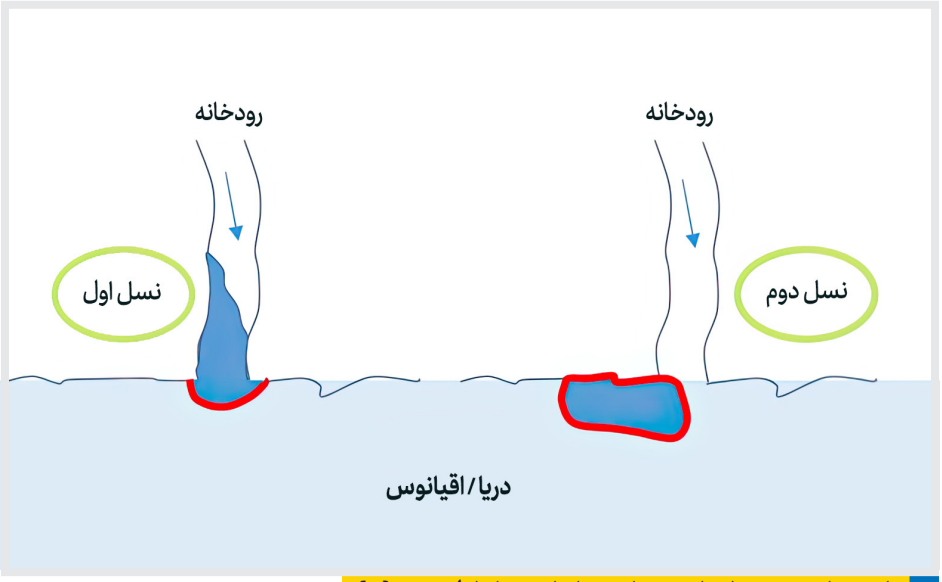
مخازن ساحلی با ایجاد زیرساخت‌های ذخیره‌سازی در مجاورت مصب رودخانه‌ها، این امکان را فراهم می‌کنند که روان‌آب‌ها پیش از تخلیه به دریا جمع‌آوری شوند و برای مصارف شرب و صنعتی مورداستفاده قرار گیرند- بدون آن‌که تغییر قابل‌توجهی در جریان طبیعی رودخانه‌ها ایجاد شود. کشورهایی مانند سنگاپور، چین، کره‌جنوبی، تایوان، استرالیا، هلند و آمریکا اکنون از این فناوری در مقیاس‌های مختلف بهره می‌برند، به‌گونه‌ای‌که می‌توان از آن به‌عنوان یکی از مسیرهای روبه‌رشد در مدیریت آینده منابع آب یاد کرد.

ایران نیز با دارا بودن حدود ۵,۸۰۰ کیلومتر خط ساحلی در شمال و جنوب کشور و تخلیه سالانه میلیاردها مترمکعب روان‌آب باکیفیت به دریا به‌طور بالقوه یکی از مناسب‌ترین بسترها را برای توسعه مخازن ساحلی داراست. بررسی‌های انجام‌شده توسط شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران در سال ۱۳۹۵ نشان می‌دهد که دو حوضه آبخیز خلیج‌فارس- دریای عمان و دریای خزر روی‌هم‌رفته سالانه حدود ۱۲ میلیارد مترمکعب روان‌آب به دریا تخلیه می‌کنند؛ حجمی که در صورت وجود زیرساخت مناسب می‌تواند بخشی از چالش تنش آبی کشور را کاهش دهد. موارد

دیـگری همـچون کمبـود محـل مناسـب بـرای سدسـازی کوهسـتانی در برخـی مناطـق جـنوبی و همچنیـن نیـاز بـه کاهـش هزینـه تامیـن آب، اهمیـت توجـه بـه مخـازن سـاحلی را دوچنـدان می‌کنـد. در سـال هـای اخیـر ایـن فنـاوری مورد توجـه برخـی کارشناسـان و مسـئولان حوزه‌ی آب کـشور قـرار گرفتـه و از سـال ۱۴۰۱ دو طرح آزمایشـی مـخزن سـاحلی در سـواحل مکـران و شرق دریـای خزر تعریـف شده‌اسـت. سـازمان توسـعه منابـع آب و نیروی ایـران یکی‌از متولیـان انجـام مطالعـات مربـوط بـه ایـن دو طرح مـی باشـد. بدیهـی اسـت انتقـال تجربـه از کشورهـای پیـشرو در مسیـر توسـعه ایـن فنـاوری اهمیـت حیاتـی دارد، چـرا کـه پیچیدگی‌هـای فنـی و زیسـت‌محیطی ایـن سـازه‌ها ایجـاب می‌کنـد کـه کـشور در مراحـل آغازیـن توسـعه از ظرفیت‌هـای علمـی و تجربه‌هـای عملـی کشورهـایی بـا کارنامـه موفـق در ایـن حوزه بهره‌منـد شـود. دراین‌میـان، کـشور **چیـن** به‌عنـوان شریـک راهبـردی جمـهوری اسلامـی ایـران در بسیـاری از حوزه‌هـای زیرسـاختی دارای سـابقه‌ای طولانـی در زمینـه مدیریـت روان‌آب‌هـا و طراحـی و سـاخت انـواع مخـازن سـاحلی نسـل اول و دوم اسـت و می‌توانـد یکـی از مهم‌تریـن منابـع دانـش فنـی بـرای ایـران درنظـر گرفته‌شـود.

ازایـن‌رو، در گـزارش حاضـر مروری نظام‌منـد بـر رونـد تاریخـی و فنـی توسـعه مخـازن سـاحلی در کـشور چیـن ارائـه شـده و بـا تمرکـز بـر تجربه‌هـا و پروژه‌هـای شـاخص ایـن کـشور بـه شناسـایی دقیـق بازیگـران اصلـی مشـارکت‌کننده در طراحـی، سـاخت و بهره‌بـرداری ایـن سـازه‌ها در کـشور چیـن پرداختـه شده‌اسـت. ارائـه تـصویری روشـن و کاربـردی جهـت آشـنایی مسـئولان و متخصصـان کـشور بـا ظرفیت‌هـای بالقـوه همـکاری میـان ایـران و چیـن در حوزه طراحـی، اجـرا و بهره‌بـرداری از مخـازن سـاحلی هـدف اصلـی گـزارش حاضـر محسـوب می‌شـود.

به‌طورکلی، مخازن ساحلی را می‌توان براساس معیارهای گوناگون- ازجمله ویژگی‌های ساختاری، محل احداث، هدف کارکردی و موارد دیگر- به گروه‌های متفاوتی تقسیم‌بندی کرد. در گزارش حاضر، مخازن ساحلی به دو گروه مخازن «نسل اول» و «نسل دوم» تقسیم‌بندی شده‌اند.




طرح ساده‌شده جانمایی مخازن ساحلی نسل اول و دوم[۱۰]

به‌طور خلاصه، تفاوت بنیادین میان مخازن ساحلی نسل اول و نسل دوم در «قابلیت انتخاب آب ورودی» است. مخازن نسل اول به‌دلیل محل احداث، نحوه طراحی و محدودیت‌های فناوری توانایی گزینش آب ورودی را ندارند و تمامی آب ورودی از بالادست به‌طور مستقیم وارد این گروه از مخازن می‌شود. درمقابل، مخازن نسل دوم با تکیه بر جایابی هدفمند و فناوری‌های پیشرفته قادرند تنها آن بخشی از آب را که از نظر کیفیت و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی با استانداردهای ازپیش‌تعیین‌شده سازگار است، برداشت کرده و ذخیره کنند.

## ویژگی‌های اصلی مخازن ساحلی نسل اول و دوم

### مخازن ساحلی

| نسل اول | نسل دوم |
|---|---|
| • بند (barrage) به گونه‌ای طراحی شده که تمامی دهانه رودخانه یا خلیج را جهت جداسازی آب شیرین از آب شور مسدود کند.<br>• بند نسبت به جهت جریان آب عمود است.<br>• تمامی آب حوزه آبریز مستقیما جمع‌آوری می‌شود.<br>• این نوع مخازن به‌دلایلی همچون مسدودسازی کامل دهانه رودخانه و خلیج، جمع‌آوری تمامی آلاینده‌ها از حوزه آبریز، نرخ رسوب‌گذاری بالا و غیره با مشکلات مختلف زیست‌محیطی و کیفیت آب دست‌وپنجه نرم می‌کنند.<br>• این نوع مخازن از ابتدایی‌ترین انواع مخازن ساحلی در قرن‌های گذشته تا مخازن خلیجی جدیدتر را دربرمی‌گیرند. | • بند (barrage) به‌طورکامل دهانه رود را مسدود نمی‌کند.<br>• آب ورودی به مخزن انتخاب می‌شود و تمامی آب حوزه آبریز مستقیما جمع‌آوری نمی‌شود.<br>• این نوع مخازن در مقایسه با مخازن سنتی‌تر نسل اول، آثار زیست‌محیطی و مشکلات کیفیت آب کمتری را تجربه می‌کنند.<br>• نمونه‌های نوین مخازن ساحلی هستند. |

**دو نوع دسته‌بندی از مخازن ساحلی نسل اول و دوم که در فصل‌های ۲ و ۳ گزارش حاضر معرفی شده‌اند.**

| مخازن ساحلی نسل اول (بررسی‌شده در فصل دوم گزارش) | | مخازن ساحلی نسل دوم (بررسی‌شده در فصل سوم گزارش) | |
|---|---|---|---|
| مخازن دهانه رودخانه‌ای | مخازن خلیجی | مخازن خط‌ساحلی | مخازن جزیره‌ای |
| ۳ سازه باستانی چین + ۷ سازه معاصر احداث‌شده در سرزمین اصلی چین | ۳ مخزن معاصر احداث‌شده در سرزمین اصلی چین + ۲ مخزن احداث‌شده در هنگ‌کنگ (پیش از الحاق به چین) | ۴ مخزن ساحلی کلان‌شهر شانگهای | |

بیشتر مخازن ساحلی شناخته‌شده در سطح جهان در زمره مخازن ساحلی نسل اول طبقه‌بندی می‌شوند. در چین نیز تقریبا تمامی مخازن ساحلی احداث‌شده در دوره‌های مختلف تاریخی در همین گروه قرار دارند (نمونه‌های این مخازن در فصل دوم این گزارش

به‌صورت تفصیلی معرفی شده‌است). براساس داده‌های موجود، از مجموع ۱۹ مخزن ساحلی شناسایی‌شده در مقالات علمی مرتبط با چین، ۱۵ مورد در دسته مخازن نسل اول قرار می‌گیرند و مجموعه مخازن ساحلی مصب رود یانگ‌تسه در شانگهای تنها موارد استثنائی هستند که در شمار مخازن ساحلی نسل دوم به‌حساب می‌آیند (نمونه‌های این مخازن در فصل سوم گزارش حاضر موردبررسی قرار گرفته‌اند). علاوه‌براین، از میان مجموع این ۱۹ مخزن ساحلی چین، ۶ مخزن طی ۴۵ سال اخیر (از دهه ۱۹۸۰ به بعد) احداث شده‌اند که بخش عمده آن‌ها (چهار مخزن) به نسل دوم مخازن ساحلی تعلق دارند. این امر نشان‌دهنده تمرکز تحولات فناورانه و رویکردهای نوآورانه چین در دوره معاصر بر توسعه مخازن ساحلی نسل جدید به‌ویژه در کلان‌شهر شانگهای است.

در میان تجربه‌های مختلف چین در زمینه احداث مخازن ساحلی، پروژه‌های کلان‌شهر شانگهای نقطه‌عطفی تعیین‌کننده در گذار از نسل اول به نسل دوم به‌شمار می‌آیند. این مخازن نه‌تنها از نظر مقیاس، طراحی و فناوری فاصله‌ای چشمگیر با نمونه‌های پیشین دارند، بلکه رویکردی چندبعدی و راهبردی نسبت به تامین آب شرب در یکی از بزرگ‌ترین و صنعتی‌ترین مناطق چین را نشان می‌دهند. تحلیل فرآیند شکل‌گیری و توسعه مخازن این شهر، تصویری ملموس از الزامات فنی، سازوکارهای اجرایی و چالش‌های عملیاتی مرتبط با پیاده‌سازی مخازن ساحلی نوین-که همان مخازن نسل دوم هستند- ارائه می‌دهد. واقعیت این است که علی‌رغم وجود منابع آب سطحی وافر در شانگهای، این کلان‌شهر طی دهه‌های گذشته با بحران کیفیت پایدار آب روبه‌رو بوده‌است؛ بحرانی که عمدتا ناشی‌از آلودگی رودخانه‌های محلی، فشار ناشی‌از رشد صنعتی و پدیده نفوذ شوری در دهانه رود یانگ‌تسه بود. این چالش‌ها در کنار افزایش مداوم تقاضای شهری، شانگهای را به سمت توسعه راهکارهای نوآورانه در تامین آب شرب سوق داد و ضرورت

ایجاد مخازن ساحلی نسل جدید را به اولویت راهبردی این شهر تبدیل کرد. در پاسخ به این وضعیت، شانگهای طی سه دهه اخیر سه مخزن ساحلی بزرگ به نام‌های چِن‌خانگ، چینگ‌سائوشا و دونگ‌فنگ‌شی‌شا را احداث کرده‌است که اکنون حدود ۷۰ درصد آب شرب موردنیاز شهر را تامین می‌کنند. البته نقطه‌آغاز این مسیر با ساخت مخزن بائوگانگ رقم خورد که ابتدا برای رفع مشکل تامین آب یک پروژه صنعتی شکل گرفت و امروزه نیز آب ذخیره شده در آن بیشتر کاربرد صنعتی دارد، اما به‌تدریج اساس شکل‌گیری نظام جدید تامین آب شهری شانگهای را تشکیل داد.

**مخازن ساحلی تامین آب شرب شانگهای**

| نام مخزن | مساحت (کیلومتر مربع) | ظرفیت کل مخزن (میلیون مترمکعب) | ظرفیت تامین آب روزانه (میلیون مترمکعب در هر روز) | طولانی‌ترین مدت تامین آب (بدون برداشت آب) (واحد: روز) | تاریخ بهره‌برداری |
|---|---|---|---|---|---|
| چِن‌خانگ | ۱,۳۳۶ | ۹,۵ | ۲,۰۶ | ۷ | ژوئن ۱۹۹۲ |
| چینگ‌سائوشا | ۶۶,۱۵ | ۵۲۷ | ۷,۱۹ | ۶۸ | ژوئن ۲۰۱۱ |
| دونگ‌فنگ‌شی‌شا | ۳,۷۴ | ۹,۷۶۲ | ۰,۲۱۵ | ۲۶ | ژانویه ۲۰۱۴ |

بررسی روند تکامل مخازن ساحلی چین در گزارش پیش‌رو نشان می‌دهد که چگونه این کشور طی یک مسیر تاریخی بلندمدت به توسعه پروژه‌های پیچیده و فناورانه در دوره معاصر رسیده‌است. مطالعه موردی چهار مخزن نسل دوم در کلان‌شهر شانگهای- که پیشرفته‌ترین نمونه‌های موجود در چین محسوب می‌شوند- نیز جایگاه متمایز این پروژه‌ها را در مقایسه با نمونه‌های پیشین آشکار ساخته و ظرفیت آن‌ها را برای الگوبرداری فنی و تحلیل امکان همکاری‌های بین‌المللی برجسته می‌کند.

شناسایی نهادها، شرکت‌ها و بازیگران اصلی فعال در زمینه طراحی، اجرا و مدیریت زنجیره توسعه مخازن شانگهای (در مراحل امکان‌سنجی، طراحی مهندسی، اجرای سازه،

پایش کیفی و بهره‌برداری) نشان می‌دهد که توسعه مخازن ساحلی پیشرفته در چین نتیجه هم‌افزایی میان نهادهای دولتی، شرکت‌های مهندسی بزرگ، پیمانکاران تخصصی و مراکز علمی- پژوهشی است. براین‌اساس، در گزارش حاضر با اتکا به مستندات رسمی و منابع قابل‌دسترس سعی شده‌است تصویری منسجم از برخی بازیگران کلیدی مشارکت‌کننده در توسعه چهار مخزن ساحلی شانگهای ارائه شود و بدین‌ترتیب زمینه لازم برای تحلیل‌های تکمیلی درخصوص ظرفیت‌های فنی چین و امکان‌سنجی همکاری‌های آینده فراهم گردد.

**طبقه‌بندی بازیگران دخیل در طراحی، اجرا و بهره‌برداری مخازن ساحلی شانگهای**

| | |
|---|---|
| **نهادهای مدیریتی مخازن ساحلی شانگهای در سطح عالی** | (نظیر اداره آب شانگهای) |
| **نهادهای علمی و پژوهشی فعال در مطالعات و توسعه مخازن ساحلی شانگهای** | (نظیر دانشگاه‌های تونگ‌جی، جیائوتونگ شانگهای، خوخَی، علوم و فناوری شرق چین، نرمال شرق چین و غیره و نیز موسساتی مانند موسسه تحقیقات هیدرولیک نانجینگ و غیره) |
| **نهادها و شرکت‌های کلیدی در طراحی مخازن ساحلی شانگهای** | (نظیر موسسه طراحی و تحقیقات مهندسی آب شانگهای، موسسه مطالعات فنی، طراحی و تحقیقات شانگهای و غیره) |
| **شرکت‌های فعال در فرآیند پیمانکاری مخازن ساحلی شانگهای** | (نظیر شرکت مهندسی راه و پل گروه گِجُوبا چین، شرکت کشتیرانی و لایروبی شانگهای، گروه مهندسی منابع آب شانگهای و غیره) |
| **شرکت‌های فعال در زمینه بهره‌برداری از مخازن ساحلی کلان‌شهر شانگهای** | (نظیر شرکت‌های تامین آب خام در شانگهای و یا شرکت فولاد بائوشَن) |

درنهایت، انتظار می‌رود گزارش حاضر با ترسیم تصویری روشن، منسجم و مبتنی‌بر شواهد از روند تکامل مخازن ساحلی در چین و ظرفیت‌های تخصصی این کشور در توسعه مخازن نسل جدید، زمینه‌ای کارشناسی برای پشتیبانی از تصمیم‌سازی‌های راهبردی جمهوری اسلامی ایران در مدیریت منابع آب- به‌ویژه در مناطق ساحلی- فراهم آورد و به‌عنوان مرجع معتبر اولیه‌ای جهت ارزیابی حوزه‌های بالقوه همکاری‌های آتی میان دو کشور ایران و چین در پروژه‌های مشابه مورداستفاده قرار گیرد.



# مقدمه

بحـران کـم‌آبی یکـی از چالش‌هـای اساسـی و چندبُعدی عصر حاضر اسـت کـه تاثیرات گسترده‌ای بر سایر مسائل جهانی ازجمله فقر، گرسنگی، تخریب زیست‌بوم‌ها، بیابان‌زایی و تغییـرات اقلیمـی دارد و درنهایـت می‌تواند صلـح و امنیت جهانی را تهدید کند. سـازمان ملل متحد در گزارشـی در سـال ۲۰۲۳ هشـدار داده‌است که حدود ۲ میلیارد نفر (معادل ۲۶ درصد جمعیت جهان) به آب آشـامیدنی سـالم دسترسـی ندارند. علاوه‌برآن، هر سال بین ۲ تـا ۳ میلیـارد نفـر حداقـل به مدت یک ماه با کمبود آب مواجه می‌شـوند که این مسـئله تهدیدی جدی برای امنیت غذایی، سلامت عمومی و معیشت مردم به‌شمار می‌رود.

پیش‌بینی‌هـا حاکـی از آن اسـت که بحـران آب در دهه‌های آینده شـدت خواهد گرفت. طبق برآوردها، سه‌چهارم جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ ممکن است تحت‌تاثیر خشکسالی قرار گیرند و جمعیت شهری دچار کمبود آب از ۹۳۰ میلیون نفر در سال ۲۰۱۶ به ۲/۴ میلیارد نفر افزایش یابد [۱].

در پاسخ به این وضعیت تاکنون راهکارهای متعددی ازجمله شیرین‌سازی آب دریا، ذخیره‌سازی آب باران، بازیافت پساب، و احداث سدها و مخازن آب ارائه و اجرا شده‌اند. بااین‌حال، اجماع جهانی بر این است که این روش‌ها به دلیل محدودیت‌های فنی، اقتصادی و محیط‌زیستی و همچنین به‌دلیل رشد روزافزون جمعیت و صنعت به‌تنهایی پاسخگوی نیازهای آبی بشر نخواهندبود [۲]. به‌عنوان‌مثال، اگرچه سدهای بالادست رودخانه‌ها سال‌هاست که بخش مهمی از زیرساخت‌های تامین آب را تشکیل داده‌اند، اما بسیاری از آن‌ها در حال حاضر فرسوده شده‌اند و امکان ساخت سدهای جدید نیز به‌شدت محدود شده‌است، چراکه اغلب مکان‌های مناسب قبلا مورداستفاده قرار گرفته‌اند. درنتیجه، کهنگی زیرساخت‌های ذخیره‌سازی آب به یکی از چالش‌های جدی جهانی تبدیل شده‌است، تاجایی‌که هزاران سد بزرگ که در نیمه قرن بیستم ساخته شده‌اند، هم‌اکنون به‌زودی از مرز ۵۰ سالگی عبور خواهند کرد و بسیاری از آن‌ها هم در آستانه ۱۰۰ سالگی قرار دارند [۳].

دراین‌راستا، راهبرد استفاده از مخازن ساحلی[1] به‌عنوان راه‌حلی نوین برای تامین پایدار آب شیرین موردتوجه جهانیان قرار گرفته‌است. این راهبرد که اثربخشی آن از منظر فنی، محیط‌زیستی و اقتصادی به اثبات رسیده‌است، بر ایجاد مخازن آب شیرین در نواحی دریایی نزدیک به دهانه رودخانه‌ها استوار است. در این سامانه، روان‌آب‌های سطحی که در شرایط معمول به دریا می‌ریزند یا موجب بروز سیلاب می‌شوند، جمع‌آوری و ذخیره می‌شوند تا برای مصرف انسانی دردسترس قرار گیرند [۲]. با استفاده از این روش می‌توان به کاهش خطرات سیلاب در نواحی ساحلی کمک کرد و منابع آب جدید در اختیار جوامع قرار داد. برخلاف سدهای کوهستانی که تنها بخشی از آب حوضه آبریز را مهار می‌کنند،

1. Coastal Reservoir

مخـازن سـاحلی قادرنـد روان‌آب‌ها را از سراسـر حوضـه و در نقطه خروجـی آن ذخیره کنند، بـدون این‌کـه تـغییری در جریـان طبیعی رودخانـه رخ دهـد [۳]. این‌گونه اسـت که مخازن سـاحلی به‌عنـوان یکـی از راهکارهـای طبیعت‌محور، رویکـردی نو در مدیریـت حوضه‌های آبریـز ارائـه می‌دهند کـه در آن، سیلاب نه‌تنها تهدیدی طبیعی، بلکه منبعی ارزشـمند برای تامین آب تلقی می‌شود.

اگرچـه ایـده بهـره‌گیری از مخـازن سـاحلی به‌عنـوان منبـع تامیـن آب شـرب تـا حدودی نوظهور بوده و سـابقه‌ای در حدود پنجاه سـال دارد، اما سـابقه ساخت سازه‌های کنترل و ذخیره آب‌های سیلابی در مناطق سـاحلی- از نمونه‌های باسـتانی چند هزار سـاله گرفته تا نمونه‌های معاصر که از دهه ۱۹۳۰ میلادی به‌صورت جدی آغاز شـده‌اند- قابل‌توجه است[۱]. بااین‌حـال، گسـترش سـازمان‌یافته و سـاخت انبـوه ایـن نوع سـازه‌ها از اواخـر دهـه ۱۹۹۰ میلادی آغاز شد. امروزه کشورهای مختلفی مانند سنگاپور، چین، کره‌جنوبی، کره‌شمالی، تایوان، استرالیا، هلند و ایالات متحده آمریکا پروژه‌های متعددی در زمینه مخازن ساحلی طراحی و اجرا کرده‌اند و هم‌اکنون دارای تعداد قابل‌توجهی از این نوع مخازن هسـتند [۴]. ایـن رویکـرد نشـانگر ظهور شـکلی نویـن از مدیریت مهندسی‌شـده منابـع آب در مناطق سـاحلی اسـت کـه می‌تواند در پاسـخ بـه چالش‌هـای فزاینده کـم‌آبی در قرن بیسـت‌ویکم نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا کند.

باتوجه‌بـه موقعیـت جغرافیـایی ایـران و دسترسـی آن بـه دو پهنـه آبی راهبـردی یعنی دریـای خزر در شـمال و خلیج‌فـارس و دریـای عمـان در جنـوب و برخورداری از حـدود ۵۸۰۰ کیلومتـر خـط سـاحلی می‌تـوان دریافت که ایـن کشور در شـمار کشورهایی قـرار دارد که از ظرفیتی راهبردی برای توسـعه زیرسـاخت‌های ذخیره‌سـازی و مدیریت منابع آب در نواحی

۱. اولیـن مخـازن سـاحلی نویـن در دهـه ۱۹۳۰ میلادی در خلیـج زایدرزی (Zuiderzee) در هلنـد و دریاچـه الکسـاندرینا (Lake Alexandrina) در اسـترالیا سـاخته شـدند.

ساحلی برخوردار است. ایران در صورت بهره‌برداری صحیح از این ظرفیت می‌تواند نقشی موثر در افزایش تاب‌آوری آبی کشور ایفا کند، به‌ویژه در شرایطی که بخش قابل‌توجهی از روان‌آب‌ها بدون استفاده موثر از آن‌ها مستقیما به دریاها سرازیر می‌شود. این ظرفیت بالقوه فرصتی راهبردی برای مقابله با تنش آبی به‌شمار می‌رود و همزمان، زمینه‌ساز ایجاد فرصت‌های اقتصادی و زیرساختی در ۷ استان ساحلی کشور است. در چنین چارچوبی، توسعه مخازن ساحلی می‌تواند نقش مهمی در تامین پایدار آب شرب و صنعتی ایفا کرده و به‌عنوان پیشران توسعه مناطق ساحلی کشور عمل کند [۵، ۶].

درهمین‌راستا، دکتر حسام فولاد فر- یکی از پیشگامان دانشگاهی کشور در حوزه آشنایی با مفهوم مخازن ساحلی- مجموعه‌ای از بررسی‌های ظرفیت‌سنجی بر روی رودخانه‌های منتهی‌به دریاهای شمال و جنوب کشور باهدف شناسایی ظرفیت‌های موجود انجام داده‌اند که مستندات آن در مرکز اسناد شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران موجود است. براساس این مستندات، حوضه آبخیز خلیج‌فارس و دریای عمان با مساحت زهکشی ۴۲۴,۵۱۵ کیلومترمربع به‌طور میانگین دارای بارش سالیانه‌ای بین ۱۳۴ میلی‌متر در چابهار تا ۱,۴۵۷ میلی‌متر در کوهرنگ است. این حوضه سالانه حدود ۴/۵ تا ۶ میلیارد مترمکعب روان‌آب را به خلیج‌فارس و دریای عمان تخلیه می‌کند. در حوضه آبخیز دریای خزر نیز با وسعت زهکشی معادل ۵۸,۲۵۳ کیلومتر مربع و دامنه تغییرپذیری بارندگی از کمینه ۲۶۰/۵ میلی‌متر در بجنورد تا بیشینه ۱,۸۶۳ میلی‌متر در بندر انزلی به‌طور سالیانه حدود ۶/۸ میلیارد مترمکعب روان‌آب به دریای خزر تخلیه می‌شود. بدین‌ترتیب، حجم قابل‌توجهی از آب شیرین و باکیفیت به‌دلیل نبود زیرساخت‌های کافی برای مهار و تنظیم روان‌آب‌ها به‌طور سالانه از دسترس خارج شده و به دریا می‌ریزد. پراکنش زمانی نامناسب بارش‌ها نیز یکی دیگر از چالش‌های

اصلی کشور است. ازاین‌رو، به‌نظر می‌رسد به‌دلیل ناکافی بودن بارش‌های به‌هنگام و نیازهای آبی موجود و آتی، احداث و توسعه سامانه‌هایی برای مهار و تنظیم منابع آبی منتهی‌به دریا مفید و راهگشا خواهدبود.

ازسوی‌دیگر، بهره‌گیری از منابع آب مخازن ساحلی و انتقال آن‌ها به سامانه‌های آب‌شیرین‌کن می‌تواند در کاهش هزینه نهایی تامین آب سالم و بهداشتی موثر باشد. باتوجه‌به مشکلات موجود در زمینه احداث سدهای مخزنی در برخی مناطق جنوبی استان سیستان و بلوچستان (ازجمله فقدان شرایط مناسب توپوگرافی) می‌توان گفت استفاده از این نوع مخازن ممکن است تنها گزینه قابل‌اتکا برای توسعه پایدار در این مناطق به‌شمار آید، آن هم در شرایطی که بحران آب، سرمایه‌گذاری در تامین پایدار منابع آبی را به یک ضرورت حیاتی و ملی تبدیل کرده‌است [۶].

با درک این ضرورت‌ها، در سال های اخیر این فناوری مورد توجه برخی کارشناسان و مسئولان حوزه ی آب کشور قرار گرفته و از سال ۱۴۰۱ دو طرح آزمایشی مخزن ساحلی در سواحل مکران و شرق دریای خزر تعریف شده‌است. سازمان توسعه منابع آب و نیروی ایران یکی‌از متولیان انجام مطالعات مربوط به این دو طرح می باشد. ورود این مفاهیم به سطح سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی رسمی گواهی بر آغاز شکل‌گیری رویکردی منسجم در استفاده از ظرفیت‌های مخازن ساحلی برای مدیریت منابع آب در مناطق ساحلی کشور است؛ رویکردی که در صورت تداوم می‌تواند به ارتقای تاب‌آوری آبی، کاهش هزینه‌های تامین آب و تنوع‌بخشی به راهکارهای سازگار با اقلیم در جنوب و شمال کشور منجر شود [۷ و ۸].

در همین مسیر و هم‌زمان با گسترش نگاه راهبردی به توسعه مخازن ساحلی در سطوح مختلف کشور، یکی از اصولی‌ترین مسیرها برای توسعه این فناوری در

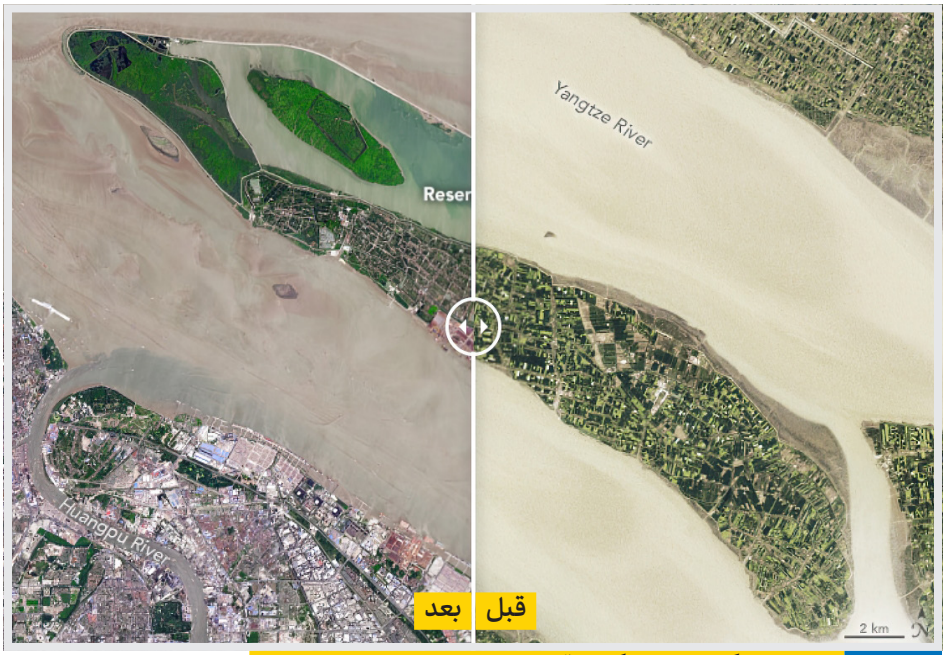
ایـران شـامل بهـره‌گیری از تجربیـات و ظرفیت‌هـای علمـی و اجـرایی کشورهـای پیـشرو در ایـن حوزه اسـت. نکتـه مهـم ایـن اسـت کـه در نخسـتین مراحـل ورود بـه حوزه‌ای بـا پیچیدگی‌هـای فنـی و محیط‌زیسـتی، اتـکای صـرف بـه ظرفیت‌هـای داخلـی زمان‌بـر بـوده و می‌توانـد بـا چالش‌هـای اجـرایی و هزینه‌هـای مضاعـف همـراه باشـد. ازایـن‌رو، شـکل‌دهی بـه همکاری‌هـای هدفمنـد بـا کشورهـایی کـه سـابقه موفقـی در توسـعه و پیاده‌سـازی مخـازن سـاحلی به‌ویـژه در زمینـه نسـل‌های نویـن ایـن سـازه‌ها دارنـد، اقدامـی راهبـردی به‌شـمار مـی‌رود.

دراین‌میـان، چیـن به‌عنـوان شریـک راهبـردی جمـهوری اسلامـی ایـران در بسـیاری از حوزه‌هـای زیرسـاختی از تجربـه‌ای گسـترده در طراحـی و اجـرای مخـازن سـاحلی نسـل جدیـد به‌ویـژه در شـهرهایی ماننـد شـانگهای بـرخوردار اسـت و منبعـی قابل‌اتـکا بـرای انتقـال دانـش، کاهـش هزینه‌هـای آزمون و خطـا و ارتقـای کیفیـت طراحـی و اجـرا در ایـران قلمـداد می‌شـود.

کلان‌شـهر شـانگهای به‌عنـوان یکـی از مراکـز پیـشرو در ایـن حوزه نسـبت بـه احـداث سـه مـخزن سـاحلی بزرگ بـا کاربری تامیـن آب شـرب طـی سـه دهـه گذشـته اقـدام کرده‌اسـت. ایـن مخـازن کـه شـامل پروژه‌هـای چینگ‌سائوشـا[1]، دونگ‌فنگ‌شی‌شـا[2] و چِن‌خانـگ[3] می‌شـوند، در زمـره اولیـن نمونه‌هـای نسـل دوم مخـازن سـاحلی در سـطح جهـان قـرار دارنـد. دراین‌میـان، مـخزن چینگ‌سائوشـا بـا مسـاحتی در حـدود ۶۶ تـا ۷۰ کیلومترمربـع بزرگ‌تریـن مـخزن به‌شـمار مـی‌رود و حـدود ۷۰ درصـد از آب شـرب مصرفـی میلیون‌هـا نفـر از سـاکنان ایـن کلان‌شـهر را تامیـن می‌کنـد [۹]. مطالعـه دقیـق

1. Qingcaosha
2. Dongfeng Xisha
3. Chenhang

تجربیات چین در طراحی و اجرای این پروژه‌ها به‌ویژه در حوزه‌های مدیریت منابع آب، فناوری‌های پایش کیفیت، بهره‌گیری از طراحی‌های نوآورانه و سازوکارهای نهادی می‌تواند بستر مناسبی برای شناخت بهتر مسیرهای همکاری و انتقال دانش به کشور فراهم آورد. این پروژه‌ها بیانگر گذار موفق از نسل اول به نسل دوم مخازن ساحلی هستند و باتکیه‌بر مجموعه‌ای از راهکارهای فناورانه و مدیریتی نمونه‌ای عملی از ظرفیت‌ها و پیچیدگی‌های اجرایی چنین سازه‌هایی در مقیاس کلان را به نمایش می‌گذارند.




**تصویر ۱: جزیره چانگ‌شین شانگهای قبل و بعد از احداث مخزن ساحلی**

بااین‌حال، تحلیل تجربه چین بدون در نظر گرفتن مبانی نظری و مفهومی مرتبط با مخازن ساحلی امکان‌پذیر نخواهدبود. ازاین‌رو، در بخش اول این گزارش ابتدا مفاهیم پایه، کارکردها و دسته‌بندی‌های مختلف این سازه‌ها موردبررسی قرار می‌گیرند تا بستر

نـظری لازم بـرای تحلیـل پروژه‌های نسـل دوم فراهم شـود. در بخـش دوم، مروری اجمالی بـر سیـر تاریخی اقدامـات چین در حوزه مدیریـت منابع آبی- از دوره‌های باسـتانی تا دوران معاصـر و پیـش از ظهور مخازن سـاحلی نسـل دوم شـانگهای- ارائه خواهدشـد. هدف از این بخش، ارائه تصویری نسبتا ساختاریافته و تفصیلی از تجربیات چین در زمینه توسعه مخازن ساحلی است.

در بخـش سـوم، تمرکـز اصلـی بـر پروژه‌هـای جدید اجراشـده در شـانگهای خواهدبـود کـه هـم از نظر فنـی دارای نوآوری هسـتند و هـم از منظر نهـادی، زیسـت‌محیطی و مدیریتی حائزاهمیـت هسـتند. ایـن پروژه‌هـا کـه در زمـره مخـازن سـاحلی نسـل دوم طبقه‌بنـدی می‌شـوند، سـهمی کلیـدی در تامیـن پایـدار آب بـرای یکـی از پرجمعیت‌تریـن شـهرهای جهـان داشـته‌اند.

در بخـش چهـارم گـزارش بـه شناسـایی دقیق‌تـر بازیگـران اصلـی ایـن حوزه در چیـن پرداختـه می‌شـود. چهـار مخـزن سـاحلی معرفی‌شـده در کلان‌شـهر شـانگهای با برخورداری از فناوری‌هـای نویـن و زمـان سـاخت بـه‌روز بـه گزینه‌هـایی مناسـب بـرای الگوبـرداری فنـی و امکان‌سـنجی همکاری‌هـای بین‌المللـی بـا شـرکت‌های طـراح و مـجری ایـن پروژه‌هـا تبدیـل شـده‌اند. بنابرایـن در چارچـوب هـدف اصلـی ایـن گـزارش کـه معطـوف بـه بهره‌گیری از تجـارب چیـن در حوزه مخـازن سـاحلی و امکان‌سـنجی همکاری‌هـای فنـی میـان دو کـشور اسـت، تمرکـز ایـن بخـش بـر شناسـایی دقیـق بازیگـران اصلـی فعـال در پروژه‌هـای شـانگهای شـامل نهادهای دولتی، شـرکت‌های فناور، دانشـگاه‌ها و کارشناسـان فعال در طراحـی، اجـرا، یـا پشـتیبانی ایـن پروژه‌هـا خواهدبـود. هـدف از ایـن بخـش، فراهـم سـاختن تـصویری روشـن‌تر از ظرفیت‌هـای بالقـوه بـرای همکاری‌هـای مشـترک در حوزه طراحـی و اجـرای مخـازن سـاحلی میـان ایـران و چیـن اسـت.

**اطلاع‌نگاشت ۱: نقشه‌راه گزارش**

| بخش اول: | بخش دوم: | بخش سوم: | بخش چهارم: |
|---|---|---|---|
| مبانی نظری و مفاهیم پایه | سیر احداث مخازن ساحلی نسل اول در چین | سیر احداث مخازن ساحلی نسل دوم در شانگهای | بازیگران کلیدی در زمینه توسعه مخازن ساحلی در شانگهای |
| **تمرکز:** ایجاد بستر نظری لازم برای تحلیل صحیح پروژه‌های مختلف مخازن ساحلی چین | **تمرکز:** ارائه تصویری ساختاریافته و تفصیلی از **تجربیات چین** در **زمینه احداث مخازن ساحلی** | **تمرکز:** بررسی عمیق پروژه‌های جدید و نوآورانه مخازن ساحلی نسل دوم در شانگهای | **تمرکز:** شناسایی ذی‌نفعان و بازیگران کلیدی در حوزه ساخت مخازن ساحلی نسل دوم در چین |

**هدف نهایی گزارش:**
ترسیم شفاف ظرفیت‌ها و تجربیات چین در زمینه توسعه مخازن ساحلی نسل جدید و فراهم کردن زمینه‌ای عملی برای همکاری‌های هدفمند و انتقال دانش فنی

درنهایت، امید است این گزارش با ترسیم شفاف ظرفیت‌ها و تجربیات چین در توسعه مخازن ساحلی نسل جدید، به‌ویژه از رهگذر معرفی بازیگران کلیدی همچون دانشگاه‌ها، موسسات تحقیقاتی، شرکت‌های مشاور و مجریان پروژه‌های پیشرو این کشور، بتواند مبنای تحلیل‌های کارشناسی و تصمیم‌گیری‌های راهبردی در حوزه مدیریت منابع آب کشور قرار گیرد و زمینه‌ای عملی برای تعریف همکاری‌های هدفمند و انتقال دانش فنی از شرکای معتبر خارجی فراهم آورد.

# بخش اول
# مبانی نظری و مفهومی مرتبط با مخازن ساحلی

## ۱. مقدمه

در مواجهه با چالش‌های روزافزون امنیت آبی، به‌ویژه در مناطق ساحلی و کلان‌شهرهای پرجمعیت، مفهوم مخزن ساحلی به‌عنوان یکی از نوآورانه‌ترین پاسخ‌های مهندسی جدید مطرح شده‌است. فصل اول این گزارش به تبیین این مفهوم نوظهور اختصاص یافته تا خواننده پیش از ورود به بررسی نمونه‌های عملی در چین بتواند درک جامعی از چیستی، چرایی، دسته‌بندی و کارکردهای راهبردی مخازن ساحلی به‌دست آورد. هدف اصلی این بخش از گزارش شامل فراهم ساختن چارچوب نظری و تحلیلی است که برای فهم بهتر مسیر تحول مخازن ساحلی در چین و ارزیابی الگوهای قابل‌انتقال به سایر کشورها مفید خواهدبود. این نقشه‌راه نظری به خوانندگان کمک می‌کند تا در فصل‌های بعدی گزارش بتوانند تحولات عملی مخازن ساحلی در چین- از پروژه‌های اولیه تا سازه‌های پیشرفته نسل دوم در کلان‌شهر شانگهای- را با نگاهی منتقدانه و هدفمند دنبال کنند.

نکتـه کلیدی آن اسـت که بخش قابل‌توجهی از مفاهیم بنیادیـن این حوزه و محتوای مطرح‌شـده در فصـل پیـش‌رو براسـاس آثـار و دیدگاه‌هـای دکتر یانگ شـوچینگ[1] تدوین شده‌اسـت. ایشـان با پژوهش‌های علمی و نقش‌آفرینی در طراحی و سیاسـت‌گذاری‌های راهبردی موفق شده‌است در توسعه و ترویج مفهوم مخزن ساحلی در سطح جهانی سهم بسزایی داشته‌باشد. ازهمین‌رو، سوابق علمی و دیدگاه‌های کلیدی وی در پیوست گزارش به تفصیل معرفی شده‌است.

## ۲. مفهوم‌شناسی و پیشینه تاریخی

در کنـار سـدهای مرسـوم داخلـی کـه عمدتـا در محیط‌هـای آب شیرین و در بالادسـت رودخانه‌ها احداث می‌شوند، نمونه‌های متعددی از مخازن آبی در سطح جهان وجود دارند که در پایین‌دست رودها و در مجاورت دریا ساخته شده‌اند. این مخازن که با اهدافی نظیر تامیـن آب شیریـن، جلـوگیری از نفـوذ آب شور دریا، بهره‌بـرداری از انرژی جزرومد، توسـعه

1. Yang Shuqing: 杨树清

یانـگ شـوچینگ متخصـص برجسـته در مهندسـی منابـع آب، مکانیـک سیـالات و انتقـال رسـوب (sediment transport) اسـت. او مـدرک دکتری خـود را از دانشـگاه صنعتی نانیانـگ سـنگاپور (Nanyang Technological University, Singapore) دریافت کرده و در دانشـگاه‌های متعددی در سراسـر جهان فعالیت داشته‌است. در حال حاضـر، او اسـتادیار دانشـگاه ژلونگونـگ اسـترالیا اسـت. یانـگ فعالیـت پژوهشـی خـود را در حوزه مهندسـی منابـع آب از سـال ۱۹۸۸ آغـاز کـرد و در پـروژه سـد سـه‌دره، یکـی از بزرگ‌تریـن سـدهای جهـان، مشـارکت داشـت. او خیلـی زود دریافـت کـه سدسـازی نمی‌توانـد راه‌حلـی مطلـوب بـرای بحـران آب باشـد. در سـال ۲۰۰۲، او ثبت‌اختـراع مـخزن سـاحلی خـود را ارائـه کـرد کـه بـرای نخسـتین بـار در تاریـخ ادعـا می‌کنـد بحـران جهانـی آب می‌توانـد بـه‌طور موثری توسـط مخـازن سـاحلی حـل شـود و از آن زمـان در جهـت ترویـج ایـن ایـده تلاش کرده‌اسـت. بـا وجـود مقاومت‌هـایی در برابـر پذیـرش ایـن فنـاوری، یانـگ حمایت‌هـای بین‌المللی به‌ویـژه از سوی چیـن و مـالزی دریافـت کـرد. در سـال ۲۰۱۷، مرکـز تحقیقـات مخـازن سـاحلی (Center for Coastal Reservoir Research) در دانشـگاه ژلونگونـگ تاسـیس شـد و او به‌عنوان رئیس ایـن مرکـز منصـوب شـد. در همـان سـال، انجمـن بین‌المللی تحقیقـات مخـازن سـاحلی (IACRR) بـا همـکاری ایـن مرکـز و جمعـی از متخصصـان برجسـته از بریتانیـا، هلنـد، چیـن، اسـترالیا، هنـد و مـالزی بنیان‌گـذاری شـد و مراسـم افتتاحیـه آن در کوالالامپـور برگـزار گردیـد. یانـگ بـا انتقـاد از رویکردهـای سـنتی مدیریـت منابـع آب ماننـد سدسـازی و نمـک‌زدایی، بـر ذخیره‌سـازی سـیلاب در مناطـق سـاحلی تاکیـد دارد و ایـن رویکـرد را یـک تغییـر پارادایـم (دگرگونـی چارچـوب فـکری) در مدیریـت منابـع آب می‌دانـد. او کتاب‌هـا و مقـالات متعـددی در ایـن حـوزه منتشـر کـرده و همچنـان در تلاش اسـت تـا تحولی بنیادیـن در حـل بحـران آب در سـطح جهانـی ایجـاد کنـد.

آبزی‌پروری، کنترل سیلاب و سایر مصارف مهندسی طراحی می‌شوند، سابقه‌ای دیرینه در تاریخ مدیریت منابع آب بشر دارند.




**تصویر ۲: موقعیت احداث مخازن ساحلی [۱۰]**

از نظر فنی، مخزن ساحلی به حجمی از آب گفته می‌شود که توسط یک یا چند سازه مهندسی (مانند سد یا بند) از یک توده آبی بزرگ‌تر (مانند دریا یا مصب رودخانه) برای اهداف خاص جدا شده‌است. کیفیت آب داخل مخزن از نظر خواص فیزیکی، شیمیایی یا زیستی مانند چگالی، شوری، کدری، سطح آب یا سایر موارد با آب خارج از مخزن متفاوت است [۱۱]. تعریف دیگری نیز برای مخازن ساحلی متداول است که بر کارکرد آن‌ها در ذخیره‌سازی آب شیرین پیش از اختلاط با دریا تاکید دارد. براین‌اساس، مخازن ساحلی سازه‌هایی هستند که در انتهای حوضه‌های آبریز و در نزدیکی مصب رودخانه‌ها احداث می‌شوند تا از هدررفت منابع آب شیرین به دریا جلوگیری کنند. موقعیت مکانی این مخازن به‌دلیل وابستگی به جریان پایانی رودخانه‌ها الزاما در پایین‌دست حوضه‌های آبریز تعیین می‌شود [۱۲].

از منظر تاریخی، شکل‌گیری نخستین نمونه‌های مخازن ساحلی به نیاز انسان‌ها برای مقابله با چالش‌های ناشی‌از تعامل خشکی و دریا بازمی‌گردد. پدیده‌هایی همچون نفوذ آب شور، طغیان‌های دریایی ناشی‌از مدهای شدید، طوفان‌های ساحلی و تغییرات اقلیمی ازجمله عوامل اصلی توسعه این سازه‌ها بوده‌اند. پژوهشگران احتمال می‌دهند سد باستانی تاشان[1] در چین که در سال ۸۳۳ میلادی در نزدیکی نینگ‌بو[2] در استان جِجیانگ[3] ساخته‌شد، قدیمی‌ترین مخزن ساحلی جهان است که هنوز هم عملیاتی است [۱۳]. اگرچه در طول تاریخ نفوذ آب دریا و سیلاب‌ها نیروی محرکه اصلی در ساخت مخازن ساحلی بوده‌اند[4]، اما امروزه ساخت مخازن ساحلی به‌عنوان راهکار اصلی برای ذخیره آب شیرین در نظر گرفته می‌شود. این مخازن در مقایسه با مخازن بالادستی از مزایای متعددی برخوردارند و منابع تامین آب آن‌ها عمدتا شامل روان‌آب رودخانه‌ای، سیلاب و آب‌های زیرزمینی حوضه آبریز می‌شود. آب ذخیره‌شده در این مخازن قابلیت استفاده در مصارف شرب، صنعتی و کشاورزی را دارد [۱۴].

## ۳. دسته‌بندی انواع مخازن ساحلی

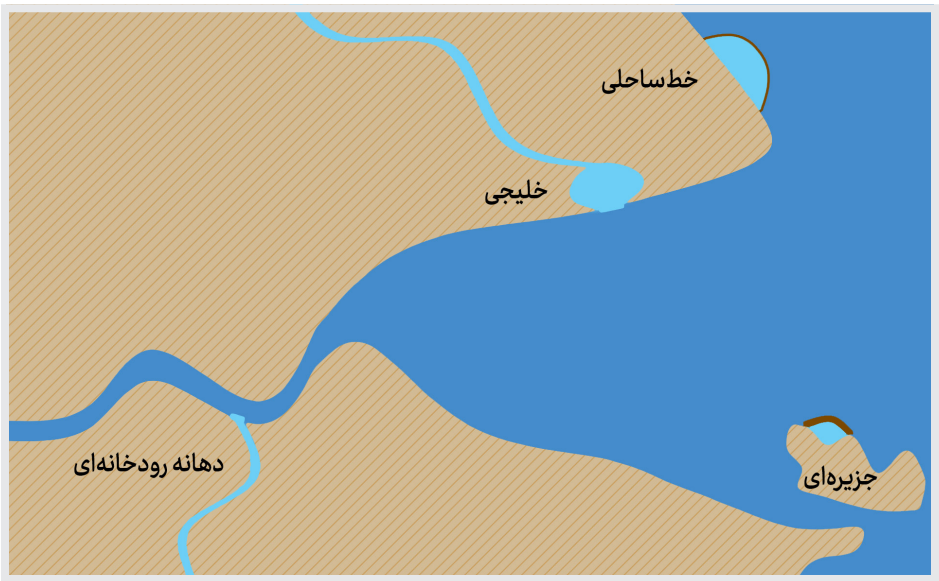
مخازن ساحلی را می‌توان براساس ویژگی‌های ساختاری، مکان احداث، هدف احداث و طراحی آن‌ها و موارد دیگر دسته‌بندی کرد و بنابراین، دسته‌بندی‌های گوناگونی برای مخازن ساحلی ارائه شده‌است. مخازن ساحلی از نظر موقعیت مکانی شامل مخازن داخل دهانه رودخانه (مانند مخازن دهانه رودخانه‌ای و خلیجی)[5]، مجاور دهانه رودخانه

1. Tashan Weir:它山堰 (also called Tuoshan Weir or Tuoshanyan)
2. Ningbo
3. Zhejiang

۴. می‌توان پیش‌بینی کرد که هر دو عامل همچنان نگرانی اصلی در آینده خواهندبود، زیرا افراد بیشتری به شهرهای ساحلی نقل‌مکان می‌کنند، جایی که سطح دریا به افزایش خود ادامه می‌دهد و انتظار می‌رود شرایط آب‌وهوایی شدید به دلیل تغییرات اقلیمی با تناوب بیشتر و شدت بالاتری رخ دهد.

5. River Mouth Reservoirs and Bay Reservoirs

(مانند مخازن خط‌ساحلی)[1] یا خارج از دهانه رودخانه (مانند مخازن جزیره‌ای)[2] هستند. این مخازن از نظر نوع سد شامل سد غیرقابل‌نفوذ و جامد[3]، سد نرم (لاستیکی)[4] و ترکیبی از هر دو نمونه هستند. به‌طورمشابه، مخازن ساحلی از نظر کیفیت آب درون مخزن شامل مخازن آب شیرین، آب توازن کشتی‌ها[5] (برای جلوگیری از ورود گونه‌های آبزی غیربومی و مهاجم)، آب آلوده (برای تصفیه و حفاظت از محیط‌زیست ساحلی) و موارد دیگر می‌شوند.




**تصویر ۳: نوعی از دسته‌بندی مخازن ساحلی براساس مکان احداث در ساحل [۱۵]**

هدف از ساخت مخازن ساحلی نیز می‌تواند بسیار گسترده باشد. این سازه‌ها علاوه‌بر تامین آب شیرین و تولید انرژی، در زمینه‌هایی مانند تصفیه فاضلاب و بازیافت آب توازن

1. Coastline Reservoirs
2. Island Reservoirs
3. Impermeable Solid Dam
4. Soft (Rubber) Dam

مخازنی که در خلیج در اطراف یک جزیره ساخته می‌شوند.

۵. آب تخلیه‌شده توازن از کشتی‌ها حاوی گونه‌های مهاجم، مزاحم و غیر بومی مانند گیاهان، جانوران، ویروس‌ها و باکتری‌هاست که می‌تواند مشکلات جدی زیست‌محیطی برای سامانه‌های بوم‌شناختی محلی دریایی ایجاد کند. ساخت مخزن ساحلی برای آب توازن می‌تواند این مشکل را به‌طورکامل برطرف کرده و از گسترش گونه‌های مهاجم جلوگیری کند.

کشتی‌ها در بنادر نیز کاربرد دارند. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، یکی از مهم‌ترین مزیت‌های این مخازن شامل توانایی آن‌ها در کنترل موثر سیلاب‌های ساحلی است[۱۱ و ۱۳].

**اطلاع‌نگاشت ۲: انواع طبقه‌بندی اولیه مخازن ساحلی [۱۱]**

| ملاک طبقه‌بندی | زیرگروه | سیال داخل مخزن | توده آبی پیرامون | تفاوت ویژگی‌ها |
|---|---|---|---|---|
| براساس مکان احداث | درون دهانه رودخانه (مانند مخازن دهانه رودخانه‌ای و خلیجی) | آب شیرین / سیال هدفمند | آب مصب رودخانه[1] | شوری، نیتروژن کل (TN)، فسفر کل (TP) و غیره |
| | کنار دهانه رودخانه در دریا (مانند مخازن خط‌ساحلی) | | آب دریا | |
| | خارج از دهانه رودخانه در دریا (مانند مخازن جزیره‌ای) | | آب دریا | |
| | جانمایی درون دریاچه‌ای در جلگه میانی-پایینی رود (به‌منظور کاهش بلایای سیلاب و توسعه منابع آب، آب‌های موردنیاز به مخزن هدایت می‌شوند و آب‌های نامطلوب از کنار مخزن عبور داده می‌شوند) | آب‌های سیلابی/ باکیفیت | آب شیرین دریاچه | کدورت، نیتروژن کل، فسفر کل و غیره |

1. Estuary

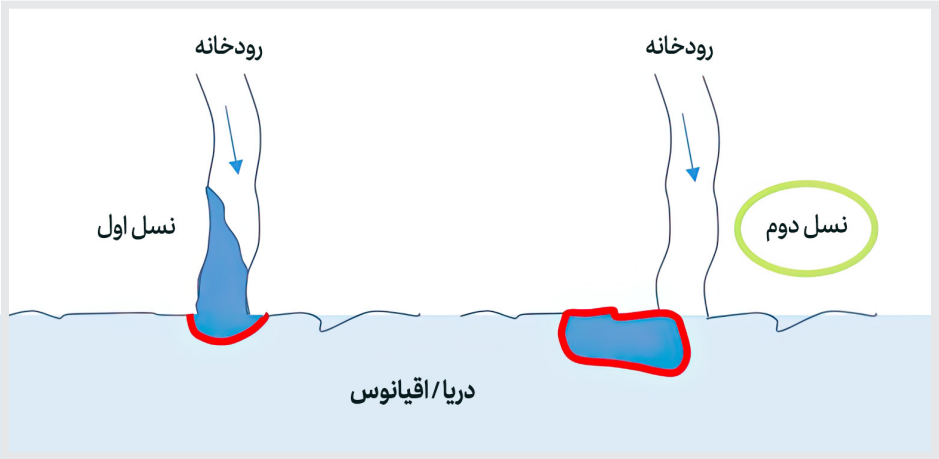
| ملاک طبقه‌بندی | زیرگروه | سیال داخل مخزن | توده آبی پیرامون | تفاوت ویژگی‌ها |
|---|---|---|---|---|
| براساس نوع سد | سد بتنی[1] | سیال مطلوب | دریا / دریاچه / مصب | شوری، کدورت و غیره |
| | سد خاکی[2] | سیال مطلوب | دریا / دریاچه / مصب | شوری، کدورت و غیره |
| | سد نرم | سیال مطلوب | دریا / دریاچه / مصب | شوری، کدورت و غیره |
| براساس هدف | تامین آب باکیفیت بالا | آب شیرین[3] | دریا / دریاچه / مصب | شوری، نیتروژن کل، فسفر کل |
| | تصفیه آب آلوده | آب به‌شدت آلوده[4] | دریا / دریاچه / مصب | شوری، نیتروژن کل، فسفر کل |
| | ذخیره‌سازی انرژی / تولید برق | آب مطلوب[5] | دریا | سطح آب[6] |
| | بازیافت آب توازن کشتی‌ها | آب توازن[7] | دریا | زیست‌توده[8] |

ملاحظات طراحی براساس ارزیابی‌ها و مشاهدات عملکرد مخازن موجود طی سال‌های اخیر گسترش یافته‌است. این روند تکاملی منجربه ظهور دسته‌بندی جدیدی از انواع

1. Concrete Dam
2. Earth Dam
3. Freshwater
4. Highly Polluted
5. Wanted Water
6. Water Level
7. Ballast Water
8. Biomass

مخـازن سـاحلی شده‌اسـت و امروزه، مفهـوم مخازن سـاحلی نسـل اول و مخازن سـاحلی نسل دوم که توسط دکتر یانگ شوچینگ مطرح شده‌است، در تحقیقات مربوط‌به مخازن سـاحلی بیشتر استفاده می‌شـود. این مفهوم به تکامل طراحی، عملکرد و پایداری مخازن ساحلی اشاره دارد.

بنابه تعریفی بسیار ساده می‌توان گفت که تفاوت اصلی مخازن ساحلی نوع اول و دوم در آن اسـت که در مخازن سـاحلی نسـل اول بـه دلایلی مانند مکان احـداث و فناوری‌های مورداسـتفاده در مـخزن امـکان انتخـاب آب ورودی جهـت ذخیـره سـازی وجـود نـدارد و به‌عبارتی، تمامی آب ورودی از بالادست به‌طور مستقیم وارد این دسته از مخازن می‌شود، درحالی‌که مخازن سـاحلی نسـل دوم باتوجه‌به عواملی مانند مکان قرارگیری و فناوری‌های پیشـرفته خـود قابلیـت آن را دارنـد کـه آب ورودی بـرای ذخیره خـود را انتخـاب کنند و تنها بخشـی از آب که دارای کیفیت و شـرایط خاص تعیین‌شـده برای مخزن مذکور باشـد را وارد کرده و در فضای مخزن ذخیره سازند[1] [۳].




**تصویر ۴: طرح ساده‌شده مخازن ساحلی نسل اول و دوم[۱۰]**

۱. نسـل سـوم مخـازن سـاحلی کـه هـنوز در مرحلـه ایده‌پـردازی اسـت، بـر یکپارچه‌سـازی آب، غـذا و انرژی بـدون ایجـاد اخـتلال در هریـک از آن‌هـا متمرکـز اسـت.

درحقیقت، پس از این طبقه‌بندی جدید مشخص شد که بسیاری از دسته‌بندی‌های پیشین نیز می‌توانند در قالب این دو نسل تعریف شوند. به‌عنوان‌مثال، در مطالعات مختلف انواع طبقه‌بندی مخازن ساحلی براساس موقعیت مکانی اغلب در یکی از دو دسته نسل اول یا دوم جای داده شده‌اند.

**اطلاع‌نگاشت ۳: انواع مخازن ساحلی از نگاه دکتر یانگ شوچینگ**

**مخازن ساحلی**

| نسل اول | نسل دوم |
|---|---|
| ● بند (barrage) به گونه‌ای طراحی شده که تمامی دهانه رودخانه یا خلیج را جهت جداسازی آب شیرین از آب شور مسدود کند.<br>● بند نسبت به جهت جریان آب عمود است.<br>● تمامی آب حوزه آبریز مستقیما جمع‌آوری می‌شود.<br>● این نوع مخازن به‌دلایلی همچون مسدودسازی کامل دهانه رودخانه و خلیج، جمع‌آوری تمامی آلاینده‌ها از حوزه آبریز، نرخ رسوب‌گذاری بالا و غیره با مشکلات مختلف زیست‌محیطی و کیفیت آب دست‌وپنجه نرم می‌کنند.<br>● این نوع مخازن از ابتدایی‌ترین انواع مخازن ساحلی در قرن‌های گذشته تا مخازن خلیجی جدیدتر را دربرمی‌گیرند. | ● بند (barrage) به‌طورکامل دهانه رود را مسدود نمی‌کند.<br>● آب ورودی به مخزن انتخاب می‌شود و تمامی آب حوزه آبریز مستقیما جمع‌آوری نمی‌شود.<br>● این نوع مخازن در مقایسه با مخازن سنتی‌تر نسل اول، آثار زیست‌محیطی و مشکلات کیفیت آب کمتری را تجربه می‌کنند.<br>● نمونه‌های نوین مخازن ساحلی هستند. |

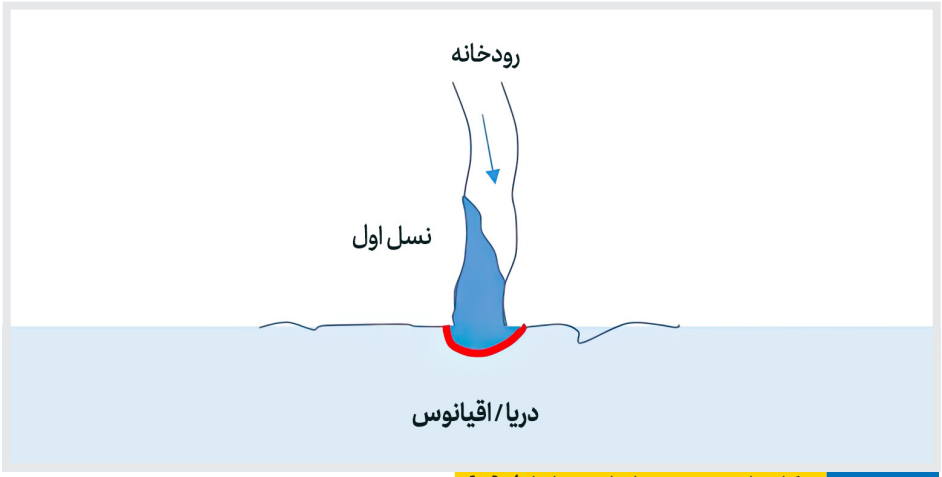
**دو نوع دسته‌بندی از مخازن ساحلی نسل اول و دوم**

| مخازن ساحلی نسل اول | | مخازن ساحلی نسل دوم | |
|---|---|---|---|
| مخازن دهانه رودخانه‌ای | مخازن خلیجی | مخازن خط‌ساحلی | مخازن جزیره‌ای |

درادامه این بخش، هر دو نوع مخزن ساحلی نسل اول و دوم به‌صورت جداگانه و مختصر شرح داده می‌شوند تا زمینه ذهنی لازم برای درک چرایی تمرکز این گزارش بر مخازن ساحلی نسل دوم در چین فراهم شود.

## ۱.۳. مخازن ساحلی نسل اول

به‌طورکلی، مخازن ساحلی نسل اول به آن دسته از سازه‌های آبی اطلاق می‌شوند که با احداث یک سد کوتاه و مستقیم در دهانه رودخانه یا خلیج امکان ذخیره‌سازی آب شیرین ورودی را فراهم می‌کنند[۱] [۱۲]. در این نوع مخازن، سد به‌صورت عمود بر مسیر جریان رودخانه یا دریا قرار می‌گیرد و به‌گونه‌ای طراحی می‌شود که جریان آب را مهار کرده وامکان ذخیره‌سازی آب را به‌صورت درون‌خط[۲] و هم‌راستا با جریان رودخانه ایجاد کند [۱۲، ۱۴].




**تصویر ۵: مکان‌یابی مخزن ساحلی نسل اول [۱۰]**

بیشتر مخازن ساحلی ساخته‌شده در جهان را می‌توان در این دسته جای داد [۱۴]. در کشور چین نیز مخازن ساحلی که در فصل بعدی به‌تفصیل معرفی خواهندشد، همگی در

۱. بند (barrage) به گونه‌ای طراحی شده که تمامی دهانه رودخانه یا خلیج را جهت جداسازی آب شیرین از آب شور مسدود کند.

2. Inline

زمره مخازن نسل اول قرار می‌گیرند- به‌استثنای مخازنی که در مصب رودخانه یانگ‌تسه[1] احداث شده‌اند [۱۱].




**تصویر ۶: نمایش موقعیت جغرافیایی مخازن ساحلی نسل دوم چین در مصب رودخانه یانگ‌تسه در کلان‌شهر شانگهای [۱۰]**

از منظر مهندسی، این نوع مخازن اغلب با استفاده از سازه‌های ساده‌ای همچون آب‌بندها (سدهای انحرافی)[2]، سرریزها[3]، خاک‌ریزها (بَند خاکی)[4] و سدهای دریچه‌دار (مجهز به سامانه تخلیه کنترل‌شده)[5] ساخته می‌شوند که معمولا به دروازه‌هایی برای کنترل جریان نیز مجهز هستند. این شیوه که ذخیره‌سازی آب را در امتداد مسیر اصلی

1. Yangtze River :长江

۲. آب‌بند (barrage) سازه آبی کوتاه‌تر از سدهای معمولی است که برای بالاآوردن سطح آب رودخانه و هدایت و جاری شدن آن به کانال‌های آبیاری یا نیروگاه‌ها به‌کار می‌رود.

۳. سرریز (weir) نوعی سد انحرافی است.

آب‌بند و سرریز هردو نوعی سد انحرافی هستند، اما اختلاف اصلی آن‌ها در وجود دریچه‌های قابل‌تنظیم نصب‌شده بالای آب‌بند می باشد که تراز آب با استفاده از آن‌ها تنظیم می‌شود. در سرریز، آب سرریز می‌کند، ولی در آب‌بند، آب در دریچه‌های قابل‌تنظیم جریان پیدا می‌کند.

4. Bunds
5. Vented Dams

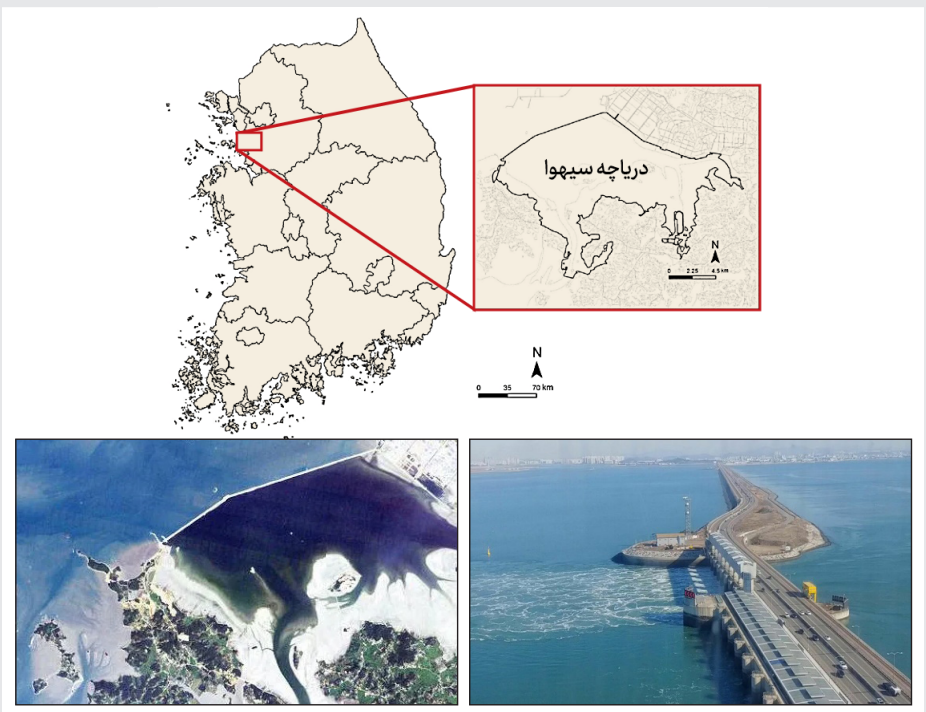
رودخانه و در هماهنگی با جهت جریان طبیعی آن ممکن می‌سازد، اساس طراحی مخازن نسل اول را تشکیل می‌دهد [۱۲].




**تصویر ۷: انواع مخازن ساحلی نسل اول: (الف) سدتنظیمی دریچه‌دار (ب) سدهای انحرافی (پ) سد و (ت) سد قابل‌تخلیه [۱۰]**

بااین‌حال، الگوی ساخت این مخازن موجب بروز چالش‌های جدی در زمینه کیفیت آب و پیامدهای زیست‌محیطی شده‌است. درواقع، کیفیت آب ورودی هر مخزن ساحلی مهم‌ترین چالش آن محسوب می‌شود که مدیریت موثر آن نیازمند تدابیر نوآورانه و یکپارچه است. مخازن نسل اول به‌طور خاص در برابر تغییرات در حوضه آبریز و آلودگی‌های بالادست آسیب‌پذیر هستند، زیرا علاوه‌براین‌که تمام ورودی‌های آب را دریافت می‌کنند، آلاینده‌های همراه آن را نیز در خود نگه می‌دارند. دریاچه سیهوا[1] در کره‌جنوبی از جمله نمونه‌های بارز این موضوع است که به‌دلیل تجمع آلاینده‌ها به‌شدت با افت کیفیت آب مواجه شده‌است [۱۱].

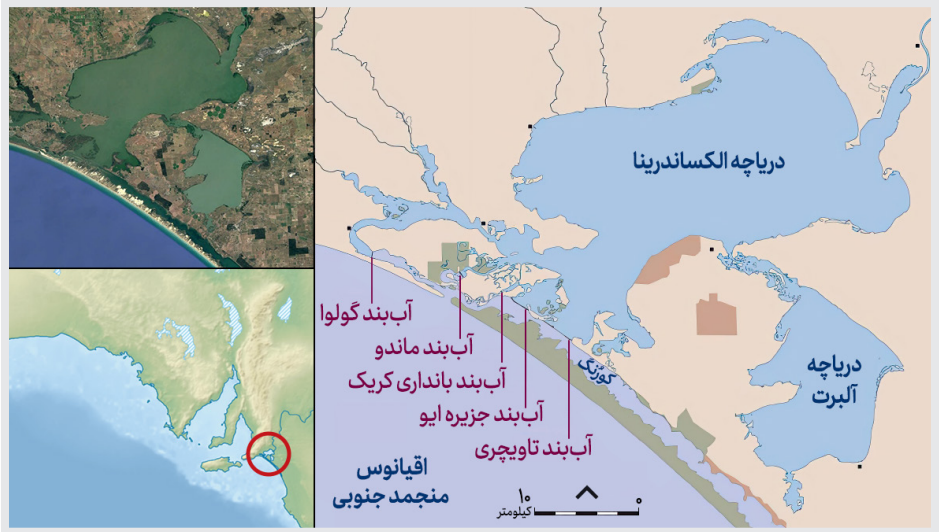
1. Sihwa Lake




**تصویر۸: جانمایی مخزن دریاچه سیهوا؛ آلودگی این دریاچه به‌قدری جدی بود که مدتی آن را «دریاچه مرگ» می‌نامیدند.**

دریاچه الکساندرینا[1] در استرالیا نمونه‌ای دیگر است که در انتهای حوزه آبی ماری-دارلینگ[2] قرار دارد. این دریاچه که تا پیش از دهه ۱۹۳۰ به‌عنوان پیکره آبی طبیعی محسوب می‌شد، پس از احداث پنج سد کوتاه به مخزن آب شیرین از نوع نسل اول تبدیل شد. از آن زمان تاکنون، کیفیت آب این دریاچه به‌شدت تحت‌تاثیر تحولات در حوضه بالادست قرار گرفته‌است. تغییرات کاربری زمین، بازگشت آب‌های کشاورزی، وقوع سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها و طرح‌های متعدد انحراف آب ازجمله این تحولات به‌شمار می‌آیند [۱۲].

1. Alexandrina Lake
2. Murray-Darling




**تصویر ۹: دریاچه الکساندرینا که با بندهای مختلف از تالاب کوئرنگ (Coorong) و اقیانوس جدا شده‌است.**

مخازن ساحلی نسل اول با محدودیت‌ها و کاستی‌های مهم دیگری به غیر از آسیب‌پذیری در برابر کیفیت آب ورودی نیز مواجه هستند که تحقق اهداف توسعه پایدار را با چالش روبه‌رو می‌سازند. درادامه، به برخی از نقاط‌ضعف این مخازن پرداخته می‌شود.

**قطع ارتباط بین رودخانه و دریا:** احداث سدهای مستقیم در دهانه رودخانه‌ها موجب انسداد مسیر طبیعی جریان و قطع پیوستگی بوم‌شناختی بین سامانه‌های رودخانه‌ای و دریایی می‌شود. این پدیده پیامدهای گسترده‌ای ازجمله اختلال در مهاجرت آبزیان، تغییر در الگوهای رسوب‌گذاری و محدودیت در تردد کشتی‌ها به‌دنبال دارد [۱۱]. به‌عنوان‌مثال، پس از تکمیل پروژه سد و مخزن مارینا[1] در سنگاپور، ارزیابی‌های زیست‌محیطی ازجمله مطالعات جامع آبزی‌سنجی انجام شد تا تاثیرات پروژه بر سامانه بوم‌شناختی دریایی موردبررسی قرار گیرد. نتایج این ارزیابی نشان داد که برخی گونه‌های ماهی این منطقه در صورت محدودیت دسترسی به محیط دریایی قادر به تولیدمثل نخواهندبود [۱۴].

1. Marina Barrage

**عدم‌انطباق ظرفیت ذخیره‌سازی با نیاز واقعی:** در برخی موارد، ظرفیت طراحی‌شده مخزن متناسب با نیاز آبی واقعی منطقه نیست[1]. ازطرف‌دیگر، در صورتی که حجم مخزن- به‌ویژه در مخازن کم‌عمق- بیش‌ازحد باشد، آنگاه تبخیر سطحی افزایش یافته و حجم قابل‌استفاده آب کاهش می‌یابد. افزون‌برآن، آب راکد در چنین شرایطی می‌تواند محیطی نامناسب برای حفظ کیفیت آب ایجاد کند [۱۱].

**انباشت آلاینده‌ها در مخزن:** تجمع رسوبات، نمک و مواد مغذی در مخزن در طول زمان منجر به افت کیفیت آب می‌شود. در غیاب سامانه‌های تصفیه و کنترل مناسب، این پدیده می‌تواند مخزن را به منبعی از آلودگی ثانویه بدل کند [۱۱].




**تصویر ۱۰: دو نمونه از مخازن ساحلی نسل اول در هنگ‌کنگ و سنگاپور**

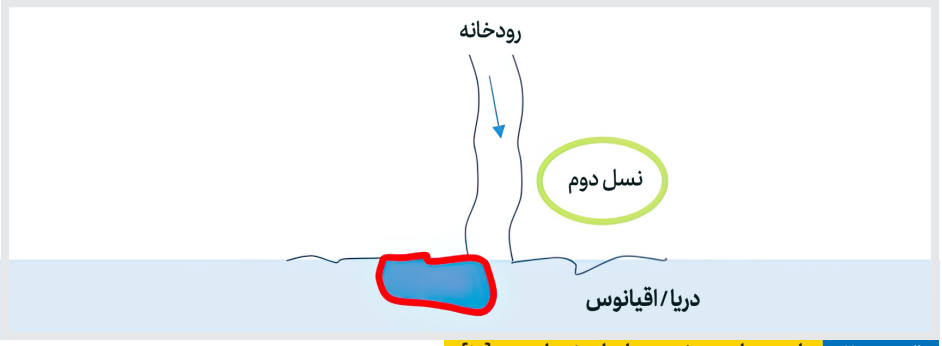
براساس تجربه‌های به‌دست‌آمده و چالش‌های عملیاتی و زیست‌محیطی گزارش‌شده، در برخی مطالعات به ضرورت توجه بیشتر به بازنگری در رویکردهای طراحی و مدیریت این دسته از مخازن ساحلی اشاره شد. درهمین‌راستا، با بازاندیشی در الگوهای موجود

۱. در نوع دهانه رودخانه‌ای از مخازن نوع اول از مسیرهای رودخانه‌ای برای ذخیره آب شیرین استفاده می‌شود و درنتیجه، ظرفیت مخزن به‌وضوح کم است. حال آنکه در انواع خلیجی آن، ظرفیت مخازن به‌علت بسته شدن دهانه خلیج جهت ذخیره آب معمولا زیاد است.

تلاش شد نسل جدیدی از مخازن ساحلی توسعه یابند که همان مخازن ساحلی نسل دوم هستند. مخازن ساحلی نسل دوم با برخورداری از ویژگی‌های مختلف که درادامه به تفصیل بیان خواهندشد، فاقد معایب یادشده هستند [۱۱].

## ۲.۳. مخازن ساحلی نسل دوم

درنتیجه اصلاحاتی که باهدف بهبود کیفیت آب، کاهش تبعات زیست‌محیطی و افزایش بهره‌برداری در طراحی مخازن ساحلی صورت گرفت، نسل دوم مخازن ساحلی توسعه یافتند. در این نوع طراحی، به‌جای ذخیره‌سازی در مسیر مستقیم جریان رودخانه (درون‌خط)، آب شیرین در سازه‌هایی که خارج از مسیر جریان اصلی قرار دارند[1]، نگهداری شده و امکان ذخیره‌سازی آب شیرین به‌صورت خارج‌ازخط[2] فراهم می‌شود. در این نوع طراحی، به‌علت مکان قرارگیری مخزن و استفاده از فناوری‌های مختلف مانند دریچه‌های کنترلی و موارد دیگر، آب فقط در شرایطی وارد مخزن می‌شود که کیفیت آن برای مصرف یا استفاده هدف‌گذاری‌شده مناسب باشد [۱۲]. در این نوع از مخازن ساحلی، سد یا خاک‌ریز دیگر کوتاه و مستقیم نیست، بلکه بلند و منحنی است تا امکان تشکیل بدنه‌ای از آب شیرین فراهم شود [۱۱].




**تصویر ۱۱: طرح ساده مخزن ساحلی نسل دوم[۱۰]**

1. Off-stream
2. Offline

مخـازن ساخته‌شـده در مصـب رودخانـه یانگ‌تسـه در شـهر شـانگهای از نمونه‌هـای موفق مخازن سـاحلی نسـل دوم هسـتند. درواقع، اولین نمونه نسل دوم مخازن ساحلی در مصب رودخانه یانگ‌تسـه در شـانگهای چین سـاخته شده‌اسـت که در فصول بعدی گزارش به آن پرداخته می‌شود [۳]. ویژگی‌های کلیدی مخازن ساحلی نسل دوم در مقایسه با نسل اول شامل موارد زیر است:

**عدم‌انسـداد کامـل دهانـه رودخانـه:** در طراحـی جدیـد، سـد یا خاک‌ریـز به‌گونـه‌ای اجرا می‌شـود کـه جریـان طبیعی رودخانـه به دریـا ادامه می‌یابـد. بدین‌ترتیب، جریـان رسوبات، آلاینده‌ها و نیز عبور کشتی‌ها مختل نمی‌شود، مگر در زمان‌های مشخصی که آب باکیفیت برای ذخیره‌سازی برداشت می‌شود [۱۱].

**امـکان جداسـازی جریان‌هـای آلـوده:** طراحـی مـخزن بـه نـحوی اسـت کـه آب‌هـای بـا کیفیـت پاییـن از مسیرهـای جانبـی عـبور کـرده و مسـتقیما وارد مـخزن نمی‌شـوند، درحالی‌کـه آب‌هـای سـالم بـه سـمت محـل ذخیـره هدایـت می‌شـوند. در اینجـا ذکـر ایـن نکته ضروری اسـت کـه ایـن امـر ازطریـق روش‌هـایی ماننـد جانمـایی مناسـب ورودی‌هـا و محـل برداشـت آب مـخزن، اسـتفاده زمان‌بندی‌شـده از دریچه‌هـای کنترلـی، و بهـره‌گیری از ویژگی‌هـای هیدرولیکـی محـل ماننـد جهـت جریـان امکان‌پذیـر می‌شـود [۱۱، ۱۴].

**تاثیـرات زیسـت‌محیطی کنترل‌شـده:** بـا حـذف ورود آب‌هـای آلـوده و حفـظ جریـان طبیعـی رودخانـه، فشـارهای وارده بـر زیسـت‌بوم‌های آبی بـه حداقـل رسـیده و نگرانی‌هـای زیسـت‌محیطی از سوی افـکار عمومـی و نهادهـای نظارتـی تـا حـد زیـادی کاهـش می‌یابـد [۱۱].

لازم بـه ذکـر اسـت کـه هرچنـد نسـل دوم مخـازن سـاحلی در کاهـش چشـم‌گیر مشـکلات ناشـی‌از آلودگـی ورودی موفـق عمـل کرده‌انـد، امـا چالش‌هـایی نظیـر پُرغـذایی

(اوتریفیکاسیون)[1] همچنان به‌عنوان یکی از دغدغه‌های اصلی در مدیریت کیفی این مخازن باقی مانده‌است [۱۴]. این چالش در کنار مسائلی همچون نفوذ آب شور، رسوب‌گذاری، پایداری زیست‌بوم و موارد دیگر، ضرورت توجه‌به ابعاد چندوجهی این سازه‌ها را یادآور می‌شود. ازهمین‌رو، روند پژوهش‌ها و بهره‌گیری از راهکارهای جدید در طراحی، بهره‌برداری و پایش این مخازن همچنان به‌عنوان بخشی از تلاش‌های مستمر برای بهبود عملکرد و کاهش پیامدهای جانبی آن‌ها ادامه دارد. با نگاهی به روند شکل‌گیری و تکامل مفهومی مخازن ساحلی و تمامی نکاتی که در فصل اول این گزارش بیان شد نیز می‌توان دریافت که این سازه‌ها تنها نوآوری مهندسی در پاسخ به محدودیت منابع آب شیرین نبوده‌اند، بلکه به مرور به بستری برای آزمودن رویکردهای چندرشته‌ای در حوزه‌های محیط‌زیست، مدیریت منابع و مهندسی سازه تبدیل شده‌اند. دراین‌راستا، نسل دوم مخازن ساحلی عملکرد موفقی در پاسخ‌گویی به بخشی از چالش‌های عملیاتی و زیست‌محیطی داشته‌اند، اما همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، مشکلاتی نظیر پُرغذایی، نفوذ آب شور و دیگر پیامدهای ناخواسته همچنان نیازمند مطالعه و نوآوری‌های بیشتر هستند.

به‌منظور تبیین روشن‌تر جایگاه مخازن ساحلی در منظومه مدیریت منابع آب، مقایسه آن‌ها با مخازن متعارف داخل‌سرزمینی می‌تواند تصویری دقیق‌تر از نقاط‌قوت و محدودیت‌های این دو رویکرد ارائه دهد. مخازن داخل‌سرزمینی که عمدتا در ارتفاعات و دره‌های باریک احداث می‌شوند، سال‌ها به‌عنوان ساختارهای اصلی ذخیره‌سازی آب در بسیاری از کشورها مورداستفاده قرار گرفته‌اند. بااین‌حال، محدودیت‌های جغرافیایی،

۱. : پُرغذایی، مُغَذی‌شدن، هوپَروَرش یا اوتریفیکاسیون (Eutrophication) به‌معنای غنی شدن محیط‌های آبی از ترکیبات محلول است که رشد بیش از اندازه برخی جانداران زنده را سبب می‌شود. به‌بیان‌ساده‌تر، اوتریفیکاسیون یک عکس‌العمل زیستی است که در پاسخ به ازدیاد مواد مغذی در منابع آبی صورت می‌گیرد.

زیست‌محیطی و اجتماعی (ازجمله نیاز به جابه‌جایی جمعیت، تبخیر بالا و وابستگی به بارش‌های فصلی)، کارآیی آن‌ها را در برخی مناطق با چالش‌هایی مواجه کرده‌است. درمقابل، مخازن ساحلی به‌ویژه نسل دوم این مخازن با تکیه بر نوآوری‌های طراحی و جانمایی توانسته‌اند برخی از این چالش‌ها را برطرف کرده و به گزینه‌ای مکمل یا جایگزین در مناطق کم‌ارتفاع و ساحلی تبدیل شوند [۱۱، ۱۸۵]. مهم‌ترین تفاوت‌های موجود میان مخازن داخل‌سرزمینی و دو نسل از مخازن ساحلی در اطلاع‌نگاشت ۴ نشان داده شده‌است.

**اطلاع‌نگاشت ۴: تفاوت‌های موجود میان مخازن داخل‌سرزمینی و دو نسل مخازن ساحلی [۱۱]**

| جنبه موردبررسی | مخازن داخل‌سرزمینی | مخازن ساحلی نسل اول | مخازن ساحلی نسل دوم |
|---|---|---|---|
| کیفیت آب | خوب (از حوضه‌های محافظت‌شده) | ضعیف (جمع‌آوری و ذخیره همه آلودگی‌ها) | خوب (تنها جمع‌آوری آب تمیز، هدایت آب آلوده به دریا) |
| سطح آب | متغیر، بالاتر از سطح دریا | متغیر، نزدیک سطح دریا | تقریبا ثابت، نزدیک سطح دریا |
| ترازبندی سد (جهت سد نسبت به جریان آب)[1] | عمود بر جهت جریان | عمود بر جهت جریان | زاویه کم با جهت جریان |
| محل احداث سد[2] | محدود (در تنگه‌ها و دره‌های باریک) | محدود (تنها در دهانه رودخانه) | نامحدود (داخل یا خارج دهانه رودخانه) |
| نوع طراحی سد | بتنی، خاکی/سنگی برای فشار بالای آب | بتنی، خاکی/سنگی برای فشار پایین، همراه با امواج/مد | بتنی، خاکی/سنگی برای فشار پایین، همراه با امواج/مد، با یا بدون سد نرم |

1. Dam Alignment
2. Dam Site

| جنبه موردبررسی | مخازن داخل‌سرزمینی | مخازن ساحلی نسل اول | مخازن ساحلی نسل دوم |
|---|---|---|---|
| طول سد | کوتاه | کوتاه | بلند |
| تاثیرات زیست‌محیطی | بالا | متوسط (مانع سیلاب، عبور ماهی‌ها، کشتی‌ها) | پایین |
| نشت آب[1] | براساس اختلاف فشار | براساس اختلاف چگالی | براساس اختلاف چگالی |
| منبع آلاینده‌ها | زمینی | زمینی + آب دریا | زمینی + آب دریا |
| هزینه جابه‌جایی جمعیت[2] | بالا | ندارد | ندارد |
| استحصال (استخراج) آب[3] | با نیروی جاذبه | با پمپ | با پمپ |
| سطح آبگیری از حوزه آبریز[4] | ۱۰ تا ۵۰ درصد | ۱۰۰ درصد | ۱۰۰ درصد |

1. Seepage
2. Emigrant Cost
3. Water Extraction
4. Water Catchment

# بخش دوم
# سیر احداث مخازن ساحلی نسل اول در چین

## ۱. مقدمه

در شرایطی که بحران آب به یکی از چالش‌های راهبردی قرن بیست‌ویکم تبدیل شده‌اشت، تجربه چین در توسعه مخازن ساحلی نمونه‌ای کم‌نظیر از تلفیق مهندسی نوین با ملاحظات محیط‌زیستی برای مدیریت منابع آب در مناطق پرجمعیت و حاشیه دریاست. در این بخش با استفاده از نمونه‌های اولیه پیاده‌سازی‌شده مخازن ساحلی در کشور چین بیان خواهد شد که چگونه این کشور با برخورداری از سابقه‌ای دیرینه در مدیریت آب توانسته‌است توسعه مخازن ساحلی را به یکی از محورهای نوآوری در مهندسی منابع آب خود تبدیل کند؛ راهکاری که باهدف کاهش هدررفت منابع، افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی و مقابله با شوری در مناطق ساحلی دنبال می‌شود.

این بخش باهدف ترسیم چارچوبی تحلیلی برای گونه‌شناسی و مسیر توسعه مخازن ساحلی در چین تنظیم شده‌است. این چارچوب تحلیلی به‌ویژه در تحلیل جایگاه مخازن نسل دوم در شهر شانگهای در فصل بعدی- که شاخص‌ترین نمونه‌های کنونی در این حوزه به‌شمار می‌روند- نقش تعیین‌کننده‌ای خواهدداشت. در سه دهه گذشته، چهار پروژه بزرگ در مصب رودخانه یانگ‌تسه در این شهر به اجرا درآمده‌اند که از نظر مقیاس، فناوری و بهره‌وری جزو شاخص‌ترین طرح‌های مهندسی منابع آب در سطح ملی به‌شمار می‌روند [۲۰]. درواقع، اولین نمونه نسل دوم مخازن ساحلی جهان در مصب رودخانه یانگ‌تسه در شانگهای چین ساخته شده‌است و این مجموعه پروژه‌ها به‌عنوان نمونه‌های موفق نسل دوم مخازن ساحلی در سطح جهانی شناخته می‌شوند [۳].

ازاین‌رو، در این بخش از گزارش سعی شده‌است تصویری جامع از روند تحول مخازن ساحلی در چین ارائه شود و نمونه‌های متنوع این سازه‌ها تا پیش از اجرای پروژه‌های شانگهای معرفی شود. تمامی پروژه‌هایی که به‌عنوان مخزن ساحلی در کشور چین شناخته می‌شوند، با استفاده از داده‌های موجود در منابع تخصصی موردبررسی قرار گرفته‌اند. اگرچه در بررسی هریک از نمونه‌ها از بیان جزئیات فنی عمیق پرهیز شده‌است، اما تلاش شده‌است تصویری نسبتا ساختاریافته و تفصیلی از تجربیات چین در زمینه توسعه مخازن ساحلی ارائه شود. این چارچوب تحلیلی باهدف ایجاد درکی منسجم از گونه‌شناسی، روند تاریخی و تنوع کارکردی مخازن ساحلی در چین تدوین شده‌است تا شناخت دقیق‌تری از جایگاه مفهومی و کارکردی این سازه‌ها در بستر تحول تاریخی آن‌ها فراهم شود.

**اطلاع‌نگاشت ۵: سیر تکاملی مخازن ساحلی در چین به‌تفکیک مراحل موردبررسی**

| مخازن ساحلی نسل اول (از نوع دهانه رودخانه‌ای) | مخازن ساحلی نسل اول (از نوع خلیجی) | مخازن ساحلی نسل دوم |
|---|---|---|
| با استفاده از سازه‌ای ساده نظیر بند یا دروازه جزرومدی، دهانه رودخانه مسدود شده و فضای بستر رودخانه به‌عنوان محل ذخیره آب عمل می‌کند. | با احداث سدهای طویل و بهره‌گیری از سازه‌های مکمل، فضای داخلی خلیج محصور شده و به‌عنوان مخزن ذخیره آب مورداستفاده قرار می‌گیرد. | سازه مخزن به‌طورکامل خارج از دهانه رودخانه احداث می‌شود. جهت‌گیری سد به صورت عمود بر جریان رودخانه نیست و جریان آب را به‌طورکامل مسدود نمی‌سازد. |
| ۳ سازه باستانی چین + ۷ سازه معاصر احداث‌شده در سرزمین اصلی چین | ۳ مخزن معاصر احداث‌شده در سرزمین اصلی چین + ۲ مخزن احداث‌شده در هنگ‌کنگ (پیش از الحاق به چین) | مخازن ساحلی کلان‌شهر شانگهای |

## ۲. پیشینه تاریخی مهندسی آب و مخازن در چین

تاریخ مهندسی منابع آب در چین نشان‌دهنده درک عمیق و پیشرفته‌ای از تعامل انسان با طبیعت در مناطق ساحلی و مصبی است. نخستین مخزن پایین‌دست[1] این کشور در دوران سلسله تانگ[2] به لطف سیل‌بند تاشان که یکی از چهار پروژه مشهور مهندسی هیدرولیک در چین باستان است، پدیدار شد.

بند تاشان در سال ۸۳۳ پیش از میلاد در پایین‌دست رودخانه یین[3] و در نزدیکی نینگ‌بو ساخته‌شد. این سازه با طول تقریبی ۱۳۴ متر و ارتفاع ۳ متر در اصل برای جلوگیری از نفوذ آب شور دریا به داخل آب شیرین رودخانه در هنگام مد طراحی

1. Downstream Reservoir
2. Tang Dynasty
3. Yin River

شده‌بود. بااین‌حال، ساخت آن به‌صورت طبیعی باعث مهار آب شیرین بالادست شد و درنتیجه، مخزنی در بستر رودخانه شکل گرفت که امکان آبیاری بیش از ۶ هزار هکتار زمین کشاورزی را فراهم می‌ساخت [۲۱].




**تصویر ۱۲: بند تاشان چین**

نمونه دیگری از این گونه سازه‌ها، سد مولان-پی[1] است که در سال ۱۰۶۴ در دوره سلسله سونگ و در شهر پوتیین[2] استان فوجیین[3] چین ساخته‌شد. این پروژه که حدود ۹۶۰ سال قدمت دارد، دارای ۱۱۰ متر طول و ۷/۲۵ متر ارتفاع است و از اجزای هیدرولیکی متعددی نظیر دریچه‌های تنظیم جریان و سازه‌های تخلیه رسوب[4] تشکیل

1. Mulanpi
2. Putian
3. Fujian
4. Sediment Flushing Structures

شده‌است. عملکرد موفق این سد در تامین آب آبیاری برای مناطق وسیع پیرامون تاکنون ادامه دارد [۱۳].



**تصویر ۱۳: سازه باستانی مولان‌پی**

مردم محلی به‌منظور مقابله با تهدیدهای ترکیبی ناشی‌از سیلاب‌های رودخانه‌ای و پیشروی آب شور دریا، سد دیگری در سال ۱۱۸۳ میلادی (دوره سلسله سونگ جنوبی) در شهر تای‌جو[1] استان جِجیانگ واقع در ساحل دریای چین شرقی احداث کردند که امروزه با عنوان دروازه جین‌چینگ[2] شناخته می‌شود. این سازه طی بیش از هشت قرن گذشته

1. Taizhou : 台州 یک شهر ساحلی در استان جِجیانگ چین
2. Jinqing Gate : 金清闸

این سازه در طول تاریخ بارها تخریب شده و از نو ساخته شده‌است. جدیدترین مورد شامل «دروازه جدید جین‌چینگ» است که در سال ۱۹۳۲ در نزدیکی محل اصلی سازه باستانی ساخته‌شد و جایگزین عملکرد دروازه باستانی شد.

نقش مهمی در کنترل سیلاب‌ها، جلوگیری از نفوذ شوری و ذخیره آب شیرین در این منطقه ایفا کرده‌است [۱۵].




**تصویر ۱۴: مکان‌یابی پروژه‌های باستانی حفاظت از آب چین (اشکال اولیه مخازن ساحلی) در یک نقشه متعلق به سلسله تانگ [۱۵]**

همانطور که گفته‌شد، بند تاشان، سد مولان‌پی و دروازه جین‌چینگ نمونه‌هایی شاخص از پروژه‌های مهندسی آب در مصب رودخانه‌ها در تاریخ چین هستند که همگی باهدف مقابله با نفوذ شوری و ذخیره آب شیرین طراحی شده‌اند. این سازه‌ها را می‌توان پیش‌نمونه‌های مخازن ساحلی نوین دانست که چین با ساخت و بهره‌برداری از آن‌ها توانست تجربیات ارزشمندی در زمینه توسعه سامانه‌های مدیریت منابع آب در دوره‌های بعدی به‌دست آورد [۱۳، ۱۵ و ۲۱].

## ۳. روند توسعه مخازن ساحلی پس از تاسیس جمهوری خلق چین

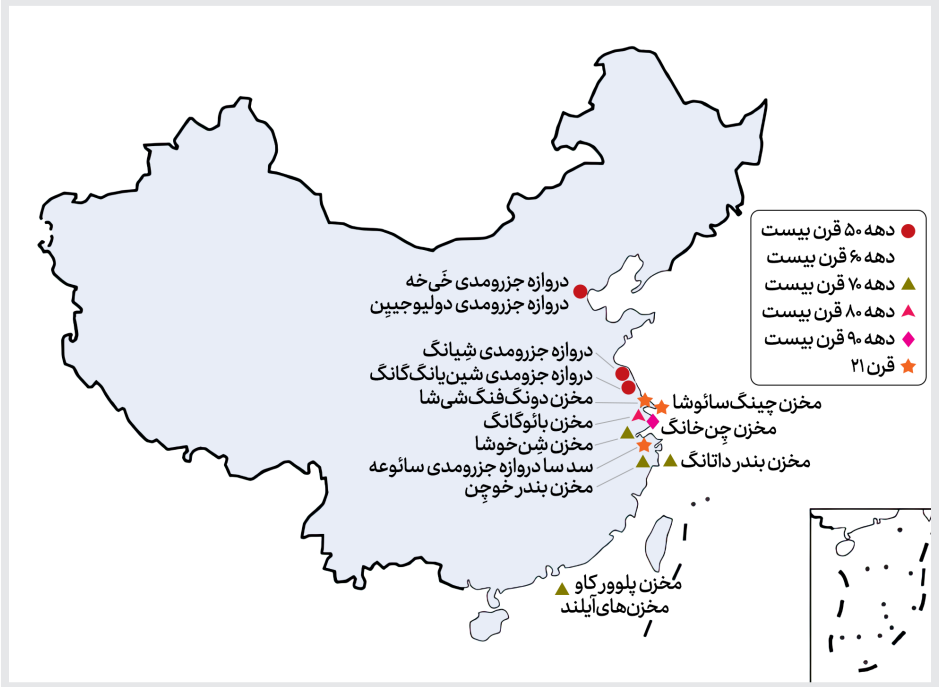
همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، کشور چین با پیشینه‌ای کهن در حوزه مهندسی منابع آب از دیرباز در مناطق ساحلی خود به احداث مخازن و سازه‌های کنترلی پرداخته‌است و سابقه احداث سازه‌هایی که از آن‌ها به‌عنوان مخزن ساحلی نام برده می‌شود، در این کشور به بیش از هزار سال پیش بازمی‌گردد. بااین‌حال، در این بخش با ذکر نمونه‌های جدیدتر نشان داده خواهدشد که روند برنامه‌ریزی و توسعه این سازه‌ها در دوره معاصر، به‌ویژه پس از تاسیس جمهوری خلق چین، وارد مرحله‌ای نظام‌مند و فناورانه شده‌است.

بر اساس آخرین آمار (۲۰۲۳)، سرانه منابع آب چین[1] حدود ۱,۸۰۰ مترمکعب است [۲۴] که این کشور را در میان کشورهای با پایین‌ترین سرانه منابع آبی قرار می‌دهد [۲۵]. همزمان با رشد سریع شهرنشینی که تا سال ۲۰۲۴ به سکونت بیش از ۶۵ درصد جمعیت چین در مناطق شهری انجامیده‌است [۲۶]، بیش از ۴۰۰ شهر این کشور طی سال‌های متمادی با بحران کم‌آبی مواجه بوده‌اند [۲۷]. یافته‌های دکتر یانگ شوچینگ در سال ۲۰۱۷ نشان می‌داد که با تمرکز حدود ۶۰ درصد از جمعیت این کشور در ۱۲ استان ساحلی و باوجود روان‌آب سالانه‌ای افزون‌بر ۱,۷۲۴ کیلومترمکعب به دریا (که تنها ۲/۹ درصد آن ذخیره‌سازی می‌شد)، مشکل اصلی چین کمبود ذاتی آب نیست، بلکه ضعف در سامانه‌های ذخیره‌سازی است. به باور این پژوهشگر، چین با توسعه مخازن ساحلی می‌تواند با کاهش هدررفت منابع به دریا راهکاری موثر برای مقابله با بحران آب ارائه دهد [۲۸].

موقعیت جغرافیایی نمونه‌هایی از مخازن ساحلی که پس از تاسیس چین جدید احداث شده‌اند، در تصویر صفحه بعد نشان داده شده‌است. همانگونه که مشاهده می‌شود، مخازن ساحلی چین از استان‌های شمالی مانند خِبِی[2] و تیِن‌جین[3] تا جنوبی‌ترین

1. Water Resource Per Capita
2. Hebei :河北
3. Tianjin: 天津

نقاط مانند استان گوانگ‌دونگ[1] و منطقه ویژه اداری هنگ‌کنگ[2] گسترش یافته‌اند و تمرکز اصلی آن‌ها در استان‌های جیانگ‌سو[3]، جِجیانگ و شهر شانگهای[4] است.




**تصویر ۱۵: نمایش موقعیت جغرافیایی نمونه‌هایی از مخازن ساحلی که پس از تاسیس جمهوری خلق چین احداث شده‌اند [۱۵]**

همانطور که در تصویر بالا مشاهده می‌شود، از منظر زمانی، بیشترین حجم ساخت‌وساز در دهه‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۰ میلادی (۱۳۳۰ تا ۱۳۵۰ شمسی) انجام شده‌است. البته کارکرد بیشتر مخازن ساخته‌شده در این دهه‌ها شامل دفع شوری و جلوگیری از سیلاب بوده‌است. هنگ‌کنگ- که آن زمان تحت‌حاکمیت بریتانیا قرار داشت- با اتصال جزایر طبیعی توانست دو مخزن بزرگ نیمه‌طبیعی در این بازه زمانی ایجاد کند. این تجربه

1. Guangdong: 广东
2. Hong Kong: 香港
3. Jiangsu: 江苏
4. Shanghai: 上海

هرچند خارج از قلمرو دولت مرکزی چین انجام شد، اما بعدها به‌عنوان یکی از نخستین نمونه‌های موفق استفاده از موقعیت جغرافیایی ساحلی برای ذخیره آب شیرین در منطقه موردتوجه قرار گرفت و زمینه‌ساز گسترش این الگو در سرزمین اصلی چین شد [۱۳].

در اینجا لازم به توضیح است که از دهه ۱۹۹۰ میلادی تا به امروز، موج جدیدی از ساخت مخازن ساحلی در چین آغاز شده‌است که همان‌طور که از نمونه‌های مطرح شده درادامه‌ی این بخش برمی‌آید، تمرکز بر ذخیره آب شیرین در محیط‌های ساحلی و انتقال محل احداث سازه‌های نگهدارنده آب از رودخانه‌ها به نواحی خلیجی و دریایی- به‌خصوص با احداث مخازن ساحلی نسل دوم شانگهای- ازجمله ویژگی‌های اصلی آن‌ها به‌شمار می‌آید.

**جدول ۱: مخازن ساحلی کشور چین (به‌جز مخازن مصب رود یانگ‌تسه در شانگهای)[۱]**

| نام | استان/رودخانه/ دریای مربوطه | سال اتمام | سطح مخزن[۲] ($km^2$) | ظرفیت مخزن[۳] ($million\ m^3$) | طول سد[۴] (m) | حوزه آبریز[۵] ($km^2$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| بند تاشان | جِجیانگ/ یین‌جیانگ[۶]/ دریای چین شرقی | ۸۳۳ | - | - | ۱۳۴ | ۳۵۰ |
| سد مولان-پی | فوجین/ رود مولان[۷]/ دریای چین شرقی | ۱۰۶۴ | - | - | ۱۱۰ | ۲۱۹ |

۱. اگرچه در برخی منابع از ساختاری در ماکائو با نام ReservatÓrio به‌عنوان یکی از مخازن ساحلی کشور چین یاد شده‌است، اما این پروژه پیش از پیوستن ماکائو به جمهوری خلق چین احداث شده و اطلاعات فنی و مدیریتی کافی درباره آن در منابع رسمی چینی در دسترس نیست. ازاین‌رو، این مورد در تحلیل حاضر لحاظ نشده‌است. احیای اراضی و تبدیل زمین به یک منطقه صنعتی هدف اولیه این پروژه بود، اما به‌دلیل افزایش تقاضای آب در ماکائو، این منطقه به مخزن ذخیره آب برای تاسیسات تصفیه آب تبدیل شد و تاکنون برای همین منظور مورداستفاده قرار گرفته‌است.

2. Surface Area
3. Capacity
4. Dam Length
5. Catchment
6. Yinjiang: 鄞江
7. Mulan River: 木兰溪

| نام | استان/رودخانه/ دریای مربوطه | سال اتمام | سطح مخزن[۲] ($km^2$) | ظرفیت مخزن[۳] ($million\ m^3$) | طول سد[۴] (m) | حوزه آبریز[۵] ($km^2$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| دروازه جین‌چینگ[۱] | جِجیانگ/ رود جین‌چینگ[۲]/ دریای چین شرقی | ۱۱۸۳ | - | - | - | - |
| دروازه جزرومدی شِیانگ[۳] | جیانگ‌سو/ رود شِیانگ[۴]/ دریای زرد | ۱۹۵۶ | | | ۴۱۰٫۱۰ | ۴٫۰۳۶ |
| دروازه جزرومدی شین‌یانگ‌گانگ[۵] | جیانگ‌سو/ رود مانگ‌شِه[۶]/ دریای زرد | ۱۹۵۷ | | | ۲۴۰ | ۲٫۴۷۸ |
| دروازه جزرومدی خَی‌خِه[۷] | تیین‌جین/ رود خَی‌خه[۸]/ دریای بوهای | ۱۹۵۸ | | | ۱۸۸ | ۳۲٫۷۰۰ |
| دروازه جزرومدی دولیوجیین[۹] | تیین‌جین/ رود خَی‌خه/ دریای بوهای | ۱۹۶۷ | | | ۲۸۷ | ۴۶٫۰۰۰ |
| مخزن بندر داتانگ[۱۰] | جِجیانگ/ یوئه‌جینگ‌یانگ[۱۱]/ دریای شرقی چین | ۱۹۷۳ | ۵٫۸۶ | ۴۶٫۷ | ۷۰ | نینگبو |
| مخزن بندر خوچِن[۱۲] | جِجیانگ/ خوچِن[۱۳]/ دریای شرقی چین | ۱۹۷۳ | ۹٫۴ | ۸۱٫۷ | ۱۰۲ | نینگبو |

1. Jinqing Gate :金清闸
2. Jinqing River: 金清河
3. Sheyang Tide Gate:: 射阳河闸
4. Sheyang River:射阳河
5. Xinyanggang Tide Gate:: 新洋港闸
6. Mangshe River: 蟒蛇河
7. Haihe Tide Gate: 海河防潮闸
8. Haihe River: 海河
9. Duliujian Tide Gate: 独流减河防潮闸
10. Datang Harbor: 大塘港水库
11. Yuejingyang:岳井洋
12. Huchen Harbor: 胡陈港水库
13. Huchen River/Creek: 胡陈溪

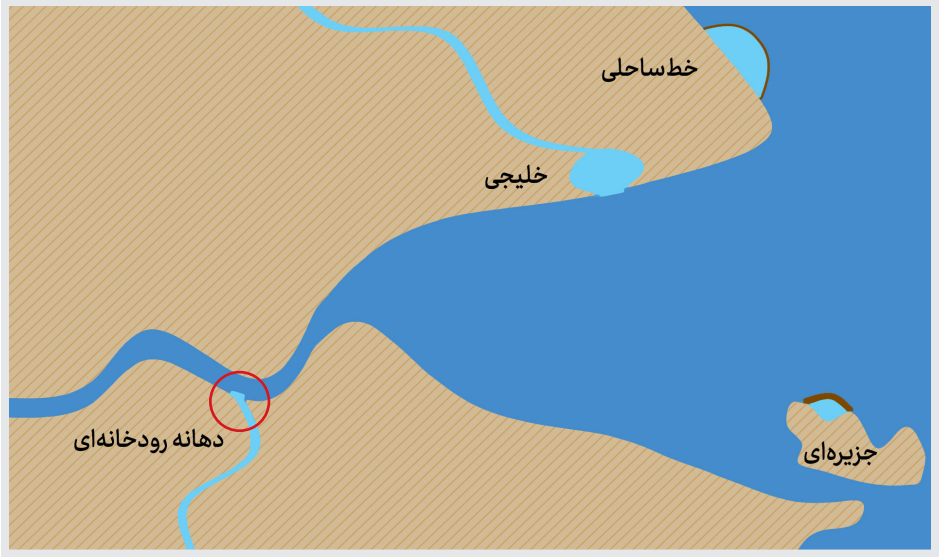
| نام | استان/رودخانه/ دریای مربوطه | سال اتمام | سطح مخزن[۲] ($km^2$) | ظرفیت مخزن[۳] ($million\ m^3$) | طول سد[۴] (m) | حوزه آبریز[۵] ($km^2$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| بند یا سد رود سائوعه[۱] | جِجیانگ/ سائوعه[۲]/ دریای شرقی چین | ۲۰۰۷ | ۴۳٫۱ | ۱۴۶ | ۶۹۷ | ۵,۰۹۹ |
| پلوورِ کاو[۳] | هنگ‌کنگ/ دریای جنوبی چین | ۱۹۶۸ | ۱۲ | ۲۳۰ | ۲,۰۰۰ | ۴۵٫۹ |
| های-آیلند[۴] | هنگ‌کنگ/ دریای جنوبی چین | ۱۹۷۸ | ۶ | ۲۸۱ | ۷۵۰ +۴۳۱ | ۲۰۰ |
| مخزن شَن‌خوشا[۵] | جِجیانگ/ رود چیِن‌تانگ[۶]/ دریای شرقی چین | ۱۹۷۹ | ۰٫۴ | ۱٫۹ | ۲,۰۰۰ | ۵۵,۶۰۰ |
| مخزن باخه[۷] | شَن‌دونگ/ وانگ‌لیین‌خِه[۸]/ دریای زرد | ۱۹۷۸ (توسعه و به‌سازی اصلی در سال ۲۰۰۴) | ۱۱ | ۱۰۶ | ۲,۶۲۲ | ۲۵۶ |
| مخزن یوخوئَن[۹] | جِجیانگ | ۱۹۹۸ | ۱۱ | ۵۹ | ۱,۰۸۰ | ۱۶۶ |

## ۱.۳. اشکال اولیه مخازن ساحلی نسل اول با عنوان مخازن دهانه رودخانه‌ای

به‌طورکلی، پروژه‌های متعددی در مصب‌ها و نواحی ساحلی کشور چین از دهه ۱۹۵۰ راه‌اندازی شدند که تمرکز اصلی آن‌ها بر کنترل نفوذ آب شور دریا به مناطق داخلی و ایجاد

1. Cao'e River Sluice: 曹娥江大闸 (also known as Cao'e River Gate or Cao'e River Dam)
2. Cao'e River: 曹娥江
3. Plover Cove: 船湾淡水湖
4. High Island: 万宜水库
5. Shanhusha: 珊瑚沙水库
6. Qiantang River: 钱塘江
7. Bahe: 八河水库
8. Wanglianhe: 王连河
9. Yuhuan

امکان ذخیره‌سازی آب شیرین برای مصارف کشاورزی بود. برهمین‌اساس، سدها و دروازه‌های جزرومدی متعددی در دهانه رودخانه‌ها در امتداد سواحل این کشور ساخته شدند. همان‌طور که در بخش اول اشاره شد، مسدودسازی دهانه رودخانه با سازه‌ای مانند سد به شکل‌گیری نوع ابتدایی مخازن ساحلی نسل اول انجامید که به‌علت موقعیت قرارگیری آن با نام مخازن دهانه رودخانه‌ای نیز شناخته می‌شوند.




**تصویر ۱۶: مکان‌یابی مخزن ساحلی دهانه رودخانه‌ای [۱۵]**

نخستین مجموعه از این پروژه‌ها با احداث دروازه جزرومدی خَی‌خِه در تیِین‌جین و دروازه جزرومدی شِیانگ در استان جیانگ‌سو آغاز شد [۲۱]. دروازه‌های جزرومدی شین‌یانگ‌گانگ و سد یا دروازه جزرومدی دولیوجیِین نیز از نمونه‌های دیگر هستند. همانطور که از نام تمامی این سازه‌ها پیداست، همه این سازه‌ها باهدف اصلی ممانعت از پیشروی آب دریا در زمان مد طراحی شده‌بودند. بااین‌حال، شکل‌گیری محیط‌هایی با قابلیت ذخیره آب شیرین در پشت سد یکی از پیامدهای طبیعی احداث آن‌ها بود که به‌عنوان اشکال اولیه مخازن ساحلی نسل اول چین شناخته می‌شوند [۱۳].

در دهه ۱۹۷۰ نیز دروازه‌های جزرومدی بیشتری در دهانه رودخانه‌ها احداث شدند و موارد جدیدی از مخازن ساحلی نسل اول چین به‌وجود آمدند. به‌عنوان‌مثال، مخزن بندر داتانگ و مخزن بندر خوچِن هردو در خلیج سَن‌مِن[1] در استان جِجیانگ ازطریق احداث سدهایی در محل تلاقی رودخانه با خلیج ساخته شدند. مخزن بندر داتانگ در سال ۱۹۷۳ ساخته شد و دارای مساحت ۴/۷۹ کیلومترمربع و ظرفیت ۴۶/۷۵ میلیون مترمکعب بود. مخزن بندر خوچِن نیز در همان سال با ظرفیت کلی ۸۱/۷۳ میلیون مترمکعب احداث شد [۲۱].

جدیدترین نمونه از این نوع مخازن ساحلی نسل اول چین نیز سد سائوعه است که بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۷ در محدوده خلیج هانگ‌جو[2] ساخته شد [۲۱].

**اطلاع‌نگاشت ۶: سازه‌های شناخته‌شده به‌عنوان مخازن ساحلی نسل اول دهانه رودخانه‌ای چین**

**دروازه جزرومدی شِیانگ | 射阳河闸 | Sheyang Tide Gate**






سد یا دروازه جزرومدی شِیانگ در مصب رودخانه شِیانگ در استان جیانگ‌سو چین واقع شده‌است. این سازه که در سال ۱۹۵۶ به بهره‌برداری رسید، از دو بخش اصلی شامل سازه مرکزی به طول ۴۱۰ متر با ۳۵ دهانه کنترل جریان و شبکه کانال‌های هدایت آب به طول مجموع ۱/۹ کیلومتر تشکیل شده‌است. این سد با در نظر گرفتن شرایط خاص هیدرولوژیکی منطقه طراحی شده و قابلیت مدیریت و تخلیه جریان‌های آبی تا ظرفیت ۶,۳۴۰ مترمکعب بر ثانیه را داراست. عملکرد اصلی این سازه شامل کنترل جزرومد، جلوگیری از نفوذ آب شور، مدیریت سیلاب‌های فصلی و تامین آب موردنیاز برای کشاورزی است [۲۹].

1. Sanmen Bay
2. Hangzhou Bay

## دروازه جزرومدی خَی‌خِه | 海河防潮闸 | Haihe Tide Gate





سازه مرکزی سد به طول ۱۸۸ متر با ۸ دهانه کنترل جریان و سامانه کانال‌های هدایت آب به طول کلی ۲,۱۰۰ متر است. این مجموعه به‌طوریکپارچه عمل کرده و ظرفیت تخلیه آب ۱,۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه را داراست. طراحی این سازه به‌گونه‌ای است که همزمان سه عملکرد اصلی کنترل جزرومد، مدیریت سیلاب و جلوگیری از نفوذ آب شور را به‌طور موثر انجام می‌دهد. به‌لطف به‌روزرسانی‌های اخیر، این پروژه هم‌اکنون می‌تواند در برابر سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۰۰ ساله مقاومت کند. در جریان بارش‌های پیوسته و شدید در مرداد ۱۴۰۳ (آگوست ۲۰۲۴)، این دریچه نقش حیاتی در کنترل هم‌زمان سیلاب، مد دریا و بارش‌ها ایفا کرد. این تاسیسات ۱۴ بار طی ۶ شبانه‌روز باز و بسته شد و حدود ۲۹ میلیون مترمکعب آب تخلیه کرد که موجب جلوگیری از وقوع فاجعه در پایین‌دست رود شد [۳۰، ۳۱].

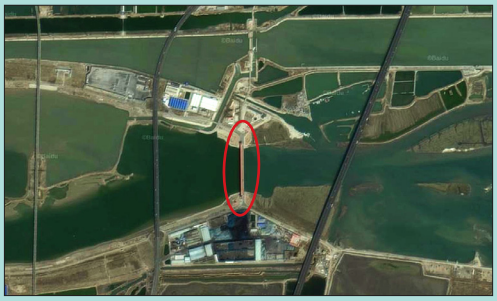
## دروازه جزرومدی شین‌یانگ‌گانگ | 新洋港闸 | Xinyanggang Tide Gate





این دروازه جزرومدی در شهرستان شیه‌یانگ واقع شده و یکی از ورودی‌های اصلی به دریا در این منطقه است. این دروازه جزرومدی با طول ۲۴۰ متر و مساحت حوضه آبریز ۲,۴۷۸ کیلومترمربع در جولای ۱۹۵۷ به بهره‌برداری رسید و از آن زمان به‌عنوان عنصر کلیدی در مدیریت آب در این منطقه شناخته می‌شود. این سازه همچنین در دسامبر ۲۰۲۱ به‌عنوان یکی از نخستین آثار آبی استان جیانگ‌سو در فهرست میراث آبی استان قرار گرفت. این سازه نقش حیاتی در کنترل جزرومد و محافظت از مناطق اطراف خود در برابر سیلاب‌ها ایفا می‌کند [۳۲].

## سد یا دروازه جزرومدی دولیوجیِین | 独流减河防潮闸 | Duliujian Gate Tide





این دروازه جزرومدی در منطقه بندری جدید تیِین‌جین در محل ورودی رودخانه دو لیو جیِین به دریا قرار دارد و در سال ۱۹۶۷ ساخته شده‌است. این سازه در ابتدا دارای ۲۲ دهانه بود، اما پس از بازسازی آن در سال‌های ۱۹۹۳ تا ۱۹۹۴ تعداد دهانه‌های آن به ۲۶ دهانه رسید و ظرفیت عبور جریان آن به ۳,۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه افزایش یافت. طول سد جدید ۲۸۷/۲ متر ثبت شده‌است. عملکرد اصلی این دروازه شامل جلوگیری از جزرومد و تخلیه آب‌های سیلابی در دوران طوفان است. پس از تکمیل نیروگاه بزرگ داگانگ قرار است از این دروازه به‌عنوان سامانه ذخیره آب برای نیروگاه بهره‌برداری شود. این دروازه به‌عنوان بخشی از پروژه اصلاح سامانه آبیاری رودخانه‌های بزرگ چین ساخته‌شد و به تغییر نحوه تخلیه آب رودخانه دولیوجیِین به دریا کمک کرد [۳۳].

## مخزن بندر داتانگ | 大塘港水库 | Datang Harbor



مخزن داتانگ یکی از پروژه‌های مهم مدیریت منابع آبی در استان جِجیانگ چین محسوب می‌شود. این مخزن که در سال ۱۹۷۳ در شهرستان شیانگ‌شان تاسیس شد، با مساحت آبی ۵/۸۶ کیلومترمربع و حجم ذخیره ۴۶/۷۹ میلیون مترمکعب نقش حیاتی در تامین آب شیرین، کنترل شوری و توسعه کشاورزی پایدار در منطقه ایفا می‌کند. ساختار مهندسی این پروژه شامل دیواره‌های ساحلی، کانال‌های انتقال آب و تاسیسات کنترل جزرومد می‌شود [۳۶].

## بند یا سد رود سائوعه | 曹娥江大闸 | Cao'e River Sluice







سد سائوعه واقع در مصب رودخانه سائوعه با بهره‌گیری از آخرین فناوری‌های مهندسی آب دارای ۲۸ دریچه و طول کلی ۶۹۷ متر است. تراز کف دریچه‌ها در سطح ۰٫۵- متر نسبت به سطح دریا قرار دارد که امکان کنترل دقیق جریان‌های جزرومدی را فراهم می‌سازد. طراحی مهندسی این سد شامل سامانه‌های هوشمند کنترل جریان، دیواره‌های بتنی مقاوم و مسیرهای ویژه ماهی‌روی به طول ۴۵۰ متر است که همزمان با کارکردهای فنی خود به حفظ زیست‌بوم آبی منطقه کمک می‌کند. موقعیت راهبردی این سد در نزدیکی مراکز مهم اقتصادی مانند شائوشینگ و هانگ‌جو، آن را به بخشی کلیدی از طرح توسعه پایدار شرق استان جِجیانگ تبدیل کرده‌است. این سازه چالش‌های ناشی‌از جزرومدهای شدید و سیلاب را مدیریت می‌کند و همزمان، به‌عنوان الگویی موفق از تلفیق فناوری پیشرفته و ملاحظات زیست‌محیطی در پروژه‌های آبی چین تلقی می‌شود [۳۴، ۳۵].

## مخزن بندر خوچِن | 胡陈港水库 | Huchen Harbor



این مخزن در انتهای شمالی خلیج سَن‌مِن واقع شده‌است. این مخزن با شکل خاص ۷مانند خود در زمره مخازن میان‌مقیاس[1] چین قرار دارد. منابع تامین آب آن شامل سه جریان اصلی رودخانه‌ای است که مجموع حوضه آبریز آن را با مساحت ۱۹۶ کیلومترمربع تغذیه می‌کنند. طول شاخه اصلی جریان به ۲۹ کیلومتر می‌رسد و ظرفیت کل مخزن افزون‌بر ۸۱/۷۳ میلیون مترمکعب است. از این میزان، ۲۴ میلیون مترمکعب به‌عنوان حجم مرده و ۴۳ میلیون مترمکعب به‌عنوان حجم مفید در بهره‌برداری تعیین شده‌اند. متوسط جریان ورودی سالانه به مخزن حدود ۱۳۷ میلیون مترمکعب برآورد می‌شود. این مخزن از بدو احداث به‌عنوان تاسیساتی چندمنظوره با اولویت تامین آب برای آبیاری اراضی کشاورزی منطقه و فعالیت‌های شیلاتی مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌است و در مجاورت آن، حدود ۱۱۲ هزار هکتار اراضی کشاورزی و روستاهای متعدد قرار دارد. در سمت چپ سد مسیر ماهی‌رو به‌منظور تسهیل جابجایی آبزیان تعبیه شده‌است که امکان ورود آب شور در هنگام مد را فراهم می‌کند و منطقه‌ای با آب نیمه‌شور در محدوده‌ای به طول ۲ کیلومتر در اطراف بدنه سد را شکل می‌دهد که تنوع زیستی آبی را در آن افزایش می‌دهد [۳۷].

---

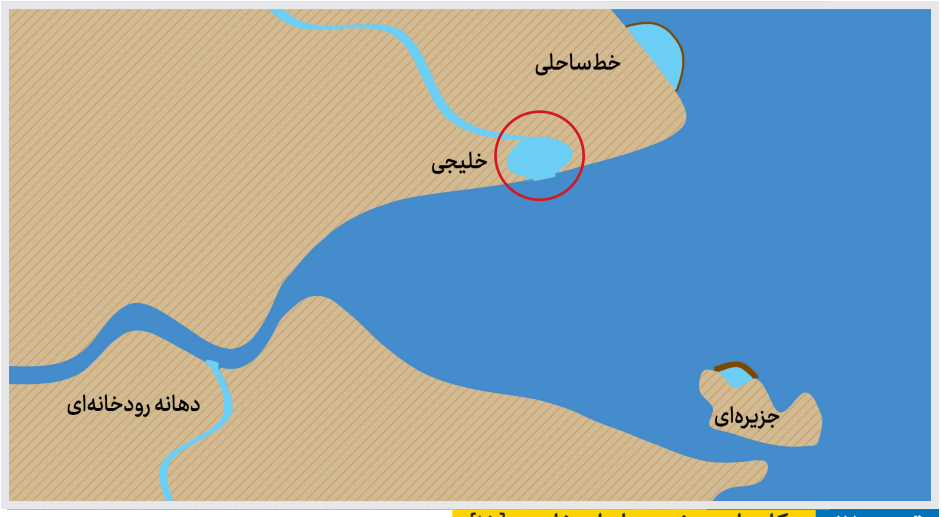
۱. اصطلاح «میان‌مقیاس» مربوط به روش تقسیم‌بندی انواع مخازن براساس مقیاس در کشور چین است. این روش دسته‌بندی به شرح زیر است:
هنگامی که ظرفیت کل مخزن مساوی یا بیش از ۱ میلیارد مترمکعب باشد، مخزن بزرگ‌مقیاس نوع ۱ (大 (1) 型水库: Large Reservoir (Type I)) محسوب می‌شود؛ هنگامی که مساوی با ۱۰۰ میلیون مترمکعب و یا بین ۱۰۰ میلیون مترمکعب تا ۱ میلیارد مترمکعب باشد، مخزن بزرگ‌مقیاس نوع ۲ (大 (2) 型水库: Large Reservoir (Type II)) محسوب می‌شود؛ هنگامی که مساوی با ۱۰ میلیون مترمکعب و یا بین ۱۰ تا ۱۰۰ میلیون مترمکعب باشد، مخزن متوسط یا میان‌مقیاس (中型水库: Medium-sized Reservoir) محسوب می‌شود؛ هنگامی که مساوی با ۱ میلیون مترمکعب و یا بین ۱ تا ۱۰ میلیون مترمکعب باشد، مخزن کوچک‌مقیاس نوع ۱ (小 (1) 型水库: Small Reservoir (Type I)) محسوب می‌شود؛ و هنگامی که مساوی با ۱۰۰ هزار مترمکعب و یا بین ۱۰۰ هزار مترمکعب تا ۱ میلیون مترمکعب باشد، مخزن کوچک‌مقیاس نوع ۲ (小 (2) 型水库: Small Reservoir (Type II)) محسوب می‌شود [۱۹۲].

بااین‌که سدها و دروازه‌های جزرومدی واقع در دهانه رودخانه‌ها در کشور چین دارای ساختار ساده‌ای هستند، اما به‌طور موثر از نفوذ آب شور دریا به داخل رودخانه جلوگیری کرده و امکان استفاده از آب شیرین برای کشاورزی را فراهم ساخته‌اند. عملکرد این سامانه‌ها عمدتا براساس باز و بسته کردن دریچه‌ها در هنگام جزرومد تنظیم شده و بدین‌ترتیب، از پیشروی آب شور به سمت بالادست جلوگیری می‌کنند.

بااین‌وجود، این نوع مخازن دارای محدودیت‌هایی نیز هستند که ازجمله آن‌ها می‌توان به ایجاد مانع در تبادل طبیعی رسوبات در نواحی مصبی اشاره کرد که در بلندمدت باعث رسوب‌گذاری، کاهش عمق و انسداد مسیرهای رودخانه‌ای می‌شود. افزون‌برآن، این مخازن معمولا در بسترهای نسبتا باریک رودخانه‌ها ایجاد می‌شوند و ظرفیت ذخیره‌سازی آب شیرین در آن‌ها محدود است [۲۰ و ۲۱]. ازاین‌رو، محققان و طراحان مخازن ساحلی با درک این موضوع به‌درستی دریافتند که باید افق دید خود را فراتر از بستر رودخانه و به سمت خلیج‌ها و مناطق ساحلی گسترش دهند تا بدین‌ترتیب بتوانند ظرفیت مخازن ساحلی را بهبود بخشند.

### ۲.۳. اشکال نوین‌تر مخازن ساحلی نسل اول با عنوان مخازن خلیجی

با گسترش طرح‌های مهندسی و استفاده از سدهای طویل‌تر برای بستن دهانه خلیج‌ها، نوعی جدیدی از مخازن ساحلی نسل اول شکل گرفت که به‌علت موقعیت احداث آن‌ها با عنوان مخازن ساحلی خلیجی نیز شناخته می‌شوند. این مخازن به‌واسطه محصورسازی بخش‌هایی از خلیج به‌طور معمول از ظرفیت ذخیره‌سازی بیشتری نسبت به مخازن دهانه رودخانه‌ای برخوردارند. درادامه، نمونه‌های این نوع مخازن در کشور چین موردبررسی قرار می‌گیرند.




**تصویر ۱۷: مکان‌یابی مخزن ساحلی خلیجی [۱۵]**

## ◆ مخازن خلیجی هنگ‌کنگ

تا قبل از دهه ۱۹۶۰ که در آن زمان مشکلات کمی برای تامین آب آشامیدنی وجود داشت و کمبود مواد غذایی برای حدود ۳ میلیارد نفر از جمعیت کره زمین در اولویت قرار داشت، تقریبا تمام مخازن ساحلی جهان برای اهداف کشاورزی ساخته شده‌بودند. اما در دهه ۱۹۶۰ همزمان با رشد سریع اقتصاد هنگ‌کنگ و افزایش جمعیت آن نیاز به تامین آب بیشتر به چالش مهمی تبدیل شد. درهمین‌راستا، دولت وقت سیاست محدودیت آب را اجرا کرد، به‌این‌معنی که آب هر ۴ روز یک‌بار و تنها در ۴ ساعت از روز تامین می‌شد. درنهایت، آقای مورگان[1]- مدیر وقت اداره تامین آب هنگ‌کنگ[2]- متوجه شد که کمبود آب در هنگ‌کنگ به دلیل کمبود ذخیره آب- و نه کمبود بارش- است، چراکه بارش سالانه این منطقه حدود ۲/۵ متر در سال بود. او پیشنهاد کرد که خلیج پلوور کاو به مخزن آب تبدیل شود. ایده وی براین‌اساس بود که از جزایر موجود در این منطقه استفاده شود و

1. T.O. Morgan
2. Hong Kong's Water Supplies Department

آن‌ها ازطریق سدها به یکدیگر متصل شوند. ساخت این پروژه که ظرفیت اولیه آن ۱۷۰ میلیون مترمکعب بود، در سال ۱۹۶۰ آغاز شد و در سال ۱۹۶۸ به اتمام رسید. بعدتر و در فاصله سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۷۳، سدهای این مخزن افزایش ارتفاع یافتند و درنتیجه، ظرفیت آن به ۲۳۰ میلیون مترمکعب رسید [۱۳].

موفقیت پلووِر کاو الهام‌بخش ساخت دومین مخزن بزرگ هنگ‌کنگ یعنی مخزن ساحلی های-آیلند بود که در سال ۱۹۷۸ با هزینه ۱/۳۵ میلیارد دلار هنگ‌کنگ ساخته‌شد [۱۳]. این مخزن نیز در داخل دریا ساخته شده‌است و برای مقابله با امواج شدید دریا، دو سد اصلی در شرق و غرب آن ایجاد شده‌اند که هریک دارای یک سد فرعی یا موج‌شکن هستند و بین سد اصلی و سد فرعی نیز یک منطقه حائل کاهش‌دهنده انرژی موج وجود دارد تا نیروی برخورد امواج به سد اصلی را کاهش دهد [۲۰].

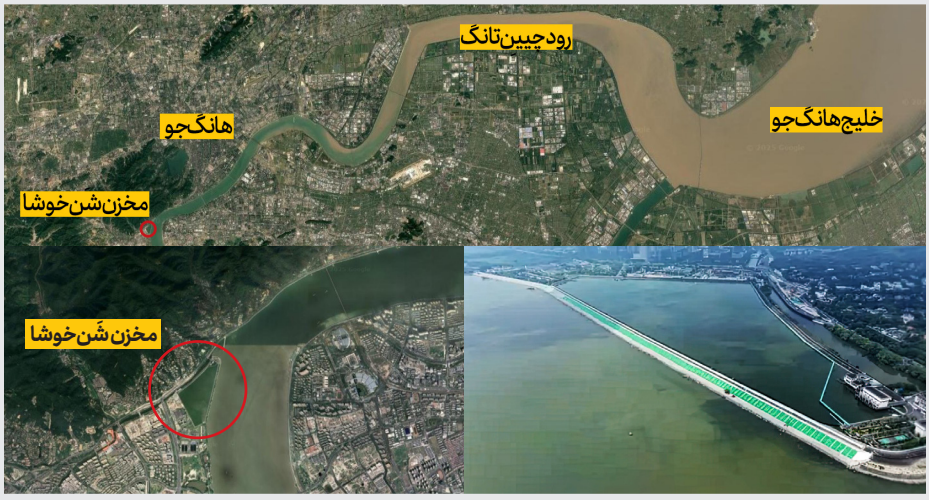



**تصویر ۱۸: همانطور که مشاهده می‌شود، هر دو مخزن با استفاده از چند سد مختلف برای اتصال جزایر و اراضی محدوده خلیج به‌وجود آمده‌اند.**

گفتنی است مخزن پلوورِکاو بعدها به دلیل قرارداد موفق هنگ‌کنگ با سرزمین اصلی چین برای آنچه آن را تجارت آب شیرین می‌نامیدند، کنار گذاشته شد. بااین‌حال، هنگ‌کنگ نخستین شهری در جهان بود که مخزن خلیجی احداث کرد. جالب‌توجه است که تقریبا همزمان با آن نیز ایده‌ای مشابه برای استفاده از فضای خلیج جهت ساخت مخازن ساحلی- هرچند در مقیاسی بسیار کوچک‌تر نسبت به مخزن پلوورِکاو- در سرزمین اصلی چین مطرح و اجرا شد که همان مخزن شَن‌خوشا نام دارد [۲۱].

## ◆ مخزن خلیجی شَن‌خوشا

مخزن شَن‌خوشا که در آگوست ۱۹۷۹ در نزدیکی رودخانه چیِن‌تانگ در خلیج هانگ‌جو احداث شد، در منابع چینی به‌عنوان نمونه اولیه مخازن خلیجی سرزمین اصلی چین نام برده می‌شود. درواقع، برخلاف مخازن دهانه رودخانه‌ای که پیش‌تر توضیح داده شد، مخزن شَن‌خوشا در داخل یک مصب جزرومدی[1] احداث شده‌بود و برخی محققان نیز به همین علت آن را در دسته مخازن خلیجی قرار می‌دهند [۲۱].




**تصویر ۱۹: مخزن شَن‌خوشا**

1. Tide-Dominated Estuary

این مخزن ظرفیت بسیار کمی در حدود ۱/۹ میلیون مترمکعب دارد که از این مقدار، ۱/۶ میلیون مترمکعب آن ظرفیت مفید است. بااین‌حال، این مخزن یکی از مهم‌ترین منابع تامین آب در شرایط اضطراری برای شهر هانگ‌جو محسوب می‌شود. این مخزن دارای سطح آبی معادل ۰٫۴ کیلومتر مربع است [۲۰]. مخزن شَن‌خوشا قادر است در هنگام جزر، آب شیرین را از رودخانه چیِن‌تانگ ازطریق دو ورودی خود (با ظرفیت به‌ترتیب ۵۰۰ هزار مترمکعب در روز و ۱ میلیون مترمکعب در روز) دریافت کرده و ذخیره کند و آب موردنیاز شهر را ازطریق دو خروجی خود (با ظرفیت ۴۵۰ هزار مترمکعب در روز و ۸۸۰ هزار مترمکعب در روز) تامین کند [۲۱]. باتوجه‌به افزایش تهدید ناشی‌از نفوذ آب شور در دهه‌های اخیر، پروژه‌های مکمل متعددی برای ارتقای امنیت آبی هانگ‌جو و افزایش بهره‌وری این مخزن در دستورکار قرار گرفته‌است. به‌عنوان‌مثال، پروژه انتقال آب از بخش بالادستی رودخانه چیِن‌تانگ به مناطق شهری شمال هانگ‌جو در سال ۲۰۲۱ در مرحله برنامه‌ریزی قرار گرفته‌است. در این پروژه قرار است آب خام[1] از محل برداشت جدید پس از عبور از خطوط‌لوله ثقلی و تحت‌فشار به تاسیسات تصفیه آب جیوشی[2] و سپس به مخزن شَن‌خوشا منتقل شود تا بدین‌ترتیب امکان ارتقای ایمنی منابع آب شرب و کاهش تهدید ناشی‌از نفوذ آب شور در پایین‌دست رودخانه فراهم شود. در چارچوب این پروژه، برخی زیرساخت‌های مخزن شَن‌خوشا نیز به‌عنوان یکی از نقاط پایانی سامانه آبرسانی بازسازی خواهندشد. این بازسازی‌ها شامل تعویض یا ارتقای پمپ‌ها و نوسازی شبکه لوله‌کشی داخلی است که البته باوجود این

۱. آب خام (Raw Water) به آبی گفته می‌شود که در طبیعت جاری است و تحت‌تاثیر هیچ‌گونه تصفیه و فرآیندی قرار نگرفته‌است. به‌عبارت‌دیگر، آب خام دارای مواد معدنی، یون‌ها، ذرات، باکتری‌ها و آلاینده‌های طبیعی است که در فرآیند تصفیه حذف می‌شوند. آب چشمه‌ها، رودخانه‌ها، آب‌های زیرزمینی و قنات‌ها نمونه‌هایی از آب خام به‌شمار می‌آیند.

2. Jiuxi Water Plant: 九溪水厂

اقدامات، مقیاس و ظرفیت فعلی تاسیسات تغییری نمی‌کند. درواقع، همسان‌سازی زیرساخت‌ها با سامانه جدید آبرسانی و تضمین کیفیت و ایمنی آب ورودی به شبکه شهری هدف از این اصلاحات محسوب می‌شود [۴۱].




**تصویر ۲۰: سامانه انتقال آب جدید از بالادست رود چیین‌تانگ به مخزن شَن‌خوشا**

در یکی از تازه‌ترین اقدامات مرتبط با مخزن شَن‌خوشا در قالب پروژه احداث و تقویت سیل‌بند ساحلی شَن‌خوشا، این مخزن باهدف افزایش ایمنی تاسیسات آبی شهر هانگ‌جو مورد مقاوم‌سازی قرار گرفته‌است. به‌منظور افزایش ظرفیت حفاظتی زیرساخت‌های ساحلی، سطح ایمنی سیل‌بند از مقاومت در برابر سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۰ سال به سیلاب‌هایی با دوره بازگشت ۱۰۰ سال ارتقا یافته و توان مقابله با

مدهای شدید به سطح دوره بازگشت ۳۰۰ سال افزایش یافته‌است تا به‌طور موثر از مخزن و تاسیسات کلیدی نظیر تصفیه‌خانه جیوشی در برابر مخاطرات هیدرولوژیک حفاظت شود. عملیات تکمیلی منظر و فضای سبز پیرامونی مخزن همچنان درحال‌اجرا می‌باشد [۴۰ و ۴۲].




**تصویر ۲۱: دیواره ساحلی شَن‌خوشا (خط قرمز رنگ) که از فضای مخزن و تصفیه‌خانه جیوشی در کنار آن (سمت چپ تصویر) محافظت می‌کند.**

### ◆ مخزن خلیجی باخه

مخزن (یا سد) باخه یکی از مهم‌ترین منابع آبی شهر رونگ‌چنگ[1] در استان شَن‌دونگ چین است که در محل تلاقی رودهای وانگ‌لیِن‌خه و شیائولوخِه[2] در بندر باخه و در نزدیکی دریای زرد قرار دارد. عملیات ساخت این مخزن در دسامبر ۱۹۷۵

1. Rongcheng: 荣成市
2. Xiaoluo River: 小落河

آغاز شد و درنهایت، در سال ۱۹۷۸ به‌عنوان مخزن میان‌مقیاس به بهره‌برداری رسید. این مخزن دارای حوزه آبریز به مساحت ۲۵۶ کیلومترمربع است که درابتدا، با ظرفیت کل ۴۵/۷ میلیون مترمکعب طراحی شده‌بود [۴۳]. پیش از توسعه سد، کیفیت آب مخزن نزدیک به آب دریا و تا حد زیادی شور بود. سپس، دولت مرکزی و محلی پروژه توسعه سد باخه را در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۴ با مجموع سرمایه‌گذاری ۱۹۷ میلیون یوان اجرا کردند. در جریان این پروژه پس از اجرای عملیات آب‌بندی و تقویت سازه سد، ظرفیت ذخیره آب افزایش یافت و نفوذ آب شور دریا به مخزن متوقف شد. درنهایت، با افزایش میزان تبادل و جایگزینی آب در مخزن در سال ۲۰۰۵ کیفیت آب مخزن به‌طور محسوسی بهبود یافت [۴۴]. در پی اجرای طرح توسعه مخزن در سال‌های بعدی، ظرفیت کل آن به ۱۰۶ میلیون مترمکعب افزایش یافت. تراز بهره‌برداری مخزن برابر با ۶/۱ متر است که براساس ارتفاع مبنای دریای زرد (سال ۱۹۵۶) محاسبه شده‌است. حجم قابل‌تنظیم مخزن ۷۱/۰۵ میلیون مترمکعب و ظرفیت مرده آن ۱۱/۴۵ میلیون مترمکعب تعیین شده که در تراز ۱/۹ متر واقع شده‌است. لازم به ذکر است مابقی حجم مخزن، خارج از محدوده ظرفیت تنظیمی و مرده و احتمالا به‌عنوان حجم سیلابی یا ذخیره اضطراری در نظر گرفته شده که در منابع موجود به‌صورت جداگانه تشریح نشده‌است [۴۳].

براساس آخرین اطلاعات در سال ۲۰۱۹، امروزه مخزن باخه با ظرفیت تامین آب شهری روزانه ۴۰ هزار مترمکعب، میانگین سالانه۱۳/۹۴ میلیون مترمکعب و نرخ اطمینان ۹۵ درصدی سهم بسزایی در تامین آب شرب شهری دارد. افزون‌برآن، این مخزن از آبیاری اراضی کشاورزی به وسعت ۶,۶۶۷ هکتار با میانگین سالانه ۱۶/۵۲میلیون مترمکعب (نرخ اطمینان ۵۰ درصدی) نیز پشتیبانی می‌کند [۴۳].



تصویر ۲۲: مخزن باخه

## ◆ مخزن خلیجی یوخوئَن

شایان ذکر است نمونه ناموفق مخازن خلیجی کشور چین در بزرگ‌ترین جزیره شهر تای‌جو یعنی جزیره یوخوئَن قرار دارد. این مخزن در برخی منابع با نام مخزن شوئَن‌مِن[1] نیز شناخته می‌شود. هدف اولیه از طراحی این مخزن ساحلی که در خلیج یوئه‌چینگ[2] واقع شده‌است، تامین آب شیرین این منطقه بود. ساخت این مخزن در سال ۱۹۹۸ آغاز شد و در سال ۲۰۰۴ به پایان رسید. مساحت سطح آب این مخزن ۱۱ کیلومترمربع و ظرفیت ذخیره‌سازی آن ۵۹ میلیون مترمکعب است. حوضه آبریز آن مساحتی معادل ۱۶۶ کیلومتر مربع دارد و میانگین بارندگی سالانه آن حدود ۱٫۴۳۰ میلی‌متر برآورد شده‌است. براین‌اساس، حجم روان‌آب ورودی به مخزن در حدود ۱۲۰ میلیون مترمکعب در سال تخمین زده می‌شود که این مقدار تقریبا دو برابر ظرفیت ذخیره‌سازی مخزن است.

1. Xuanmen Reservoir
2. Yueqing

بااین‌حال، تا سال ۲۰۰۸ مشخص شد که این مخزن در وضعیت پرغذایی (اوتریفیکاسیون) شدید قرار دارد و به‌دلیل فقدان مسیرهای عبور جریان[1]، از تامین موثر آب شیرین بازمانده‌است [۲۸]. مطالعه‌ای در سال ۲۰۲۰ نشان می‌داد که با وجود اقدامات صورت‌گرفته برای بهبود کیفیت آب، آب این مخزن به‌دلیل غلظت بالای کلرید هنوز هم برای آشامیدن مناسب نیست. هرچند از آن زمان تاکنون برنامه‌هایی جهت احداث کانال‌های عبور جریان آب اجرا شده‌است، اما اطلاعات جدیدی از وضعیت دقیق کیفیت آب این مخزن در منابع اینترنتی دردسترس نیست [۴۵].



**تصویر ۲۳: مخزن یوخوئن، نمونه ناموفق مخازن ساحلی چین**

شایان ذکر است نمونه‌هایی که در این فصل به آن‌ها پرداخته‌شد، شامل کلیه مخازن ساحلی نسل اول چین هستند که تا زمان نگارش این گزارش به مرحله اجرا رسیده و اطلاعات آن‌ها در منابع معتبر قابل‌دستیابی بوده‌است. پروژه‌هایی که در مرحله مطالعاتی یا برنامه‌ریزی قرار دارند، در چارچوب این بررسی لحاظ نشده‌اند. در بخش بعد، مخازن نسل دوم موردبررسی قرار خواهند گرفت که در منطقه شانگهای احداث شده‌اند و با نمونه‌های نسل اول از نظر طراحی، عملکرد و فناوری ساخت تمایزهای مشخصی دارند.

1. Bypass channels

# بخش سوم
# سیر احداث مخازن ساحلی نسل دوم در شانگهای

## ۱. مقدمه

در میان تجربه‌های گوناگون چین در زمینه احداث مخازن ساحلی، پروژه‌های شهر شانگهای به‌عنوان نقطه‌عطفی در گذار از نسل اول به نسل دوم این سازه‌ها شناخته می‌شوند. این مخازن نه‌تنها از نظر مقیاس، طراحی و فناوری‌های مورداستفاده نسبت به نمونه‌های پیشین پیشرفته‌تر هستند، بلکه رویکردی چندبعدی به موضوع تامین آب شرب در یکی از پرجمعیت‌ترین و صنعتی‌ترین مناطق این کشور را منعکس می‌کنند. تمرکز این بخش بر همین مخازن است، چرا که با تحلیل روند شکل‌گیری و توسعه این مخازن می‌توان به‌درکی ملموس از الزامات فنی، راهکارهای اجرایی، و چالش‌های عملیاتی در پیاده‌سازی مخازن نسل دوم دست یافت. تحلیل روند شکل‌گیری این مخازن نشان می‌دهد که چگونه یک کلان‌شهر علی‌رغم برخورداری از منابع آبی فراوان، به‌دلیل افت کیفیت و افزایش تقاضا ناگزیر به توسعه راهکاری نوین در تامین آب شد که اکنون به الگویی قابل‌توجه برای دیگر مناطق تبدیل شده‌است. درادامه، ابتدا به

جایگاه جغرافیایی و شرایط آبی ویژه شانگهای پرداخته می‌شود تا زمینه‌ای برای درک ضرورت شکل‌گیری این مخازن فراهم شود. سپس، هریک از پروژه‌های اصلی به‌طور جداگانه موردبررسی قرار می‌گیرند.




**تصویر ۲۴: موقعیت مخازن ساحلی کلان‌شهر شانگهای**

کلان‌شهر شانگهای با جمعیتی حدود ۲۵ میلیون نفر به‌عنوان پرجمعیت‌ترین شهر چین به شمار می‌رود [۴۶]. این شهر که در محل تلاقی رودخانه یانگ‌تسه با دریای چین شرقی قرار گرفته‌است، از موقعیت جغرافیایی ممتازی برخوردار است. شانگهای در پایین‌دست حوضه‌های آبریز یانگ‌تسه و دریاچه تای[1] واقع شده و از جنوب به خلیج هانگ‌جو مشرف است. همسایه‌های این کلان‌شهر شامل استان‌های جیانگ‌سو و

1. Taihu Lake :太湖

جِجیانگ در غرب بوده و در محدوده آن، شبکه‌ای گسترده از منابع آبی وجود دارد. مهم‌ترین این منابع شامل رودخانه‌های لیوخِه[1]، تای‌پو[2] و ووسونگ (رود سوجو)[3] به‌همراه دریاچه دیین‌شَن[4] می‌شوند. دو شریان آبی اصلی منطقه یعنی یانگ‌تسه و خوانگ‌پو[5] نیز از این منطقه عبور می‌کنند [۴۷].

جدول ۲: وضعیت کلی منابع آبی کلان‌شهر شانگهای در سال ۲۰۲۳

| میانگین بارش در سال ۲۰۲۳ | توزیع بارش | فصل سیلابی | تبخیر | منابع آب سطحی | منابع آب زیرزمینی |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱,۲۸۰/۶ میلی‌متر (معادل مجموع بارندگی ۸/۱۲ میلیارد مترمکعب) که ۱۴/۲ درصد نسبت به میانگین بلندمدت افزایش داشت. | ۵۶/۴ درصد بارش سالانه در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست رخ داد؛ کمترین بارش در ماه اکتبر (۱/۸ درصد کل سال) ثبت شد. | ابتدای ژوئن تا پایان سپتامبر (میانگین بارش در این بازه ۸۵۲/۳ میلی‌متر بوده و ۳۵ بارش شدید ثبت شد.) | میانگین تبخیر سالانه ۸۵۸/۹ میلی‌متر ثبت شد. | رواناب سطحی سالانه ۳/۴۸ میلیارد مترمکعب بود که نسبت به میانگین بلندمدت، ۲۹/۳ درصد افزایش داشت. | حجم منابع آب زیرزمینی این کلان‌شهر در سال ۲۰۲۳ معادل ۹۷۶ میلیون مترمکعب بود (حجم آب زیرزمینی غیرمشترک با منابع آب سطحی معادل ۶۷۰ میلیون مترمکعب بود). |

شانگهای دارای اقلیم نیمه‌گرمسیری مرطوب با چهار فصل متمایز، تابش خورشید فراوان و بارندگی نسبتا زیاد است. این شهر دارای آب‌وهوای معتدل و مرطوب بوده و فصل‌های بهار و پاییز آن کوتاه است، درحالی‌که زمستان و تابستان آن طولانی‌تر است

1. Liuhe River: 浏河
2. Taipu River: 太浦河
3. Wusong River (also called Suzhou Creek) :吴淞江 (苏州河)
4. Dianshan Lake :淀山湖
5. Huangpu River: 黄浦江

[۴۸]. براساس آخرین گزارش سالانه منابع آب شانگهای[1] که در اکتبر ۲۰۲۴ منتشر شد و حاوی آمار مربوط به سال ۲۰۲۳ است، کل برداشت آب در سال ۲۰۲۳ در کلان‌شهر شانگهای معادل ۷/۳۲۷ میلیارد مترمکعب بوده و سهم استفاده از منابع آب سطحی در آن بسیار غالب و برابر با ۹۹/۷ درصد بوده‌است.

الگوی مصرف آب در همین سال نشان می‌دهد که از این مجموع برداشت، حدود ۴۷ درصد (برابر با ۳/۴۶۲ میلیارد مترمکعب) به بخش صنعت اختصاص داشته‌است. بخش کشاورزی با سهم حدود ۱۹ درصدی معادل ۱/۳۶۸ میلیارد مترمکعب از کل مصرف را به خود اختصاص داده‌است. مصارف شهری شامل بخش‌های خانگی و عمومی با ۳۳ درصد (معادل ۲/۴۱۸ میلیارد مترمکعب) در رتبه بعدی قرار داشته و درنهایت، مصارف محیط‌زیستی با ۷۹ میلیون مترمکعب حدود ۱ درصد از کل مصرف آب را تشکیل داده‌اند.

گزارش‌ها همچنین نشان می‌دهند که سرانه مصرف سالانه آب در شانگهای در سال ۲۰۲۳ معادل ۲۹۵ مترمکعب برای هر نفر بوده‌است. مصرف سرانه روزانه نیز برای مصارف خانگی و عمومی در سطح کلان‌شهر برابر با ۲۲۸ لیتر گزارش شده‌است [۴۹].

باوجود ساختار پیچیده و گسترده منابع آب سطحی شانگهای و اتکای غالب به این منابع در تامین آب، این کلان‌شهر در طول تاریخ از دیرباز با چالش کمبود آب مواجه بوده که علت این کمبود نه در محدودیت کمّی، بلکه در کیفیت منابع قابل‌دسترس بوده‌است. به همین دلیل، بحران آب در این کلان‌شهر موضوعی دیرپا بوده و همواره موردتوجه سیاست‌گذاران شهری قرار داشته‌است [۴۷].

1. Shanghai Water Resources Bulletin: 上海市水资源公报




**تصویر ۲۵: جایگاه جغرافیایی کلان‌شهر شانگهای در حوضه رود یانگ‌تسه**

در بازنگری برنامه جامع شهری شانگهای[1] در سال ۲۰۰۵ برآورد شده‌بود که تا سال ۲۰۲۰ کمبود آب شیرین در این شهر ممکن است به ۶ میلیون مترمکعب برسد [۲۲]. اما واقعیت این بود که روند افت کیفیت منابع آب در شانگهای از سال‌ها پیش‌از این و در دهه ۱۹۷۰ آغاز شده‌بود. در آن دوران، کیفیت آب رودخانه ووسونگ (سوجو) به‌سرعت روبه‌کاهش گذاشت و این رودخانه به یکی از آلوده‌ترین منابع آبی منطقه تبدیل شد. درنتیجه، رودخانه خوانگ‌پو تنها منبع اصلی تامین آب شرب شهر بود. در آن مقطع، ۱۰ مورد از مجموع ۱۲ تصفیه‌خانه آب شهری شانگهای مستقیما از بخش‌های میانی و

1. Shanghai Urban Master Plan

پایین‌دست رود خوانگ‌پو آب برداشت می‌کردند که البته با گسترش صنعتی‌شدن و رشد سریع اقتصادی، کیفیت آب در این بخش‌ها نیز به‌مرور کاهش یافت و دهانه‌های برداشت آب ناگزیر به سمت مناطق بالادستی منتقل شدند. ازسوی‌دیگر، دهانه رود یانگ‌تسه باوجود برخورداری از منابع آبی فراوان و باکیفیت که حدود ۹۸/۸ درصد از جریان‌های آبی عبوری از محدوده شانگهای را تشکیل می‌دادند، به‌طورطبیعی در معرض پدیده نفوذ شوری[1] قرار داشت. این پدیده به‌ویژه در فصول کم‌آبی و سال‌های خشک موجب می‌شد غلظت نمک در این منطقه از حد مجاز برای مصارف آشامیدنی و صنعتی فراتر رود [۴۷]. در چنین شرایطی، افزایش مستمر تقاضای آب شهری، مدیریت منابع آبی را با چالشی جدی مواجه ساخت و ضرورت یافتن راهکارهایی نوین برای تامین پایدار آب به یکی از اولویت‌های راهبردی شانگهای تبدیل شد. در پاسخ به این نیاز، این کلان‌شهر طی سال‌های اخیر سه مخزن ساحلی بزرگ برای تامین آب شرب توسعه داده‌است که شامل مخزن چِن‌خانگ، مخزن چینگ‌سائوشا و مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا می‌شوند. طبق آمار منتشرشده تا سال ۲۰۱۹، این سه مخزن بیش از ۷۰ درصد از آب موردنیاز شانگهای را تامین می‌کنند [۲۱].

جدول ۳: مخازن ساحلی تامین آب شرب شانگهای

| نام مخزن | مساحت (کیلومتر مربع) | ظرفیت کل مخزن (میلیون مترمکعب) | ظرفیت تامین آب روزانه[2] (میلیون مترمکعب در هر روز) | طولانی‌ترین مدت تامین آب[3] (بدون برداشت آب) (واحد: روز) | تاریخ بهره‌برداری |
|---|---|---|---|---|---|
| چِن‌خانگ | ۱,۳۳۶ | ۹,۵ | ۲,۰۶ | ۷ | ژوئن ۱۹۹۲ |
| چینگ‌سائوشا | ۶۶,۱۵ | ۵۲۷ | ۷,۱۹ | ۶۸ | ژوئن ۲۰۱۱ |
| دونگ‌فنگ‌شی‌شا | ۳,۷۴ | ۹,۷۶۲ | ۰,۲۱۵ | ۲۶ | ژانویه ۲۰۱۴ |

1. Salt Tide Intrusion: 咸潮入侵
2. Daily Water Supply
3. Continuous Supply Time

نکته قابل‌توجه آن است که ایده استفاده از مخازن ساحلی برای تامین آب شرب در شانگهای درابتدا نه از دل یک طرح جامع شهری، بلکه از دل یک چالش صنعتی سربرآورد. در جریان اجرای پروژه ساخت کارخانه فولاد شانگهای، ناتوانی در تامین پایدار آب موردنیاز این مجموعه به مانع اصلی بر سر راه اتمام پروژه تبدیل شد و این طرح صنعتی را تا مرز شکست پیش برد. در همین شرایط، ایده ساخت مخزن ساحلی برای رفع این نیاز مطرح شد و به‌سرعت عملیاتی گردید [۱۳]. بدین‌ترتیب، مخزن بائوگانگ[1] به‌عنوان نخستین تجربه ساخت مخزن ساحلی در شانگهای نقطه‌آغاز مسیری شد که بعدها به شکل‌گیری سامانه‌ای نوین برای تامین آب شهری منجر شد.

## ۲. مخزن بائوگانگ

در دهه ۱۹۸۰ هم‌زمان با آغاز سیاست اصلاحات و درهای باز برای تسریع روند توسعه اقتصادی چین، دولت مرکزی تصمیم به احداث یکی از کارخانه‌های جدید آهن و فولاد در شانگهای گرفت. در مراحل ابتدایی، مجموعه اجرایی توجه کافی به الزامات کیفیت آب خنک‌کننده در اسناد طراحی نداشتند، اما در مراحل پایانی پروژه مشخص شد که میزان مجاز شوری آب برای سامانه خنک‌کننده باید کمتر از ۵۰ پی‌پی‌ام باشد[2]. این در حالی بود که میانگین شوری آب در مصب رود یانگ‌تسه از این مقدار بسیار فراتر می‌رفت و پدیده نفوذ آب شور در دهانه رود نیز شرایط را پیچیده‌تر می‌کرد. این مسئله تداوم عملکرد کارخانه را با تهدید جدی مواجه می‌ساخت [۱۳]. در آن زمان، شانگهای تجربه‌ای در مقیاس وسیع برای توسعه منابع آب شیرین در نواحی ساحلی و دهانه یانگ‌تسه نداشت. به‌همین‌دلیل، در طرح اولیه گزینه تامین

1. Baogang Reservoir (Also known as Baosteel Reservoir): 宝钢水库

۲. مقداری بسیار پایین‌تر از استاندارد شوری آب آشامیدنی در چین که ۲۵۰ پی‌پی‌ام تعیین شده‌است.

آب از دریاچه دییِن‌شَن واقع در فاصله‌ای حدود ۷۲ کیلومتر از محل پروژه موردتایید دولت مرکزی قرار گرفت. این در حالی بود که به‌دلیل وجود حجم فراوان آب عبوری شیرین در یانگ‌تسه، کنار گذاشتن این منبع نزدیک همواره مایه حسرت طراحان پروژه بود. طبق خاطرات سون شویون[1]، معاون دبیر وقت کمیته مشاوران این پروژه، رقابت بین موافقان و مخالفان استفاده از منابع آبی دییِن‌شَن و یانگ‌تسه در آن زمان جدی بود.

سرانجام عملیات انتقال آب از دریاچه دییِن‌شَن در سال ۱۹۸۱ آغاز شد و حدود ۱۶/۸ کیلومتر لوله‌گذاری انجام شد. بااین‌حال، در همان زمان از سوی جامعه علمی موجی از انتقادات به سمت طرح انتقال آب از دییِن‌شَن روانه شد و پیشنهاد مبنی‌بر بهره‌برداری از آب رود یانگ‌تسه مطرح شد. در پاسخ به این مطالبات، کمیته مشاوران پروژه بائوگانگ تصمیم گرفت گروهی از کارشناسان حوزه‌های تصفیه آب و علوم آب‌شناسی را برای ارزیابی دوباره گردهم‌آورد. دراین‌میان، شو گواچوئَن[2]- عضو کمیته مشاوران و مدیر وقت مرکز مشاوره انجمن علم و فناوری شانگهای[3]- مصرانه خواستار استفاده از آب یانگ‌تسه برای تامین نیازهای آبی پروژه بائوگانگ شد و موضع‌گیری صریح او بازتاب گسترده‌ای در رسانه‌ها پیدا کرد. بااین‌حال، کنار گذاشتن طرح در حال اجرای انتقال آب از دییِن‌شَن به‌معنای پذیرش تاخیر در بهره‌برداری، افزایش هزینه‌ها و مواجهه با پیچیدگی‌های جدید

1. Sun Shuyun:孙淑云
2. Xu Guoquan: 徐国权
3. Shanghai Association for Science and Technology Consulting Center: 上海市科协咨询中心
براساس اطلاعات عمومی موجود، مرکز مشاوره انجمن علم و فناوری شانگهای در گذشته نهادی زیرمجموعه انجمن علم و فناوری شانگهای (SHANGHAI ASSOCIATION FOR SCIENCE & TECH:上海市科学技术协会) بود که در حدود سال ۱۹۸۰ به‌عنوان یکی از نخستین نهادهای مشاوره فناوری در دوران اصلاحات و گشایش چین راه‌اندازی شده‌بود. از آنجا که امروزه مرکزی با این نام مشخص در فضای اینترنتی یافت نمی‌شود، ممکن است این مرکز بعدها با سایر بخش‌ها ادغام شده یا نام آن تغییر کرده‌باشد. بااین‌حال، این مرکز مشاوره در دهه ۱۹۸۰ به‌عنوان نهاد فعال در حوزه مشاوره علمی در شانگهای شناخته می‌شد.

اجـرایی بـود. ازسوی‌دیگـر، در افـکار عمومـی آب رود یانگ‌تسـه به‌دلیـل شوری طبیعی در دهانه منبعی نامناسب برای مصارف صنعتی یا شرب تلقی می‌شد [۵۰].

براسـاس منابـع چینـی، آقـای لینـگ یی‌فِی[1] کـه در آن زمـان سـمت معـاون فنـی ارشـد پروژه فـولاد بائوگانـگ و نیـز مدیـر دفتـر مدیریـت آب‌رسـانی پروژه[2] را برعهـده داشـت، در جریـان مطالعـات فنـی خـود بـا مقالـه‌ای از گـروه پژوهشـی پروفسـور شِـن خونَن‌تینـگ[3] در زمینـه پدیـده نفـوذ آب شور در مصـب رود یانگ‌تسـه مواجـه شـد و ایـن مـوضوع، جرقـه‌ای بـرای تصمیـم اصلـی در سـاخت مـخزن سـاحلی بائوگانـگ شـد. در منابـع موجـود از آقـای لینـگ به‌عنـوان مسـئول اصلـی طراحـی، سـاخت و مدیریـت مـخزن سـاحلی بائوگانـگ یـاد شده‌اسـت [۵۱].

پروفـسور شِـن خونَن‌تینـگ، اسـتاد آزمایشـگاه کلیـدی ملـی تحقیقـات مصـب و سـواحل (SKLEC) وابسـته‌به دانشـگاه نرمـال شرق چیـن[4]، بـه همـراه گـروه تحقیقاتی خـود بـرای نخسـتین‌بار در دهـه ۱۹۸۰ میلادی پژوهشـی جامـع و نظام‌منـد در خصـوص پدیـده نفـوذ آب شور در مصـب رود یانگ‌تسـه انجـام دادنـد. ایـن مطالعـات طیـف گسـترده‌ای از موضوعـات ازجملـه عوامـل موثـر بـر نفـوذ شوری؛ تاثیـر ایـن پدیـده بـر مصـارف آب شـرب، کشـاورزی و صنعتـی؛ فرآیندهـای حاکـم بـر نواحـی مصبـی؛ اندرکنـش آب شور و آب شیریـن؛ الگوهـای زمانـی و مکانـی تغییـرات شوری در مصـب و سـواحل بیرونـی رود یانگ‌تسـه؛ و تخمیـن بیشینـه تعـداد روزهـای متوالـی کـه برداشـت آب از ایـن رودخانـه بـه دلیـل شوری بیش‌ازحـد امکان‌پذیـر نیسـت را دربرمی‌گرفـت [۵۲].

1. Ling Yifei: 凌逸飞

۲. دفتر مدیریت آب‌رسانی پروژه (引水办公室) یک واحد تخصصی زیرمجموعه مرکز فرماندهی پروژه (指挥部) محسوب می‌شد. این ساختار سازمانی مختص پروژه‌های عظیم چین در دهه ۱۹۹۰-۱۹۸۰ بود که امروزه در قالب دفتر مدیریت پروژه (PMO) بهینه‌سازی شده‌است.

3. Shen Huanting: 沈焕庭

4. The State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research (East China Normal University): 华东师范大学河口海岸科学研究所



**تصویر ۲۶:** نصب جریان‌سنج دریایی[1] توسط شِن خوئن‌تینگ (سال ۱۹۸۰)

سرانجام با تکیه بر نتایج حاصل از این مطالعات، کمیته مشاوران پروژه بائوگانگ پس از نشست‌های متعدد و پرچالش با همکاری موسسات دیگری مانند موسسه فناوری شیمیایی شرق چین (دانشگاه علم و فناوری شرق چین امروزی)[2] پژوهشی جامع درباره کیفیت آب رود یانگ‌تسه انجام دادند. در جریان این بررسی‌ها، ۱۲ طرح مختلف برای برداشت آب از یانگ‌تسه ارائه شد. پیشنهاد اصلی براین‌اساس بود که برداشت آب توسط پمپ تنها در بازه‌هایی انجام شود که غلظت کلرید در

1. Ocean Current Meter: 海流计
2. East China Institute of Chemical Technology (East China University of Science and Technology): 华东化工学院（现更名为华东理工大学）

محـل ورودی مـخزن از ۲۰۰ میلی‌گـرم بـر لیتـر کمتـر باشـد و در صورت عـبور از ایـن حـد، برداشـت متوقف شـود. پـس از بحث‌هـای فـراوان، چِـن جین‌خوا[1]، معـاون وقـت شـهردار شـانگهای، بـا ایـن طرح کـه دو سـال محـل مناقشـه بـود، موافقـت کـرد و بدین‌ترتیـب، پایـه‌ریزی برداشـت آب از یانگ‌تسـه بـرای پروژه بائوگانـگ انجـام شـد [۵۰].

هیئت‌دولـت چیـن در جـولای ۱۹۸۲ بـه‌طور رسـمی طرح برداشـت آب از دریاچـه دییِن‌شَـن را لغو و برداشـت از یانگ‌تسـه را تصویب کرد. ایـن تغییر امـکان حفظ منبع آب دییِن‌شَـن بـرای تامیـن آب شـرب شـهروندان شـانگهای و همزمـان صرفـه‌جویی بیـش از ۵۰ میلیون یـوان در هزینه‌هـای سـرمایه‌گذاری اولیـه و کاهـش سـالیانه ۴ میلیون یـوان از هزینه‌هـای عملیاتـی پروژه را فراهـم آورد [۵۰].

مـخزن بائوگانـگ پـس از ۱۸ مـاه فعالیـت عمرانـی فشـرده سـرانجام در تاریـخ ۵ سـپتامبر ۱۹۸۵ بـه بهره‌بـرداری رسـید. مسـاحت کلـی مـخزن ۱/۶۴ میـلیون مترمربـع اسـت و شـکل هندسـی آن بـه‌صورت مسـتطیل طراحـی شده‌اسـت، به‌طوری‌کـه طول آن در امتـداد شـرق بـه غـرب حـدود ۲ کیلومتـر و بیشـترین عـرض آن در راسـتای شـمال بـه جنـوب حـدود ۱ کیلومتـر اسـت [۵۴].

ظرفیـت اولیـه ایـن مـخزن به‌گونـه‌ای طراحـی شـده‌بود کـه بتوانـد در شـرایط شوری بـالای مصـب رودخانـه یانگ‌تسـه، نیـاز ۴۰ روزه مجتمـع صنعتـی بائوشـان [2] بـه آب شیریـن را تامیـن کنـد. ایـن ظرفیـت بیـش از ۸ میـلیون تـن[3] بـرآورد شـده‌بود کـه براسـاس مصـرف روزانـه ۲۰۰ هـزار تـن آب محاسـبه شـده‌بود [۵۳]. در حـال حاضـر، ایـن مـخزن بـا ظرفیـت کل ۱۲ میـلیون مترمکعـب و تـوان تامیـن روزانـه ۱۶۴ هـزار مترمکعـب آب خـام باکیفیـت

1. 陈锦华
2. Baoshan Iron & Steel Co., Ltd. (Also known as "Baosteel"): 宝山钢铁股份有限公司（简称"宝钢股份"）
۳. در منابع چینی، استفاده از واحد «تُن» در این حوزه غیرمتداول نیست.

به‌عنوان منبع اصلی تامین آب موردنیاز شرکت فولاد بائوشان[1] به‌شمار می‌آید و نقش مهمی در کاهش هزینه‌های عملیاتی این مجتمع ایفا می‌کند [۵۲].



**تصویر ۲۷: مخزن بائوگانگ**

با افزایش تولید فولاد در مجتمع بائوشان، ظرفیت ایستگاه پمپاژ آب تا سال ۲۰۰۸ از ۵ پمپ (با مجموع ظرفیت روزانه ۳۰۰ هزار تن) به ۸ پمپ (با ظرفیت روزانه ۴۵۰ هزار تن) افزایش یافت. جالب آنکه باوجود این توسعه، ظرفیت ذخیره‌سازی مخزن بائوگانگ تغییری نکرد و حجم واقعی انتقال آب به منطقه صنعتی افزایش قابل‌توجهی نداشت. دلیل این امر، اجرای برنامه‌های بهینه‌سازی مصرف آب در مجتمع بود که موجب شد میزان آب موردنیاز برای تولید هر تن فولاد از رقم اولیه طراحی‌شده (۹/۹ مترمکعب) به حدود ۳/۵ مترمکعب کاهش یابد که این کاهش چشمگیر در مصرف آب باعث شد زیرساخت‌های موجود پاسخگوی افزایش ظرفیت تولید باقی بمانند [۵۳].

1. Baoshan Iron & Steel Co., Ltd.

علاوه‌براین، در سال ۱۹۹۰ تصفیه‌خانه‌ای با ظرفیت ۱۵ هزار تن در روز به‌منظور تولید آب شرب در این مجموعه راه‌اندازی شد که تا سال ۲۰۰۸ ظرفیت آن به ۳۰ هزار تن در روز افزایش یافت. آزمون‌های انجام‌شده نشان دادند که تمامی ۳۵ شاخص کیفیت آب این تصفیه‌خانه مطابق با استاندارد ملی چین بودند. هدف از احداث این تاسیسات، تامین آب شرب موردنیاز کارکنان مجتمع و شهرک‌های اطراف عنوان شده‌است. شایان ذکر است نقش پشتیبان این مخزن در هنگام بروز پدیده شوری شدید در آب به‌ویژه برای مخزن چِن‌خانگ[1] به‌عنوان دیگر منبع مهم آب شیرین شانگهای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۵۳]. این موضوع درادامه به‌تفصیل بررسی خواهدشد.

از نوآوری‌های مهم این پروژه، بهره‌گیری راهبردی از الگوی نوسانات دوره‌ای میزان کلرید موجود در رود یانگ‌تسه براساس تقویم کشاورزی سنتی چین بود. داده‌ها نشان می‌دادند که در روزهای اول و پانزدهم هر ماه، میزان کلرید در آب رودخانه به حداقل می‌رسد. با استفاده از این داده‌ها، آب باکیفیت بسیار بالا، حتی با میزان کلراید کمتر از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، در این دوره‌ها برداشت می‌شد [۵۳].

درمجموع می‌توان گفت که شرکت بائوشان با بهره‌برداری از این مخزن توانست الزامات سخت‌گیرانه استاندارد غلظت کلرید کمتر از ۵۰ میلی‌گرم در لیتر برای مصارف صنعتی[2] را برآورده کند. افزون‌برآن، کلان‌شهر شانگهای با بهره‌برداری از این مخزن موفق شد گامی پیشگامانه برای بهره‌برداری از منابع آب شیرین مصبی جهت استفاده در صنایع بردارد و مسیری تازه برای بازیگران بین‌المللی این حوزه ایجاد کند [۵۰].

1. Chenhang Reservoir: 陈行水库

۲. این الزامات در آن زمان توسط شرکت نیپون استیل ژاپن (Nippon Steel Corporation: 新日本制铁株式会社) به‌عنوان نماینده فناوری‌های پیشرفته جهانی در این حوزه تعیین شده‌بود.

## ◆ بهره‌گیری از تجربه ساخت مخزن بائوگانگ در احداث مخزن چِن‌خانگ

تجربه ساخت مخزن بائوگانگ الهام‌بخش احداث نخستین مخزن ساحلی تامین آب شرب در شانگهای یعنی مخزن چِن‌خانگ شد که در سال ۱۹۹۲ در پایین‌دست بائوگانگ به بهره‌برداری رسید. این مخزن به محل تلاقی رودخانه یانگ‌تسه با دریا نزدیک‌تر است و ظرفیت کمتر و توان پایین‌تر آن در مقابله با جریان‌های شور موجب می‌شد در دوره‌هایی که شوری آب رودخانه افزایش می‌یافت، از منابع آب ذخیره‌شده در مخزن بائوگانگ برای پشتیبانی از عملکرد چِن‌خانگ استفاده شود. درراستای تقویت این پشتیبانی، از سال ۲۰۰۲ به بعد ایستگاه پمپاژی با ظرفیت انتقال روزانه ۲۰۰ هزار تن آب بین دو مخزن احداث شد تا در مواقع نیاز، امکان انتقال آب شیرین باکیفیت از مخزن بائوگانگ به چِن‌خانگ فراهم شود [۵۳].

بااین‌حال، تفاوت‌های ساختاری و مدیریتی میان این دو مخزن در سال‌های اولیه موجب بروز چالش‌هایی در زمینه هماهنگی و بهره‌برداری مشترک شد. این وضعیت تا سال ۲۰۰۹ ادامه داشت، تا این‌که با حمایت مهندس ارشد لینگ یی‌فی، طراح و برنامه‌ریز اصلی پروژه بائوگانگ، مهندسان و طراحان مخزن چِن‌خانگ توانستند مدیران وقت شرکت فولاد بائوشان ازجمله شیه چی‌هوا[1] را متقاعد سازند تا دریچه‌های ارتباطی میان دو مخزن گشوده شود. از آن زمان به بعد، در فصولی که پدیده شوری دهانه رودخانه یانگ‌تسه شدت می‌یافت، آب شیرین ذخیره‌شده در مخزن بائوگانگ به سمت مخزن چِن‌خانگ روانه می‌شد و درنهایت، وارد شبکه توزیع آب شرب شهری شده و به منازل شهروندان می‌رسید [۵۰].

1. Xie Qihua: 谢企华




**تصویر ۲۸: موقعیت مخازن بائوگانگ و چن‌خانگ در مصب رود یانگ‌تسه**

## ◆ منابع پژوهشی و مقالات فنی مرتبط با مخزن بائوگانگ

با در نظر گرفتن سابقه تاریخی (احداث در دهه ۱۹۸۰ میلادی) و صنعتی بودن کاربرد مخزن بائوگانگ می‌توان دریافت که حجم گزارش‌ها و مطالعات منتشرشده درباره جنبه‌هایی چون مکان‌یابی، ملاحظات زیست‌محیطی، مدیریت بهره‌برداری، رسوب‌گذاری یا اندرکنش آب شور و آب شیرین در این مخزن نسبت به سایر مخازن ساحلی کلان‌شهر شانگهای بسیار محدود است. بااین‌حال، پژوهشگران و علاقه‌مندان می‌توانند با استفاده از پایگاه‌های اطلاعاتی معتبر چینی[1] و بین‌المللی نسبت به جستجوی اطلاعات تکمیلی پیرامون این پروژه اقدام کنند.

در فرآیند جستجوی منابع اینترنتی باید توجه داشت که مخزن بائوگانگ در گذشته با نام‌هایی همچون طرح انتقال آب از رود یانگ‌تسه[2]، دریاچه بائوشان[3] و مخزن لوجینگ[4]

1. CNKI (China National Knowledge Infrastructure): https://www.cnki.net/
WanFang Data: https://www.wanfangdata.com.cn/
CQVIP (Weipu Database): http://www.cqvip.com/
Baidu Xueshu (百度学术) : https://xueshu.baidu.com/
2. Yangtze River Water Diversion Project: 长江引水工程
3. Baoshan Lake: 宝山湖
4. Luojing Reservoir: 罗泾水库

نیز شناخته می‌شده‌است و ازآنجاکه این مخزن به‌عنوان یکی از پروژه‌های پشتیبان تامین آب صنعتی برای شرکت فولاد بائوشان طراحی و ساخته‌شد، درنهایت عنوان «مخزن بائوگانگ» یا «مخزن بائواستیل»[1] به‌عنوان نام رایج آن تثبیت شده‌است [۵۴]. نمونه‌هایی از منابع مرتبط جهت درک بهتر این پروژه در جدول ۴ بیان شده‌اند.

**جدول ۴: منابع پژوهشی و مقالات فنی مرتبط با مخزن بائوگانگ**

| نام | توضیح |
|---|---|
| الگوی رگرسیون شوری آب در مخزن بائوگانگ در مصب رود یانگ‌تسه (۲۰۱۱) Regression model of saltwater intrusion for the Baogang reservoir in the Changjiang Estuary [۵۵] | این مقاله باتکیه‌بر داده‌های جزرومد در ایستگاه چینگ‌لونگ‌گانگ و دبی رودخانه در ایستگاه داتونگ، یک الگوی رگرسیون برای پیش‌بینی شوری روزانه آب در مخزن بائوگانگ ارائه می‌دهد. این الگو با تفکیک اثرات جزرومد و دبی رودخانه و ترکیب دو رابطه مجزا توسعه یافته و دقت آن با تحلیل خطا تایید شده‌است. این مطالعه برای پژوهشگران علاقه‌مند به بررسی اندرکنش آب شور و آب شیرین و مدیریت کیفی آب در مخازن ساحلی مفید خواهدبود. |
| حکمرانی و پژوهش در اکولوژی آبی مخزن آب بائواستیل (۲۰۰۹) Governance and Research of Water Ecology in Bao Steel [۵۶] | این پایان‌نامه به بررسی وضعیت اکولوژی آبی مخزن خصوصی شرکت بائواستیل پرداخته‌است. این مخزن در ۱۴ کیلومتری جنوب کارخانه و در کرانه جنوبی رود یانگ‌تسه ساخته شده تا از نفوذ آب شور جلوگیری کند و پایداری تامین آب را تضمین نماید. در سال‌های اخیر، برداشت مستقیم آب از رودخانه در دوره پرآب باعث کاهش گردش آب در مخزن، افزایش زمان ماند آب و تشدید آزادسازی نیتروژن و فسفر شده که تاثیر منفی بر کیفیت آب دارد. در این تحقیق با پایش مداوم کیفیت آب و مدل‌سازی آزادسازی فسفر تحت شرایط مختلف (بی‌هوازی، هوازی، دما، pH) مشخص شد که رسوبات کف مخزن منبع مهمی برای فسفر هستند و pH عامل کلیدی در شدت آزادسازی آن است. این مطالعه برای متخصصان حوزه مدیریت کیفیت آب و کنترل پدیده اوتریفیکاسیون در مخازن ساحلی ارزشمند خواهدبود. |

1. BaoSteel Reservoir

| نام | توضیح |
| --- | --- |
| مطالعه‌ای درباره درمان بوم‌شناختی مخزن بائواستیل (۲۰۰۶)<br>Study on the Ecological Treatment of Baosteel Reservoir<br>[۵۷] | باتوجه‌به حجم بالای مخزن بائواستیل، این مخزن از منظر آلودگی محیط‌زیستی مشابه یک دریاچه داخلی در نظر گرفته شده و در سال‌های اخیر با مشکلاتی نظیر شکوفایی جلبکی و ایجاد بوی ناخوشایند در آب مواجه بوده‌است. در این مقاله به یک برنامه دوساله برای مهار آلودگی‌های زیستی مخزن پرداخته شده‌است که در آن با بهره‌گیری از فناوری‌های زیستی و اصلاح زنجیره‌های بوم‌شناختی، رشد جلبک‌های آبی و سایر منابع آلودگی تحت‌کنترل درآمده و تعادل بوم‌سازگانی در مخزن برقرار شده‌است. این مطالعه برای پژوهشگران علاقه‌مند به راهکارهای بوم‌شناختی در مدیریت کیفیت آب مخازن ساحلی سودمند است. |
| بررسی ظرفیت افزایش جمعیت جلبک‌ها در مخازن حاشیه‌ای مصب رود یانگ‌تسه (۲۰۰۷)<br>Study on Algae Proliferation Potential in Yangtze River Estuary Reservoir<br>[۵۸] | این مقاله با انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی بر روی نمونه آب‌های جمع‌آوری‌شده از مصب رود یانگ‌تسه و دو مخزن حاشیه‌ای آن (چن‌خانگ و بائوگانگ) به بررسی پتانسیل رشد جلبک‌ها پرداخته‌است. نتایج حاصله نشان می‌دهند که جلبک‌های سبز-آبی در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد و پس از دو هفته می‌توانند به گونه غالب تبدیل شده و به‌سرعت افزایش یابند. در آزمایش‌های کشت میکروسیستیس آئروژینوزا نیز مشخص شد که این گونه در آب خام منطقه دارای نرخ رشد بالایی است و هر ۲ تا ۳ روز یک‌بار دو برابر می‌شود. نور در دسترس زیر آب عامل اصلی موثر بر این رشد در نظر گرفته شده که با افزایش زمان ماند آب و کاهش کدورت نیز تقویت می‌شود. این مطالعه برای متخصصان علاقه‌مند به تحلیل خطر اوتریفیکاسیون و مدیریت کیفیت زیستی در مخازن ساحلی مفید خواهدبود. |

| نام | توضیح |
| --- | --- |
| قوانین پایه و کاربردهای بهینه‌سازی برداشت آب شیرین و پرهیز از شوری در پروژه منابع آبی بائوگانگ از رود یانگ‌تسه (۱۹۹۲) 宝钢长江水源工程"避咸蓄淡"优化取水基本规律及应用 [۵۹] | این مقاله به‌صورت جامع به تبیین پنج قاعده اساسی در برداشت بهینه آب از مصب رود یانگ‌تسه برای مخزن بائوگانگ می‌پردازد که پایه نظری بهره‌برداری از منابع آب شیرین این منطقه محسوب می‌شوند. این قوانین در طراحی مهندسی موجب شده‌اند که کارخانه فولاد بائوگانگ بتواند در فاصله‌ای نزدیک از رودخانه، منبع آبی باکیفیت و دبی مناسب تامین کند. این روش نوین برداشت آب در مقایسه با شیوه‌های سنتی، ویژگی‌های خاصی دارد و برای سایر مناطق ساحلی با کمبود منابع آب شیرین نیز قابل‌بهره‌برداری است. این مطالعه برای متخصصان حوزه مکان‌یابی و طراحی فنی سامانه‌های برداشت آب در مخازن ساحلی مفید است. |
| کاربرد پارچه پلی‌اتیلن در پروژه سدها و سازه‌های انحرافی کارخانه فولاد بائوشان (۱۹۹۷) Application of Polyethylene Fabric in Dams and Dikes Project of Baoshan Steel Factory [۶۰] | این مقاله به بررسی تجربه به‌کارگیری پارچه‌های پلی‌اتیلن در پروژه انحراف آب رودخانه یانگ‌تسه برای کارخانه فولاد بائوشان می‌پردازد. استفاده از این ماده در سدها و خاکریزها بخشی از راهکارهای فنی برای مدیریت منابع آب و افزایش پایداری سازه‌های آبی در این پروژه بزرگ صنعتی بوده‌است. این مطالعه برای کارشناسان فعال در زمینه طراحی فنی و نگهداشت سازه‌های حفاظت آب در مخازن ساحلی می‌تواند مفید واقع شود. |
| تحلیل و ارزیابی جابه‌جایی افقی سد مخزن انتقال آب بائوگانگ (۱۹۹۲) Evaluation and Deformation Analysis on horizontal Displacements of the Dam of Baogang Waterleading Reservoir [۶۱] | این مقاله به طراحی بهینه شبکه نظارت بر جابجایی افقی سد مخزن انتقال آب بائوگانگ براساس معیارهای حساسیت و قابلیت‌اطمینان می‌پردازد. در این بررسی با تکیه بر معیارهای کیفیت شبکه، روش‌هایی برای طراحی و ارزیابی چیدمان ایستگاه‌های نظارتی پیشنهاد شده‌است. از میان ۲۵ دوره داده‌برداری، ۱۳ دوره انتخاب و برای محاسبه جابجایی‌های افقی و تحلیل‌های هندسی استفاده شده‌است. مقاله مذکور بر اهمیت انتخاب صحیح نقطه‌مبنا در تحلیل تغییر شکل تاکید کرده و همچنین روش‌هایی برای پیش‌بینی تغییر شکل با استفاده از داده‌های چند دوره‌ای ارائه می‌دهد. در پایان نیز یک تحلیل کیفی از دلایل فیزیکی تغییر شکل سد ارائه شده‌است. این مطالعه برای پژوهشگران علاقه‌مند به نظارت ژئوتکنیکی، طراحی شبکه‌های پایش و مدیریت پایداری سازه‌های مخازن ساحلی مفید است. |

| نام | توضیح |
| --- | --- |
| تحلیل نقص‌های سد مخزن بائوشان‌خو و فناوری‌های مورداستفاده در تقویت آن (۲۰۱۱) 宝山湖水库堤坝缺陷分析及加固技术 [۶۲] | این مقاله به بررسی علل بروز نقص در سد مخزن بائوشان‌خو- تنها منبع تامین آب خام شرکت بائوگانگ- با در نظر گرفتن شرایط زمین‌شناسی منطقه می‌پردازد. در این بررسی، اصول و طرح تقویت و ترمیم سازه و جزئیات اجرای آن شرح داده می‌شود که شامل برداشتن سازه‌های حفاظتی شیب، پرکردن با مخلوط خاک-سیمان، اجرای لایه سنگ‌دانه‌ای دانه‌بندی‌شده، استفاده از ژئوممبران ترکیبی برای سامانه آب‌بندی و فیلتر، سنگ‌چینی تزریقی و تزریق فشرده می‌شود. نتایج حاصله حاکی از آن هستند که اقدامات پیشنهادی اثربخش و موفقیت‌آمیز بوده و عملکرد پایدار مخزن را تضمین کرده‌اند. این مطالعه برای پژوهشگران علاقه‌مند به موضوعات مرتبط با ارزیابی آسیب و ترمیم سازه‌ای مخازن ساحلی و روش‌های اجرایی مقاوم‌سازی مفید خواهدبود. |

## ۳. مخزن ساحلی چِن‌خانگ

با الگوبرداری از تجربه موفق در زمینه تامین آب صنعتی توسط مخزن بائوگانگ، اداره آب شانگهای[1] در سال ۱۹۹۲ مخزن چِن‌خانگ را در مجاورت مخزن بائوگانگ احداث کرد [۵۲، ۴۷]. گفتنی است هر دو مخزن بائوگانگ و چِن‌خانگ نمونه‌هایی از مخازن خط‌ساحلی محسوب می‌شوند [۲۲].

مخزن ساحلی چِن‌خانگ نخستین مخزن آب شیرین در شانگهای است که از رود یانگ‌تسه تغذیه می‌کند. با ساخت این مخزن، دیگر رودخانه خوانگ‌پو تنها منبع تامین آب کلان‌شهر شانگهای نبود و از آن پس، بخشی از ساکنان مناطق شهری شانگهای توانستند آب رود یانگ‌تسه را مورداستفاده قرار دهند. این تحول نقطه‌عطفی در تاریخ مدیریت منابع آبی شانگهای محسوب می‌شود، زیرا زمینه‌ساز تامین ایمن و پایدار آب

1. Shanghai Water Authority

شـرب برای میلیون‌ها نفر از شـهروندان و آغازگر بهره‌برداری گسـترده‌تر از ظرفیت‌های آبی رود یانگ‌تسه توسط این کلان‌شهر بود.

مخزن چِن‌خانگ در ناحیه لوجینگ‌چِن[1](شهرک لوجینگ) از منطقه بائوشان[2] واقع در شهر شانگهای و در مجاورت دهانه جنوبی رود یانگ‌تسه[3] احداث شد. این مخزن از سمت بالادسـت با مـخزن بائوگانگ هم‌مرز اسـت و در پایین‌دسـت به رودخانه شین‌چوان‌شـا[4] متصل می‌شود.




**تصویر ۲۹: موقعیت جغرافیایی مخزن چِن‌خانگ**

ایـن مـخزن دارای شـکلی مسـتطیلی با مسـاحتی حـدود ۱/۳۵ میلیون مترمربع اسـت. ظرفیت ذخیره‌سازی این مخزن پس از ارتقا و بهینه‌سازی آن در سال ۲۰۰۸ به ۹/۵۶ میلیون مترمکعب افزایش یافت. میانگین ظرفیت تامین روزانه آب این مخزن حدود ۲/۰۶ میلیون مترمکعب برآورد می‌شود [۴۷، ۶۳].

1. Luojingzhen: 罗泾镇
2. Baoshan District: 宝山区
3. South Branch of the Yangtze Estuary: 长江口南支南港河段
4. Xinchuan Sha River: 新川沙河

محـل برداشـت آب ایـن مـخزن در شـاخه جـنوبی دهانـه رود یانگ‌تسـه و در محـدوده آبـراه نَن‌گانـگ[1] قـرار دارد. آب خـام برداشت‌شـده پـس از عـبور از مـخزن چِن‌خانـگ و ایسـتگاه‌های پمپـاژ بـه مناطـق شـمالی شـانگهای انتقـال می‌یابـد و بـه تصفیه‌خانه‌هـایی همـچون جـابِی[2]، ووسـونگ[3]، یوئه‌پـو[4]، داچانـگ[5] و تای‌خـه[6] تحویـل داده می‌شـود [۶۴].



تصویر ۳۰: ایستگاه پمپاژ آبگیر (برداشت آب) مخزن چِن‌خانگ (سال ۲۰۱۳)

## ◆ پیشـینه مطالعاتـی، رونـد برنامه‌ریـزی و نهادهـای اجرایـی فعـال در سـاخت مخـزن چِن‌خانـگ

برنامـه‌ریزی بـرای احـداث منبـع جدیـد آب شـرب شـهری در شـانگهای از دهـه

1. Nangang:南港河
2. Zhabei:闸北
3. Wusong:吴淞
4. Yuepu:月浦
5. Dachang:大场
6. Taihe:泰和

۱۹۸۰ میلادی آغاز شد. براساس منابع چینی، آغاز روند برنامه‌ریزی برای ساخت این مخزن نیز همانند مخزن بائوگانگ برپایه نتایج تحقیقات پروفسور شن خوئن‌تینگ شکل گرفت [۶۵]. از سال ۱۹۸۶، شرکت آبرسانی شهرداری شانگهای[1] با سازمان‌دهی واحدهای مرتبط نسبت به انجام بررسی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی کیفیت آب در نواحی مختلفی ازجمله شیولیوجینگ[2]، بای‌مائوشا[3] و مخزن بائوگانگ[4] در امتداد رودخانه یانگ‌تسه اقدام کرد. این مطالعات شامل ارزیابی حدود ۷۰ شاخص مختلف کیفیت آب بود که به مدت ۳ سال ادامه یافت. در سال ۱۹۸۷، پروژه «طرح مطالعاتی برنامه‌ریزی برای منبع دوم تامین آب شهری شانگهای- (از) رود یانگ‌تسه»[5] به‌عنوان یک پروژه کلیدی علمی شهری با هدایت مشترک کمیسیون علم و فناوری[6] و کمیسیون مسکن و توسعه شهری-روستایی شانگهای[7] آغاز شد. سایر نهادهای مشارکت‌کننده در این طرح مطالعاتی عبارت‌بودند از: موسسه مطالعات (فنی)، طراحی و تحقیقات شانگهای- SIDRI[8] (که به‌عنوان موسسه طراحی شانگهای نیز شناخته می‌شود)، دانشگاه تونگ‌جی[9]، دانشگاه نرمال شرق چین (که به‌عنوان دانشگاه تربیت معلم شرق چین شناخته می‌شود)، موسسه تحقیقات و طراحی اداره آب‌راه‌های شانگهای

1. Shanghai Municipal Water Supply Company:上海市自来水公司
2. Xiu Liujing:徐六泾
3. Baimao Sha:白茆沙
4. Baogang Reservoir:宝钢水库
5. Research on the Planning Scheme for the Second Water Source of Shanghai's Urban Water Supply-(from the) Yangtze River: 长江——上海城市供水第二水源规划方案研究
6. Science and Technology Commission of Shanghai Municipality: 上海市科学技术委员会
7. Shanghai Municipal Commission of Housing and Urban-rural Development: 上海市建设委员会（上海市住房和城乡建设管理委员会）
کمیسیون ساخت‌وساز شهرداری شانگهای (کمیسیون مدیریت مسکن و توسعه شهری-روستایی شهرداری شانگهای)
8. Shanghai Investigation, Design & Research Institute :上海勘测设计研究院
9. Tongji University :同济大学

(وابسته‌به وزارت حمل‌ونقل چین)[1]، آکادمی علوم محیط‌زیست شانگهای[2]، ایستگاه بهداشت و پیشگیری از بیماری‌های (واگیر) شهرداری شانگهای[3].

مطالعات این پروژه شامل ۱۰ زیرموضوع مختلف مانند بررسی الگوی نفوذ شوری، پیش‌بینی میزان برداشت آب از رود یانگ‌تسه طی سال‌های ۲۰۰۰ تا۲۰۲۰، تحلیل روش‌های برداشت آب و ارزیابی فنی- اقتصادی آن‌ها و موارد دیگر بود. تمرکز اصلی پروژه بر ارزیابی کیفیت منبع و تعیین مکان مطلوب برداشت بود. پس از بیش از ۳ سال تحقیقات فیزیکی، شیمیایی و زیستی و گردآوری نزدیک به ۱۰۰ هزار داده، نهادهای مربوطه سرانجام به درک دقیقی از وضعیت کیفیت آب در بخش موردنظر رودخانه دست یافتند. یافته‌ها نشان داد که کیفیت آب خام رود یانگ‌تسه مطابق با سطح II استاندارد ملی چین برای آب‌های سطحی[4] بوده و برای استفاده به‌عنوان منبع آب شرب مناسب است. درنتیجه، رود یانگ‌تسه به‌عنوان دومین منبع آب سطحی شهر شانگهای تعیین شد و منطقه لوجینگ در شاخه جنوبی رودخانه به‌عنوان محل احداث مخزن چِن‌خانگ انتخاب شد. پس از آن، طراحی و برنامه‌ریزی پروژه به موسسه مطالعات (فنی)، طراحی و تحقیقات شانگهای واگذار شد [۶۷، ۶۶،

1. Design and Research Institute of the Shanghai Waterways Bureau, Ministry of Transport : 交通部上海航道局设计研究所
نام ذکر شده در منبع چینی مربوطبه ساختاری در دهه ۱۹۸۰ است و از وضعیت امروزی این ساختار اطلاعات دقیقی در دسترس نیست.

2. Shanghai Academy of Environmental Science: 上海市环境 (保护) 科学研究所

3. Shanghai Municipal Health and Epidemic Prevention Station: 上海市卫生防疫站
ایستگاه‌های بهداشت و پیشگیری از بیماری‌های (واگیر) چین (站疫防生卫) یکی از نهادهای کلیدی سامانه بهداشت عمومی چین از دهه ۱۹۵۰ تا اوایل دهه ۲۰۰۰ بودند که مسئولیت نظارت بر بهداشت محیط، کنترل بیماری‌های مسری مانند وبا و سل، و اجرای قوانین ایمنی مواد غذایی را برعهده داشتند. این مراکز پس از شیوع بیماری سارس در سال ۲۰۰۳ و درراستای اصلاحات ساختاری به نهاد نوین «مرکز کنترل و پیشگیری بیماری‌ها (Center for Disease Control and Prevention)» تبدیل شدند. امروزه تنها برخی صنایع خاص همچنان از عنوان قدیمی استفاده می‌کنند.

4. National Class II Surface Water Standard: 国家地面水 II 级标准

۴۷]. شایان ذکر است که این موسسه تاکنون مسئولیت طراحی ۴ پروژه بزرگ تامین آب در شانگهای را برعهده داشته که سه مورد از آن‌ها مربوط به مخازن ساحلی تامین آب شرب هستند [۶۸].

درنهایت، ساخت مخزن چِن‌خانگ به تاریخچه اتکای انحصاری شانگهای به رود خوانگ‌پو به‌عنوان تنها منبع آبی پایان داد و زمینه بهره‌مندی بخشی از ساکنان این کلان‌شهر از آب ایمن و باکیفیت رود یانگ‌تسه را فراهم ساخت.

## ◆ ویژگی‌های فنی، مراحل توسعه و راهکارهای بهره‌برداری از مخزن چِن‌خانگ

مرحله اول پروژه احداث مخزن چِن‌خانگ در ژوئن ۱۹۹۲ به پایان رسید. در این مرحله، ظرفیت طراحی‌شده مخزن برابر با ۸/۳ میلیون مترمکعب و توان سامانه انتقال آب آن ۴۰۰ هزار مترمکعب در روز بود. مرحله دوم پروژه در ژوئن ۱۹۹۶ به بهره‌برداری رسید و در دوره‌هایی که پدیده نفوذ آب شور در مصب رود یانگ‌تسه مشاهده نمی‌شد، ظرفیت تامین آب خام از این مخزن به ۱/۳ میلیون مترمکعب در روز افزایش یافت. استفاده از فناوری پرکردن هیدرولیکی[1] برای ساخت سد مخزن ازجمله نوآوری‌های فنی در این پروژه بود که برای نخستین بار در یک پروژه مخزن ساحلی چین به‌کار گرفته شد. این

1. Hydraulic Filling Technology :水力充填技术

در منبع چینی تنها به ذکر نام این فناوری بسنده شده‌است، اما به نظر می‌رسد اصطلاح به‌کاررفته (水力充填) درواقع به همان روش متعارف پرکردن هیدرولیکی (水力冲填) اشاره دارد که در منابع فنی سدسازی رایج است و به فناوری ساخت سد با استفاده از دوغاب خاک و جریان آب اطلاق می‌شود. به‌طورخلاصه، پرکردن هیدرولیکی شیوه‌ای در ساخت‌وساز است که در آن با استفاده از نیروی هیدرولیک، دوغاب (مخلوط آب و خاک) به داخل قالب‌بندی بدنه سد انتقال یافته و پس از ته‌نشینی و تحکیم، بدنه سد را تشکیل می‌دهد. در این روش عموما از جت آب پرفشار برای فرسایش خاک در محل برداشت مصالح استفاده می‌شود تا دوغاب تشکیل شود. سپس دوغاب توسط پمپ و ازطریق خطوط‌لوله به محل ساخت سد منتقل شده و پس از ته‌نشینی و تحکیم، بدنه سازه را تشکیل می‌دهد. خاستگاه این فناوری به دهه ۱۹۳۰ و پروژه سد فورت پک (Fort Peck Dam) در ایالات متحده آمریکا بازمی‌گردد. این فناوری در چین نیز از دهه ۱۹۵۰ به بعد در پروژه‌های آبی به‌کار گرفته‌شد. از مزایای این فناوری می‌توان به سطح بالای مکانیزاسیون، سرعت زیاد ساخت و هزینه پایین اشاره کرد. پایداری کمتر بدنه نسبت به روش‌های متعارف نیز ازجمله محدودیت‌های این فناوری قلمداد می‌شود [۱۸۹].

روش ضمن کاهش قابل‌توجه هزینه‌های ساخت، سرعت اجرای پروژه را نیز به‌طور چشم‌گیری افزایش داد. پس از اجرای عملیات تقویت و افزایش ارتفاع سد مخزن در سال ۲۰۰۸، ظرفیت ذخیره‌سازی آن به ۹/۵ میلیون مترمکعب ارتقا یافت و با بازسازی و به‌روزرسانی ایستگاه پمپاژ نیز ظرفیت انتقال آب خام به ۲/۰۶ میلیون مترمکعب در روز افزایش پیدا کرد [۴۷].

از آن‌جاکه مخزن چِن‌خانگ در نزدیکی مصب رود یانگ‌تسه قرار دارد، در صورت بروز مد شور[1] احتمال پس‌زدگی آب دریا[2] به داخل مخزن وجود دارد که می‌تواند کیفیت آب آن را تحت‌تاثیر قرار دهد. در فصل خشک سال که شوری آب مصب رودخانه از حد مجاز فراتر می‌رود و امکان برداشت مستقیم وجود ندارد، از راهبرد ذخیره‌سازی پیشگیرانه به‌منظور مقابله با این تهدید استفاده می‌شود [۴۷]. در چارچوب این راهکار، مخزن به‌گونه‌ای مدیریت می‌شود که در زمان وقوع نفوذ شدید آب شور بتواند به مدت حدود ۷ روز آب شیرین موردنیاز را بدون‌وقفه و با نرخ طراحی‌شده تامین کند [۲۱].

از زمان بهره‌برداری این مخزن در سال ۱۹۹۲ تا پایان سال ۲۰۱۶ (به مدت حدود ۲۵ سال)، مخزن چِن‌خانگ نقشی کلیدی در تامین آب خام تصفیه‌خانه‌های مناطق شمالی شهر شانگهای ایفا کرده و در مجموع افزون‌بر ۱۰/۶ میلیارد مترمکعب آب ازطریق این مخزن تامین شده‌است [۴۷].

### ◆ مدیریت بحران و سازوکارهای مقابله با شوری

در فوریه سال ۲۰۱۴ یکی از شدیدترین و طولانی‌ترین رخدادهای نفوذ جزرومد شور در مصب رودخانه یانگ‌تسه به ثبت رسید. در جریان این بحران، غلظت کلرید در آب

1. Saline Tide: 咸潮
2. Seawater Backflow: 海水倒灌

ورودی به مخازن چِن‌خانگ و چینگ‌سائوشا از ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر فراتر رفت و این شرایط به‌مدت ۲۳ روز ادامه داشت. چنین وضعیتی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای از ظرفیت طراحی‌شده مخزن چِن‌خانگ برای مقابله با شوری پیشی گرفت. در واکنش به این بحران، مجموعه‌ای از اقدامات اضطراری ازجمله تقویت سامانه‌های پایش و پیش‌بینی، هماهنگی میان مخازن چِن‌خانگ و بائوگانگ، بهره‌برداری تطبیقی در بازه‌های کاهش موقت شوری، و مدیریت یکپارچه شبکه توزیع به اجرا درآمد. اگرچه این تدابیر مانع از اختلال گسترده در تامین آب شهری شدند، اما افزایش غلظت کلرید درون مخزن ضرورت اجرای عملیات مستمر رقیق‌سازی و اختلاط را نمایان ساخت و آثار آن بر حدود دو میلیون نفر از جمعیت تحت‌پوشش غیرقابل‌انکار باقی ماند [۶۹]. در دسامبر ۲۰۱۵، بهره‌برداری از پروژه خط‌انتقال آب خام از محل مخزن چِن‌خانگ به ناحیه جیادینگ[1] آغاز شد. این طرح با پوشش منطقه‌ای به وسعت ۳۹۲ کیلومترمربع و جمعیتی در حدود ۳/۵ میلیون نفر (معادل ۱۵ درصد از جمعیت شانگهای در آن زمان) نقش مهمی در تقویت پایداری سامانه‌های تامین و توزیع ایفا کرد [۷۰].

براساس گزارش‌های رسمی منتشرشده از سوی مرکز پایش و پیش‌بینی وضعیت دریایی شانگهای[2]، وضعیت منابع آبی کلان‌شهر ازجمله مخزن چِن‌خانگ به‌طور منظم و مستمر تحت‌پایش دقیق قرار دارند. داده‌های حاصل از این پایش‌ها شاخص‌هایی نظیر جریان‌های رودخانه‌ای، سطح آب، دما، شوری، کدری و سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی را دربرمی‌گیرند. به‌عنوان مثال، در گزارش مربوط‌به ماه اکتبر ۲۰۲۴ این مرکز آمده‌است که مخزن چِن‌خانگ در این ماه با نفوذ شوری مواجه بوده که به‌مدت ۵/۴۶ روز ادامه داشته و بیشینه غلظت کلراید آن به ۷۴۷ میلی‌گرم

1. Jiading :嘉定
2. The Shanghai Marine Monitoring and Forecasting Center: 上海市海洋监测预报中心

در لیتر رسیده‌است. درمقابل، گزارش مربوط‌به دسامبر ۲۰۲۴ نشان می‌دهد که هیچ موردی از نفوذ شوری در آن بازه زمانی ثبت نشده و بیشینه غلظت کلرید در سطح ۱۵۶ میلی‌گرم در لیتر باقی مانده‌است [۷۱، ۷۲، ۷۳].

این‌گونه داده‌ها در مدیریت روزمره منابع آب شهری اهمیت بسزایی دارند و همزمان، بستر لازم برای واکنش سریع و موثر به رخدادهای بحرانی نظیر نفوذ شوری را فراهم می‌سازند. تداوم این فرآیندهای پایش و تحلیل بر تلاش مستمر نهادهای ذی‌ربط جهت سازگاری با شرایط متغیر محیطی و حفظ پایداری تامین آب شرب در کلان‌شهر شانگهای دلالت دارد.

## ◆ منابع پژوهشی و مقالات فنی مرتبط با پروژه مخزن چِن‌خانگ

پروژه مخزن چِن‌خانگ به‌عنوان یک دستاورد مهندسی و گامی کلیدی در مسیر تامین پایدار آب شهری در کلان‌شهر شانگهای شناخته می‌شود. تنوع و پیچیدگی جنبه‌های مختلف این پروژه- از انتخاب مکان و طراحی فنی گرفته تا الگوهای بهره‌برداری، کنترل شوری و ارزیابی‌های زیست‌محیطی- موجب شده‌است که طی سال‌های گذشته مجموعه‌ای از مطالعات تخصصی و مقالات علمی در سطح ملی (زبان چینی) و بین‌المللی به این موضوع اختصاص یابند.

هدف این بخش از گزارش، ارائه نگاه اجمالی و زمینه‌سازی جهت آشنایی اولیه با ابعاد گوناگون پروژه چِن‌خانگ است. بدیهی است برای ورود به سطوح عمیق‌تر تحلیل، استفاده از منابع تخصصی و پژوهش‌های فنی موجود ضروری خواهدبود. این منابع ازطریق جست‌وجوی کلیدواژه‌هایی مانند نام مخزن در پایگاه‌های داده علمی و تخصصی چینی و بین‌المللی قابل‌دسترس هستند و علاقه‌مندان با رجوع به آن‌ها می‌توانند شناخت دقیق‌تری از سازوکارهای طراحی،

مدیریت و ارزیابی عملکرد این مخزن به‌دست آورند. در جدول ۵، نمونه‌هایی از منابع پژوهشی و مقالات مرتبط با مخزن چِن‌خانگ به‌منظور تسهیل دسترسی اولیه معرفی می‌شوند.

**جدول ۵: منابع پژوهشی و مقالات فنی مرتبط با مخزن چن‌خانگ**

| نام | توضیح |
|---|---|
| فلزات سنگین، نیتروژن و فسفر در رسوبات اولین مخزن آب شرب تغذیه‌شده از رود یانگ‌تسه در شانگهای: ویژگی‌های پراکنش مکانی و ارزیابی خطر آلودگی (۲۰۲۰) Heavy Metals, Nitrogen, and Phosphorus in Sediments from the First Drinking Water Reservoir Supplied by Yangtze River in Shanghai, China: Spatial Distribution Characteristics and Pollution Risk Assessment [۷۴] | این مقاله به بررسی پراکنش مکانی فلزات سنگین و گونه‌های مختلف نیتروژن و فسفر در رسوبات اولین مخزن آب شرب تغذیه‌شده از رود یانگ‌تسه در شانگهای- مخزن چن‌خانگ- می‌پردازد. نتایج حاصله نشان می‌دهند که فلزات سنگینی چون مس، سرب، روی، منگنز و آهن عمدتا در پایین‌دست انباشته شده‌اند، درحالی‌که نیکل و کروم در نواحی مرکزی و غربی تمرکز بیشتری دارند. نیتروژن کل بیشتر در شرق مخزن و نیتروژن آمونیاکی و قسمت اعظم فسفر کل در مناطق مرکزی و شرقی تجمع یافته‌اند. براساس دستورالعمل‌های کیفیت رسوب نیز نشان داده‌شد که نیکل در تمام مناطق و روی در شرق مخزن اثرات زیستی منفی قابل‌توجهی بر موجودات کف‌زی دارند. تحلیل‌های آماری چندمتغیره نشان دادند که فلزاتی مانند مس، روی، سرب و نیتروژن بیشتر منشأ انسانی (فاضلاب صنعتی، خانگی و روان‌آب سطحی رود یانگ‌تسه) دارند، درحالی‌که کروم، نیکل و فسفر از فرسایش طبیعی و منابع پراکنده ناشی شده‌اند. این مطالعه برای محققانی که در زمینه آلودگی درون‌زاد، مدیریت رسوب و ارزیابی زیست‌محیطی مخازن ساحلی فعالیت دارند، مفید است. |

| نام | توضیح |
| --- | --- |
| تحلیل ویژگی‌های میدان جریان در مخزن چِن‌خانگ برپایه شاخص سن آب (۲۰۲۳) Analysis of Flow Field Characteristics for Chenhang Reservoir Based on the Water Age [۷۵] | این مطالعه باهدف تحلیل کارآیی نوسازی آب در بخش‌های مختلف مخزن چن‌خانگ، یک الگوی دو بعدی هیدرودینامیکی و کیفی آب توسعه داده‌است. در این بررسی همچنین الگوی مکانی جریان و سرعت و شاخص سن آب در سناریوهای مختلف با بهره‌گیری از روش رهگیری ذرات لاگرانژی شبیه‌سازی شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که الگوی ورود و خروج جریان، جهت و مقیاس گردش آب را تعیین می‌کند. افزایش دبی از ۱۰ به ۲۰ مترمکعب بر ثانیه، سرعت جریان را ۱/۵ برابر و سن متوسط آب را از ۱/۲ به ۰/۹۲ روز کاهش داده‌است، هرچند این رابطه خطی نیست و نواحی‌ای مانند ساحل جنوب‌غربی همچنان دارای سن آبی بالای ۱/۵ روز باقی می‌مانند. جهت باد نیز تاثیر معناداری دارد: باد جنوب‌شرقی باعث ایجاد ناحیه راکد در جنوب‌غرب می‌شود و میانگین سن آب را تقریبا دو برابر می‌کند، حال آنکه باد شمال‌غربی سن آب را در غرب مخزن کاهش می‌دهد و ناحیه با سن بالاتر را به شمال‌شرق منتقل می‌کند. افزون‌برآن، همبستگی منفی میان سن آب و غلظت کلرید نشان می‌دهد که سن آب شاخصی مناسب برای تبیین روند توزیع مواد پایدار مانند کلرید در مخزن است. این مطالعه برای پژوهشگران علاقه‌مند به مدل‌سازی هیدرودینامیکی، مدیریت کیفیت آب و تحلیل میدان جریان در مخازن ساحلی توصیه می‌شود. |
| بررسی تاثیر تخلیه آب رودخانه لیوخه (Liuhe) بر ایمنی منبع آب چن‌خانگ و راهکارهای مقابله با آن 浏河排水对陈行水源地安全影响及解决措施研究 [۷۶] | این مقاله با تمرکز بر مخزن چن‌خانگ به بررسی خطرات ناشی‌از تخلیه آب حاوی آمونیاک- نیتروژن بالا از رودخانه لیوخه در بالادست می‌پردازد. در این بررسی همچنین مسیر و تاثیرات انتشار این آلاینده با استفاده از داده‌های میدانی و مدل‌سازی دوبعدی شبیه‌سازی شده‌است. نتایج حاصله نشان می‌دهند که شرایط و الگوی تخلیه رودخانه لیوخه، ظرفیت جذب و خودپالایی دهانه یانگ‌تسه، همگی از عوامل کلیدی در ایمنی منبع آب چن‌خانگ هستند. در این مطالعه پیشنهاد می‌شود ساخت یک سد حائل به طول حداقل ۲ کیلومتر میان دهانه لیوخه و مخزن چن‌خانگ می‌تواند به‌طور موثر از نفوذ آلاینده‌ها جلوگیری کند. این مطالعه برای محققان حوزه مدیریت آلایندگی و طراحی اقدامات پیشگیرانه برای ایمنی منابع آب مخازن ساحلی سودمند است. |

| نام | توضیح |
| --- | --- |
| پژوهشی درباره ارزیابی کیفیت آب دو مخزن منبع آب در دهانه رود یانگ‌تسه براساس روش‌های مختلف ارزیابی کیفیت آب (۲۰۲۰) Research on Water Quality Evaluation of Two Water Source Reservoirs in Yangtze River Estuary based on Different Water Quality Evaluation Methods [۷۷] | این مقاله با بهره‌گیری از دو روش «شاخص نمیرو» و «تحلیل مولفه‌های اصلی» به بررسی کیفیت آب دو مخزن چینگ‌سائوشا و چن‌خانگ در سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸ می‌پردازد. یافته‌ها نشان می‌دهند که اختلاف کیفیت آب در ورودی و خروجی مخزن چینگ‌سائوشا بیشتر از مخزن چن‌خانگ بوده و کیفیت آب این دو مخزن در بازه زمانی موردبررسی نوسانات قابل‌توجهی داشته‌است. ارزیابی با تحلیل مولفه‌های اصلی تصویری خوش‌بینانه‌تر از ارزیابی با شاخص نمیرو ارائه می‌دهد. ازسوی‌دیگر، شاخص نمیرو زمانی مناسب‌تر است که شاخص‌های آلودگی به‌طور جدی از استاندارد فراتر نرفته‌باشند، درحالی‌که تحلیل مولفه‌های اصلی برای داده‌های پرتعداد و چندشاخصی کاربرد دارد. این مطالعه برای پژوهشگران و مدیران حوزه پایش، ارزیابی و بهبود کیفیت آب مخازن ساحلی توصیه می‌شود. |
| پایش دینامیک مدیریت ایمنی مخزن چِن‌خانگ (۲۰۱۸) Dynamic monitoring of safety management of Chenhang reservoir [۷۸] | این مقاله به بررسی روش‌های پایش دینامیک ایمنی مخزن چن‌خانگ در شانگهای می‌پردازد. در این بررسی از ترکیب فناوری GPS-RTK و اکوساندر (echosounder) برای پایش توپوگرافی زیرآبی استفاده شده‌است. افزون‌برآن، اندازه‌گیری‌های کلی توپوگرافی و مقاطع ثابت انجام شده و نتایج به‌صورت بصری پردازش شده‌اند تا تغییرات محلی و کلی توپوگرافی زیرآبی در کنار رودخانه را نمایش دهند. با استفاده از این روش می‌توان داده‌های تخصصی برای عملیات ایمن دیواره ساحلی را فراهم کرد. این مطالعه برای مهندسان مدیریت مخازن ساحلی و متخصصان پایش ایمنی سازه‌های آبی مفید خواهدبود. |

| نام | توضیح |
| --- | --- |
| ساختار و گروه‌های عملکردی جوامع گیاهی پلانکتونی در مخزن چِن‌خانگ و ارتباط آن‌ها با عوامل محیطی (۲۰۲۳) The Structure and Functional Groups of Planktonic Plant Communities in the Chenhang Reservoir and Their Relationships with Environmental Factors [۷۹] | این مقاله به بررسی موجودات ریز گیاهی در آب مخزن چِن‌خانگ شانگهای می‌پردازد. در سال ۲۰۲۳، پژوهشگران بیش از ۲۰۰ نوع مختلف از این موجودات را در مخزن شناسایی کردند که برخی انواع آن در فصول گرم سال بیشتر دیده می‌شدند. بررسی‌ها نشان داد که میزان و تنوع این موجودات در نقاط مختلف مخزن متفاوت است و عواملی مانند دمای آب، مواد مغذی و شفافیت آب بر زندگی آن‌ها تاثیرگذار هستند. این مطالعه همچنین نشان داد که کیفیت آب مخزن در حد مطلوبی قرار دارد. این مقاله برای کارشناسان محیط‌زیست، مدیران منابع آبی و علاقه‌مندان به سامانه‌های بوم‌شناختی آبی مفید خواهد بود. |
| تحلیل روند تغییرات نیتروژن آمونیاکی در مخزن چِن‌خانگ طی ده سال (۲۰۱۴) Analysis of Chenhang Reservoir Water Ammonia Nitrogen Changes in Ten Years [۸۰] | این مطالعه به بررسی تاریخی تغییرات غلظت نیتروژن آمونیاکی در مخزن چِن‌خانگ طی دهه دوم بهره‌برداری آن (۲۰۰۳ تا ۲۰۱۲) می‌پردازد. پژوهش مذکور با تحلیل داده‌های بلندمدت، الگوی تغییرات این شاخص کیفی را در شرایط مختلف عملیاتی و تحت‌تاثیر پدیده جزرومد آلودگی رودخانه یانگ‌تسه موردبررسی قرار داده‌است. اگرچه یافته‌های این تحقیق که در سال ۲۰۱۴ ارائه شده، ممکن است از نظر زمانی مربوط به سال‌های ابتدایی بهره‌برداری مخزن باشد، اما می‌تواند به‌عنوان مرجعی برای ارزیابی روند تغییرات کیفی آب در طول زمان موردتوجه قرار گیرد. این مطالعه برای متخصصان حوزه کیفیت آب و مدیران تاسیسات آبی توصیه می‌شود. |

## ۴. مخزن چینگ‌سائوشا

ساخت مخزن چینگ‌سائوشا که بزرگ‌ترین مخزن ساحلی در کشور چین به‌شمار می‌آید، در ماه ژوئن سال ۲۰۰۷ در جزیره چانگ‌شین[1] واقع در مصب رودخانه یانگ‌تسه آغاز شد و در سال ۲۰۱۱ به اتمام رسید. مساحت این مخزن نزدیک به ۷۰ کیلومترمربع

1. Changxin Island

است و طول کل سد پیرامونی آن به ۴۸/۴۱ کیلومتر می‌رسد. ظرفیت کل طراحی‌شده برای این مخزن برابر با ۵۲۷ میلیون مترمکعب بوده و در شرایطی که سطح آب در ارتفاع ۷ متر قرار دارد، ظرفیت موثر آن به ۴۳۸ میلیون مترمکعب می‌رسد. توان تامین آب روزانه این مخزن به بیش از ۷ میلیون مترمکعب می‌رسد. تا پایان سال ۲۰۱۸، نیمی از آب شرب کلان‌شهر شانگهای ازطریق مخزن چینگ‌سائوشا تامین می‌شد و ساخت این مخزن وابستگی تاریخی شهر به رودخانه خوانگ‌پو به‌عنوان تنها منبع اصلی آب را تغییر داد [۲۱].




**تصویر ۳۱: تصویر هوایی مخزن چینگ‌سائوشا و ایستگاه برداشت آب این مخزن [۲۱]**

امـروزه، ایـن مـخزن سـاحلی تنهـا یـک زیرسـاخت تامیـن آب نیسـت، بلکـه عملکردهـای زیسـت‌محیطی ارزشـمندی نیـز دارد. حـدود ۲۸/۸ درصـد از کل مسـاحت درون ایـن مـخزن بـه تالاب‌هـای بکـر اختصـاص یافتـه کـه نقـش مهمـی در تصفیـه طبیعـی آب ایفـا می‌کننـد. ایـن تالاب‌هـا ازطریـق رهـگیری رسوبـات، جـذب نیـتروژن، فسـفر و فلـزات سـنگین و همچنیـن تجزیـه آلاینده‌هـای پایـدار بـه‌طور مـوثری کیفیـت آب را ارتقـا داده‌انـد [۸۱].

## ◆ مشارکت بازیگران تخصصی در شکل‌گیری مخزن چینگ‌سائوشا

در سال ۱۹۹۰، گروهی از پژوهشگران چینی مطالعه‌ای درباره امکان‌سنجی احیای اراضـی در نزدیکـی جزیـره چانگ‌شیـن واقـع در دهانـه رود یانگ‌تسـه انجـام دادنـد. نتیجه این بررسی نشان داد که استفاده از این پهنه آبی برای اهدف توسعه شهری امکان‌پذیـر نیسـت، امـا می‌تـوان آن را بـرای سـاخت یـک منبـع آب محصور کـرد. ایـن بررسـی احتمـالا نخسـتین طرح منتشرشـده بـرای ایجـاد مـخزن سـاحلی چینگ‌سائوشـا بـه شـمار می‌آیـد. در نوامبـر ۱۹۹۰، آقـای جیـن خوای‌گانـگ[1] مقالـه‌ای تحت‌عنـوان «طرح پیشـنهادی بـرای توسـعه مـخزن چینگ‌سائوشـا»[2] در نشریـه دولـت (محلـی) شـانگهای[3] منتشـر کـرد. در واکنـش بـه ایـن مقالـه، اداره آب شـانگهای و سـایر نهادهـای مرتبـط در ژانویـه ۱۹۹۱ سـندی تحت‌عنـوان «پیشـنهاد انجـام مطالعـات امکان‌سـنجی توسـعه منابـع خاکـی-آبـی در چینگ‌سائوشـا، جزیـره چانگ‌شیـن»[4] منتشـر کردنـد. سـپس شورای شـهر شـانگهای[5] در مـارس همـان سـال ایـن پیشـنهاد را در قالـب سـندی

1. Jin Huaigang
2. "Suggestion to Develop Qingcaosha Reservoir"
3. Shanghai Government's Newsletter
4. Proposal to Conduct the Feasibility Study of Soil-Water Resource Development in Qingcaosha, Changxin Island
5. Shanghai City Council

رسمی با عنوان «اعلامیه تهیه مطالعات پیش‌امکان‌سنجی منابع آبی- خاکی در چینگ‌سائوشا، جزیره چانگ‌شین»[1] تایید کرد. درادامه، آقای گو یولیانگ[2] در سال ۱۹۹۳ نخستین ایستگاه اندازه‌گیری شوری آب را درراستای توسعه منابع آبی در این منطقه تاسیس کرد. ورودی (محل آبگیر) مخزن ساحلی کنونی، محل انتخاب‌شده برای تاسیس این ایستگاه شماره ۱ بوده و این ایستگاه تا به‌امروز هیچ‌گاه جابجا نشده‌است [۸۲].

دولت محلی شانگهای در آوریل ۱۹۹۵ تصمیم گرفت تا مطالعات امکان‌سنجی گسترده‌ای را با مشارکت نهادهای تخصصی ازجمله شرکت‌های مشاوره‌ای برجسته، موسسات تحقیقاتی، دانشگاه‌ها و پیمانکاران پروژه‌های عمرانی آغاز کند. درمجموع، ۲۴ نهاد تخصصی در این پروژه مطالعاتی مشارکت داشتند. حاصل این تلاش‌ها در دسامبر ۱۹۹۸ در قالب «گزارش تحقیقاتی مطالعات پیش‌امکان‌سنجی توسعه منابع آب چینگ‌سائوشا»[3] به شورای شهر شانگهای ارائه شد. این گزارش شامل ارزیابی تقاضای آینده آب، تحلیل تحولات محتمل آتی مصب رودخانه یانگ‌تسه، گزینش محل احداث مخزن، ارزیابی زیست‌محیطی، توجیه فنی طراحی و روش‌های مهندسی مخزن، روش آبگیری، امکان‌سنجی لوله‌گذاری زیرسطحی عرض رودخانه یانگ‌تسه جهت انتقال آب، جانمایی ایستگاه پمپاژ و مواردی از این دست بود [۸۲].

1. Notice to Prepare the Pre-feasibility Study for Water-land Resources in Qingcaosha, Changxin Island

2. Gu Yuliang

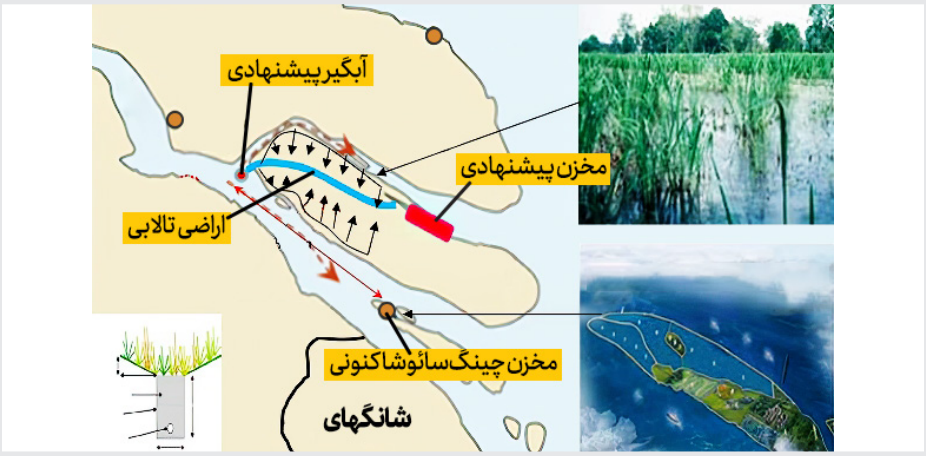
براساس محتویات کتاب دکتر یانگ شوچینگ با عنوان «فناوری و کاربردهای مخازن ساحلی» که در سال ۲۰۲۲ منتشر شده‌است، آقای گو یولیانگ متولد ۱۳ آوریل ۱۹۶۰ در بائوشان شانگهای به‌عنوان برنامه‌ریز اصلی مخزن ساحلی چینگ‌سائوشا در شانگهای شناخته می‌شود.

3. Research Report of Pre-feasibility Study on Qingcaosha Water Resources Development

نهادهای مربوطه شانگهای در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ به روشی نظام‌مند بررسی‌هایی در مورد نفوذ آب شور دریا، به‌ویژه از شمال جزیره چونگ‌مینگ[1] انجام دادند و شورای شهر در سال ۲۰۰۲ از وزارت آب دولت مرکزی چین[2] درخواست کرد تا تاثیر احداث مخزن بر جریان سیلاب‌های بالادست را بررسی کند. درنتیجه، مجموعه‌ای از مدل‌های عددی و فیزیکی برای تحلیل پدیده نفوذ آب شور و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در این منطقه به‌کار گرفته‌شد. این پروژه تحقیقاتی نیز در سپتامبر ۲۰۰۴ به پایان رسید. در سال ۲۰۰۵، دکتر یانگ شوچینگ مقاله‌ای با عنوان «حل کامل مشکل کم‌آبی شانگهای با استفاده از مخازن ساحلی»[3] منتشر کرد که در آن خطرات نفوذ آب شور، افزایش سطح دریا و تاثیر پروژه‌های هیدرولیکی بالادست را بر احداث این مخزن تحلیل کرده‌بود. در این مقاله پیشنهاد شد که ورودی (محل آبگیر) این مخزن ساحلی در بالاترین نقطه ممکن قرار گیرد و محل آن در شمال جزیره چونگ‌مینگ باشد [۸۲]. درحقیقت، در آن زمان سه محل ممکن برای احداث مخازن ساحلی وجود داشت:

- مخزن ساحلی بالادست که توسط دکتر یانگ در سال ۲۰۰۵ پیشنهاد شد. در این طرح پیشنهاد شد مخزن در شمال جزیره چونگ‌مینگ، با ورودی در رأس جزیره، احداث شود.

1. Chongming Island: 崇明岛
2. Water Ministry of Central Government
3. "Completely Solve Water Shortage Problem in Shanghai by Coastal Reservoirs"




**تصویر ۳۲: مخزن ساحلی پیشنهادی یانگ و همکاران (۲۰۰۵) در شمال جزیره چانگ‌مینگ (نوار قرمز رنگ)، با محل آبگیر واقع در رأس جزیره چانگ‌مینگ (نقطه قرمز رنگ)**

**نکته:** دولت محلی بعدها تصمیم گرفت مخزن ساحلی را در چینگ‌سائوشا، ۵۵ کیلومتر پایین‌دست از محل آبگیر پیشنهادی احداث کند که از نظر دکتر یانگ، این‌گونه طراحی از مزایای پیش‌تصفیه طبیعی توسط تالاب‌ها (wetland pretreatment) و نفوذ زیرزمینی (underground infiltration) بی‌بهره بود.

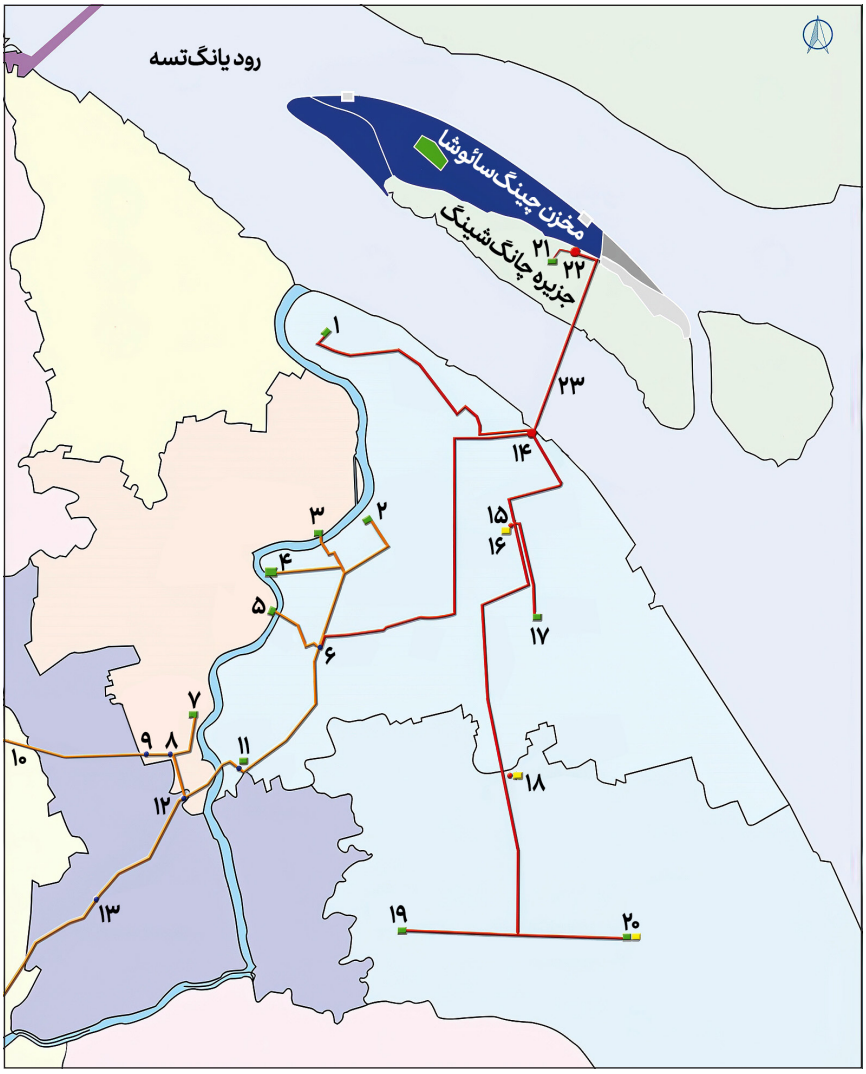
- مخزن ساحلی میانی که همان پروژه چینگ‌سائوشا در ناحیه مرکزی دهانه رود یانگ‌تسه بود و توسط آقای گو یولیانگ پیشنهاد شده‌بود.
- مخزن ساحلی پایین‌دست که در نزدیکی فرودگاه پودونگ قرار داشت و توسط پرفسور چِن جی‌یو[1] پیشنهاد شده‌بود.

درنهایت، یک کمیته فنی متشکل از ۲۶ استاد و کارشناس در ۲۰ تا ۲۲ دسامبر ۲۰۰۵ مزایا و معایب مخازن ساحلی پیشنهادی دوم و سوم را مقایسه کرد. پس از ارائه شفاهی این دو طرح توسط پیشنهاددهندگان آن‌ها و بازدید میدانی از مناطق موردنظر، کمیته مذکور به این نتیجه رسید که کیفیت آب و قابلیت‌اطمینان در تامین آن در مخزن چینگ‌سائوشا

1. Chen Jiyu: 陈吉余

برخی منابع چینی ایده اولیه برداشت آب از دهانه رود یانگ‌تسه را به پروفسور چن جی‌یو از آزمایشگاه کلیدی ملی تحقیقات مصب و سواحل (دانشگاه نرمال شرق چین) نسبت می‌دهند که در دهه ۱۹۹۰ میلادی مطرح شده‌بود. اگرچه محل پیشنهادی او برای احداث مخزن نهایتا انتخاب نشد، اما نقش او در پیشبرد مطالعات مرتبط با مخازن ساحلی در چین را نمی‌توان نادیده گرفت.

مطلوب‌تر از گزینه سوم است. بدین‌ترتیب، طرح پیشنهادی آقای گو یولیانگ برای احداث مخزن ساحلی چینگ‌سائوشا پس از ۱۵ سال بررسی و ارزیابی موردتایید قرار گرفت [۸۲].




**تصویر ۳۳:** طرح مفهومی اولیه مخزن چینگ‌سائوشا براساس ارائه دکتر گو (خطوط قرمز رنگ مسیر لوله‌گذاری هستند) (تفاوت‌های جزئی با نسخه نهایی دارد)

مسیرهای لوله‌گذاری
کارخانه‌های تصفیه آب (در طول مسیر و انتهای خطوط لوله)
ایستگاه پمپاژ و چاهک انشعابی

۱. تصفیه‌خانه لینگ‌چیائو (凌桥:Lingqiao)
۲. تصفیه‌خانه جوجیاچیائو (居家桥:Jujiaqiao)
۳. تصفیه‌خانه یانگ‌شوپو (杨树浦:Yangshupu)
۴. تصفیه‌خانه لوجیازویی (陆家嘴:Lujiazui)
۵. تصفیه‌خانه نَن‌شی (南市:Nanshi)
۶. ایستگاه پمپاژ یِن‌چیائو (严桥泵站: Yanqiao Pump Station)
۷. تصفیه‌خانه چانگ‌چیائو (长桥:Changqiao)
۸. چاهک[1] انشعابی مِی‌لونگ‌گانگ (梅陇港分支井:Meilonggang Branch Manhole)
۹. ایستگاه پمپاژ خط انشعاب شوجینگ (徐泾支线泵站:Xujing Branch Line Pump Station)
۱۰. خط انشعاب شوجینگ (徐泾支线: Xujing Branch Line)
۱۱. تصفیه‌خانه لین‌جیانگ و ایستگاه پمپاژ آب لین‌جیانگ ( 临江水厂和临江泵站: Linjiang Pump Station and Linjiang Water Plant)
۱۲. چاهک انشعابی سائوشینگ (曹行分支井:Caoxing Branch Manhole)
۱۳. کانال انتقال آب (از) بالادست رودخانه خوانگ‌پو (黄浦江上游引水渠道:Upstream Huangpu River Diversion Channel)
۱۴. ایستگاه پمپاژ ووخائوگو (کانال شماره ۵) (五号沟泵站:Wuhagou (No. 5 Canal) Pump Station)
۱۵. ایستگاه پمپاژ جین‌خَی (金海泵站: Jinhai Pump Station)
۱۶. تصفیه‌خانه جین‌خَی (金海: Jinhai)
۱۷. تصفیه‌خانه چوئَن‌شا (川沙: Chuansha)
۱۸. ایستگاه پمپاژ شمال نَن‌خوئی و تصفیه‌خانه جدید شمال نَن‌خوئی (南汇北泵站 和 南汇北新水厂: Nanhui North Pump Station and Nanhui North New Water Plant)
۱۹. تصفیه‌خانه خانگ‌تُو (航头: Hangtou)
۲۰. تصفیه‌خانه خویی‌نَن و تصفیه‌خانه جدید خویی‌نَن (惠南水厂 和 惠南新水厂: Huinan Water Plant and Huinan New Water Plant)
۲۱. تصفیه‌خانه آب چانگ‌شینگ (长兴: Changxing)
۲۲. سازه آبگیر ایستگاه پمپاژ (输水泵闸 : Intake Structure) (نقطه‌ی قرمز رنگ)
۲۳. خط لوله عبور از رودخانه (过江管:Cross-River Pipeline)

۱. **چاهک:** چاهک در شبکه‌های آب‌رسانی به حفره‌های دسترسی در مسیر خطوط لوله گفته می‌شود که برای نصب شیرآلات، انشعاب‌گیری، نظافت و بازرسی استفاده می‌شود.

پس از تایید طرح پیشنهادی، پروژه احداث مخزن ساحلی چینگ‌سائوشا در ژانویه ۲۰۰۶ در برنامه پنج‌ساله توسعه شانگهای[1] گنجانده‌شد. دولت شانگهای در ژوئن ۲۰۰۷ به‌طور رسمی اعلام کرد که برنامه ساخت مخزن ساحلی چینگ‌سائوشا در سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۸ اجرا خواهدشد. گفتنی آنکه حدود ۲ درصد از هزینه‌های ساخت این مخزن به تحقیق اختصاص داده شده‌بود. هزینه ساخت کل این پروژه ۱۷ میلیارد یوان چین (معادل ۲/۳۸ میلیارد دلار آمریکا به قیمت سال ۲۰۲۱) اعلام شد. از این مبلغ، هزینه احداث دیوار ساحلی ۴/۴ میلیارد یوان و هزینه سایر موارد ۱/۳ میلیارد یوان بود که مجموع هزینه ساخت را به۶/۴ میلیارد یوان (معادل ۰/۹ میلیارد دلار آمریکا به قیمت سال ۲۰۲۱) رساند و مابقی مبلغ برای احداث خطلوله و شبکه‌های تصفیه آب اختصاص یافت [۸۲].

در جریان طراحی و احداث این مخزن، موسسه تحقیقات (فنی)، طراحی و نقشه‌برداری شانگهای وابسته‌به شرکت سه دره چین (CTG)[2] به‌عنوان نهاد پیشگام نقش کلیدی در توسعه راهکارهای نوآورانه ایفا کرد و پس از تصویب نهایی پروژه نیز مسئولیت نقشه‌برداری و طراحی را برعهده گرفت. گروه طراحی پروژه به رهبری آقای شی شیائوچیانگ (رئیس وقت موسسه)[3]، آقای لو جونگ‌مین[4] (مهندس ارشد پروژه) و خانم وو سای‌ئه[5] (مدیر پروژه) از مجموعه‌ای از روش‌های نوین (مانند پایش میدانی، تحلیل روند تکامل رودخانه، مدل‌سازی فیزیکی بستر ثابت و متحرک) با در نظر گرفتن ویژگی‌های خاص پروژه استفاده کردند [۸۵]. به‌عنوان‌مثال، پیچیدگی کم‌نظیر الگوهای جریان در محل مصب یکی از ویژگی‌های منحصربه‌فرد این پروژه محسوب می‌شود. رود یانگ‌تسه در این ناحیه به سه شاخه اصلی تقسیم شده و از چهار خروجی به دریا

1. Shanghai's 5-year Development Plan
2. China Three Gorges Corporation
3. Shi Xiaoqiang: 石小强
4. Lu Zhongmin: 陆忠民
5. Wu Cai'e: 吴彩娥

می‌ریزد؛ پدیده‌ای که از آن به‌عنوان یکی از پیچیده‌ترین سامانه‌های جریان رودخانه‌ای در سطح جهانی یاد می‌شود. برای مدل‌سازی رفتار این سامانه، گروه مطالعاتی از مجموعه‌ای متنوع از ابزارهای تحلیلی شامل ۷ مدل هیدرولیکی و رسوب بهره گرفت. این مجموعه شامل مدل‌های ریاضی دوبعدی و سه‌بعدی و مدل‌های فیزیکی یکپارچه با بستر ثابت و بستر متحرک[1] بود. هدف از به‌کارگیری این مدل‌ها، پیش‌بینی رفتار جریان، تغییرات مورفولوژیک[2] بستر، ته‌نشینی و بازتوزیع رسوبات در شرایط مختلف جزرومد بود [۸۶].

درنهایت، گروه طراحی با تکیه بر تحلیل‌های جامع هیدرولیکی، محیطی و سازه‌ای توانست طراحی مخزن چینگ‌سائوشا را با رویکردی نظام‌مند و منطبق‌بر الزامات ایمنی و پایداری به انجام رساند.

## ◆ مشخصات فنی و ویژگی‌های مهندسی و عملکردی مخزن چینگ‌سائوشا

باتوجه‌به شرایط پیچیده و متغیر هیدرودینامیکی در مصب رودخانه یانگ‌تسه، پروژه احداث مخزن چینگ‌سائوشا با چالش‌های فنی قابل‌توجهی همراه بود. سطح دشواری این پروژه در برخی ارزیابی‌ها با پروژه سد سه‌دره چین[3] مقایسه شده‌است [۸۱]. همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، این پروژه حاصل نزدیک به دو دهه تحقیق علمی، برنامه‌ریزی مهندسی دقیق، طراحی مرحله‌ای و اجرای عملیاتی در محیطی دشوار به شمار می‌رود. عملیات ساخت این مخزن از ژوئن سال ۲۰۰۷ در جزیره چانگ‌شین، واقع در مصب رودخانه یانگ‌تسه، آغاز شد و در سال ۲۰۱۱ به پایان رسید [۸۲].

1. Integral Fixed-bed/ Moving-bed Physical Model

۲. مورفولوژی یا ریخت‌شناسی رودخانه (River morphology) به تشریح شکل‌های بستر رودخانه‌ها و تغییرات آن در طول زمان می‌پردازد. مورفولوژی هر سامانه رودخانه‌ای در ارتباط با فرآیندهای حاکم بر آن (ازجمله شرایط اقلیمی، هیدرولوژیکی، هیدرولیکی، وضعیت فرسایش و رسوب‌گذاری، خصوصیات زمین‌شناسی و توپوگرافی محیط رودخانه‌ای و حوزه بالادست آن و بسیاری موارد دیگر) بوده و تحت‌تاثیر آن‌ها قرار دارد.

3. Three Gorges Dam: 三峡水库

نخستین چالش عمده در این پروژه، انتخاب موقعیتی مناسب برای برداشت پایدار و ایمن آب خام در برابر پدیده نفوذ آب شور بود. از سال ۱۹۹۳، گروه پژوهشی پروژه با استقرار ایستگاه‌های تله‌متری خودکار به‌منظور اندازه‌گیری مستمر غلظت کلرید در مصب رودخانه و تحلیل توپوگرافی منطقه براساس تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات رژیم شور و شیرین را در شاخه‌های مختلف رود یانگ‌تسه موردبررسی و پایش قرار دادند. نتایج این پایش‌ها منجربه شناسایی الگوهای پایدار نفوذ آب شور در شاخه شمالی رودخانه شد و درنهایت، محل اصلی برداشت آب در شمال غربی جزیره چانگ‌شین، به‌عنوان ناحیه‌ای با ایمنی هیدرولیکی بالا، تعیین شد. به‌منظور افزایش تاب‌آوری سامانه، ورودی کمکی دیگری نیز در پایین‌دست در فاصله حدود ۲۰ کیلومتر از محل برداشت اصلی طراحی و احداث شد [۸۶].

طول کل دیواره پیرامونی مخزن ۴۸/۴ کیلومتر است که محدوده‌ای به مساحت ۶۶/۱۵ کیلومترمربع را محصور می‌کند. متوسط دامنه جزرومد در محل اجرای پروژه حدود ۲/۴۳ متر است. حجم مفید ذخیره‌سازی طراحی‌شده برای مخزن برابر با ۴۳۸ میلیون مترمکعب در تراز ۷ متر تا ۱/۵- متر (تراز مرده) محاسبه شده، درحالی‌که حجم مفید واقعی آن حدود ۳۸۵ میلیون مترمکعب برآورد می‌شود. مخزن برای تامین روزانه ۷/۳۱ میلیون مترمکعب آب طراحی شده‌است. تراز تاج دیواره ساحلی براساس بالاترین تراز ممکن آب دریا- که ناشی‌از جزرومد صدساله به‌علاوه اثر باد و امواج با همان دوره بازگشت است- تعیین شده‌است. عبور کنترل‌شده جریان[1] با دبی ۰/۰۵ مترمکعب بر ثانیه به‌ازای هر متر طول در طراحی لحاظ شده‌است. سازه برداشت آب این مخزن به طول ۱۴۲ متر شامل یک ایستگاه پمپاژ و یک دریچه کشویی[2] است. ظرفیت ایستگاه پمپاژ بالادست مخزن نیز

1. Overtopping
2. Sluice Gate

۲۰۰ مترمکعب در ثانیه است. دریچه کشویی برداشت آب دارای عرض ۱۰۰ متر و تراز کف ۱/۵- متر است و دریچه خروجی پایین‌دستی دارای عرض ۲۰ متر و تراز کف ۱/۵- متر است. ایستگاه پمپاژ مخزن در دوره‌های خشکسالی شدید مورداستفاده قرار می‌گیرد و دریچه خروجی پایین‌دستی برای شستشوی مخزن و جلوگیری از رکود آب به‌کار می‌رود. مطابق برنامه‌ریزی‌های انجام‌شده، ظرفیت ایستگاه پمپاژ در مرحله اول معادل ۰/۱۱ میلیون مترمکعب در روز بود که در مراحل بعدی توسعه آن پیش‌بینی شده‌است به ۰/۲۳ میلیون مترمکعب در روز پیش‌بینی افزایش یابد [۸۲].



**تصویر ۳۴: سازه برداشت آب مخزن چینگ‌سائوشا**

ظرفیت و طراحی منحصربه‌فرد مخزن چینگ‌سائوشا، آن را به یکی از پایدارترین منابع تامین آب برای کلان‌شهر شانگهای تبدیل کرده‌است. این مخزن قادر است در دوره‌های شدید نفوذ آب شور، تامین آب مستمر شهر را تا ۶۸ روز بدون نیاز به

برداشت از رود یانگ‌تسه تضمین نماید. میزان قابلیت‌اطمینان تامین آب این مخزن بیش از ۹۷ درصد برآورد شده‌است [۸۲].

از منظر فناوری ساخت باید یادآور شد که برخلاف رویه متداول در احداث دیگر مخازن ساحلی چین، در اجرای بخش عمده‌ای از دیواره‌های ساحلی مخزن چینگ‌سائوشا از سدهای موقت[۱] استفاده نشده‌است. درواقع، خاک بستر پی این سازه بسیار نرم و ضعیف بوده و ظرفیت نشست بالایی داشته‌است. به‌همین‌دلیل، برای تحکیم و تثبیت پی از صفحات زهکشی پلاستیکی[۲] استفاده شده و کیسه‌های ژئوتکستایل بزرگ و با استحکام بالا[۳] که به روش هیدرولیکی پر شده‌بودند نیز برای ساخت دیواره شیب‌دار[۴] مورداستفاده قرار گرفته‌اند. این کیسه‌ها با ابعاد ۶×۸ متر یا ۴×۶ متر و ضخامت ۰/۶ تا ۰/۸ متر دارای ظرفیت ۲۰ تا ۲۳ مترمکعب ماسه هستند و به‌طورمیانگین به‌ازای هر مترمکعب ماسه، ۴/۵ مترمربع ژئوتکستایل مصرف شده‌است. تراز پایه فوندانسیون[۵] پمپاژخانه اصلی در این پروژه برابر با ۱۲- متر در نظر گرفته‌شده‌است. به‌منظور انتقال آب از مخزن به شبکه شهری نیز دو تونل به طول ۷/۲ کیلومتر و قطر ۵/۸۴ متر با استفاده از روش حفاری سپری[۶] احداث شده‌اند که مستقیما شانگهای را به مخزن متصل می‌سازند [۸۲].

۱. سد موقت (Cofferdam) به سازه‌ای موقتی اطلاق می‌شود که برای خشک‌کردن موقت یک ناحیه آبی (مثل رودخانه یا دریا) و ایجاد فضای کار ایمن در پروژه‌های آبی ساخته می‌شود. این جمله در مورد مخزن چینگ‌سائوشا نشان می‌دهد که بیشتر دیواره‌های ساحلی آن بدون استفاده از سد موقت ساخته شده‌اند.

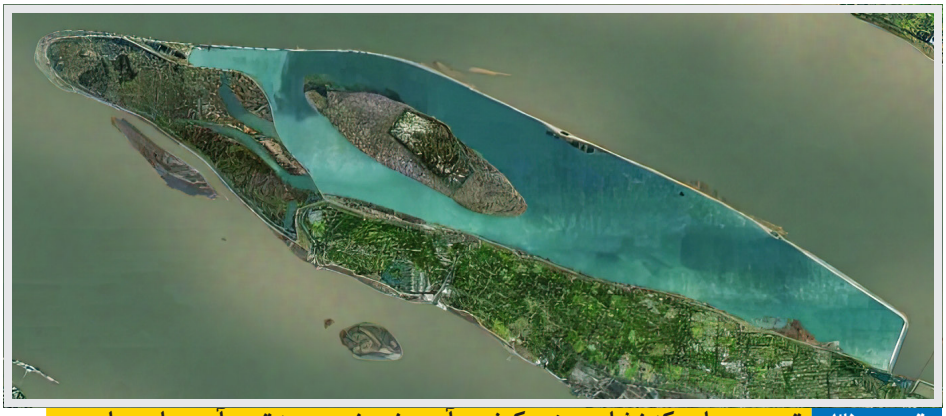
2. Plastic Drainage Plates
3. High Strength Geotextile Bags
4. Loping Dike
5. Foundation Base Elevation
6. Shield Technique

در متن منبع تنها به بیان این نام اکتفا شده‌است و به‌نظر می‌رسد منظور از آن، روشی است که تحت‌عنوان «Shield Tunnelling» در ادبیات فنی شناخته می‌شود. روش حفاری تونل با سپر، یک روش حفاری زیرزمینی است که در آن از یک دستگاه سپری با پوسته‌ای فلزی جهت حفاری زمین و نصب سازه‌ها تحت‌محافظت این پوسته فلزی استفاده می‌شود. روش حفاری تونل با سپر عموما برای ساخت تونل در زمین‌های با مقاومت کم استفاده می‌شود. پوسته فلزی به‌عنوان یک حمایت موقت برای فضای حفاری‌شده عمل می‌کند، فشار زمین اطراف را تحمل کرده و از نفوذ آب‌های زیرزمینی به داخل دستگاه سپر جلوگیری می‌کند [۱۹۰].

علاوه‌براین، مرحله پایانی محصورسازی مخزن در دوم ژانویه سال ۲۰۰۹ طی یک عملیات شبانه و تنها در یک نوبت انجام شد. این موفقیت نقطه‌عطف مهمی در فرآیند ساخت و تکمیل پروژه محسوب می‌شود [۸۸].

### ◆ کارکرد ترکیبی تصفیه و انتقال آب در مخزن چینگ‌سائوشا

مخزن چینگ‌سائوشا با طراحی خاص خود فراتر از یک منبع ذخیره‌سازی صرف بوده و درواقع به‌عنوان سامانه‌ای یکپارچه برای تصفیه طبیعی و انتقال آب عمل می‌کند. با نگاهی به نقشه می‌توان دریافت که مخزن چینگ‌سائوشا به‌صورت نواری کشیده از شمال‌غرب به جنوب‌شرق در امتداد رودخانه یانگ‌تسه قرار گرفته‌است. محل برداشت آب این مخزن در گوشه شمال‌غربی آن واقع شده‌است که این انتخاب هوشمندانه با بهره‌گیری از جریان اصلی میانی رودخانه به‌عنوان یک سد طبیعی، از ورود آلودگی‌های ناشی‌از فاضلاب‌های تخلیه‌شده در کرانه جنوبی رودخانه جلوگیری می‌کند. ایستگاه پمپاژ آب نیز در انتهای پایین‌دست مخزن در بخش جنوب‌شرقی آن قرار دارد. فاصله میان محل برداشت آب تا ایستگاه پمپاژ حدود ۲۰ کیلومتر است. عبور آب از این مسیر طولانی و با جریان کند در داخل مخزن موجب ته‌نشینی طبیعی رسوبات و بهبود تدریجی کیفیت آب می‌شود. ازآنجاکه منطقه مخزن پیش‌تر یک ناحیه تالابی بوده‌است، توانایی ذاتی آن در پالایش آب نیز به افزایش کیفیت کمک می‌کند. بدین‌ترتیب، آب برداشت‌شده از نقطه ورودی پس از طی این مسیر ۲۰ کیلومتری از کیفیت اولیه بالاتری پیش از رسیدن به ایستگاه پمپاژ برخوردار می‌شود [۸۹]. مشاهدات ماهواره‌ای به‌وضوح تفاوت کیفیت آب درون مخزن را با آب بیرون از آن و همچنین تفاوت کیفیت در بخش‌های مختلف مخزن را نشان می‌دهند.



**تصویر ۳۵: تصویر هوایی که نشان‌دهنده کیفیت آب مخزن نسبت به توده آب پیرامون است.**

باتوجه‌به این‌که محل برداشت آب در بخش بالادست قرار دارد، زمان‌هایی که به دلیل پدیده نفوذ شوری امکان برداشت آب وجود ندارد، به‌مراتب کوتاه‌تر از زمانی است که این ورودی در پایین‌دست قرار داشته‌باشد. درواقع، داده‌های اندازه‌گیری‌شده نشان می‌دهند که در سال‌های پرآب و عادی رودخانه یانگ‌تسه امکان برداشت آب این مخزن در طول تمام سال تقریبا تضمین شده‌است. طراحی ویژه این مخزن همچنین امکان برداشت آب به‌صورت ثقلی و با استفاده از جریان طبیعی رود را فراهم کرده و هزینه‌های بهره‌برداری را به‌طور چشمگیری کاهش داده‌است. در دوره‌هایی که پدیده شوری رودخانه وجود ندارد، دریچه‌های مخزن با بهره‌گیری از الگوهای جزرومد رود یانگ‌تسه در زمان پس‌روی آب (جزر) باز می‌شوند و آب به‌صورت طبیعی و بدون نیاز به پمپاژ وارد مخزن می‌شود. افزون‌براین، با باز و بسته کردن دریچه‌ها در بالا و پایین‌دست مخزن می‌توان حرکت آب در داخل مخزن را افزایش داد که این امر از بروز پدیده پرغذایی و کاهش کیفیت آب جلوگیری می‌کند [۸۹].

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، ظرفیت ذخیره‌سازی عظیم این مخزن به‌گونه‌ای است که در صورت پر بودن کامل می‌تواند نزدیک به ۷۰ روز به‌طور مستمر آب تامین

کند که این امر نیز به‌نوبه‌خود باعث افزایش قابل‌توجه امنیت تامین آب در کلان‌شهر شانگهای شده‌است [۸۹]. در مخزن ساحلی چینگ‌سائوشا، آب برداشت‌شده از رود یانگ‌تسه پیش از ورود به سامانه انتقال، از مجموعه‌ای از مراحل پالایش طبیعی و مکانیکی عبور می‌کند که نقش موثری در بهبود کیفیت آب دارد. در مرحله اول، سامانه‌ای متشکل از بوم‌های مهار آلودگی نفتی[1] و توری‌های جمع‌آوری پسماند درشت در محل برداشت در بالادست مخزن تعبیه شده‌است. این تجهیزات برای حذف آلاینده‌هایی نظیر زباله‌های حجیم، مواد جامد شناور و بقایای نفتی طراحی شده‌اند و نخستین سد دفاعی در برابر ورود آلاینده‌ها به مخزن به‌شمار می‌آیند. پس از آن، آب وارد بخشی از مخزن می‌شود که به‌صورت تدریجی عریض می‌شود. عرض سطحی این بخش از حدود ۱ کیلومتر تا ۳ کیلومتر در گسترده‌ترین نقطه متغیر است. این گسترش سطحی موجب کاهش محسوس سرعت جریان شده و بستر مناسبی برای ته‌نشینی طبیعی ذرات معلق و رسوبات فراهم می‌آورد. بدین‌ترتیب، بخشی از مواد جامد معلق موجود در آب پیش از رسیدن به مرحله نهایی تصفیه، از سامانه حذف می‌شوند. در مرحله سوم، فرآیند خودپالایی زیستی توسط گونه‌هایی از آبزیان بومی و مفید نظیر کپورهای سرگنده[2] و نقره‌ای[3] انجام می‌شود. این گونه‌ها ازطریق تغذیه از جلبک‌ها و جذب مواد مغذی محلول در آب می‌توانند در کنترل پدیده پرغذایی (اوتریفیکاسیون) و کاهش خطر شکوفایی جلبکی نقش موثری ایفا کنند [۸۴].

درنهایت، پیش از ورود آب به ایستگاه پمپاژ، سامانه‌ای متشکل از توری‌های مهار جلبک و دستگاه‌های مکانیکی پاک‌سازی نهایی، باقی‌مانده ناخالصی‌های موجود در آب را

1. Oil Containment Boom: 围油栏
2. Bighead Carp (Hypophthalmichthys Nobilis): 鳙鱼
3. Silver Carp or Silverfin (Hypophthalmichthys Molitrix): 鲢鱼

حذف می‌کنند. این لایه پایانی پالایش، کیفیت نهایی آب خام ورودی به سامانه انتقال را به سطح قابل‌قبولی برای تصفیه تکمیلی در تصفیه‌خانه‌های شهری می‌رساند [۸۴].

### ◆ منابع پژوهشی و مقالات فنی مرتبط با مخزن چینگ‌سائوشا

باتوجه‌به جایگاه کلیدی مخزن چینگ‌سائوشا در تامین آب پایدار کلان‌شهر شانگهای، ابعاد مختلف این پروژه در پژوهش‌ها و گزارش‌های فنی متعددی در سال‌های اخیر موردبررسی قرار گرفته‌اند. اگرچه ابعاد تخصصی این پروژه در چارچوب گزارش حاضر به‌طورکامل تبیین نشده‌است، اما علاقه‌مندان و پژوهشگران برای دستیابی‌به اطلاعات کامل‌تر در زمینه‌هایی چون مکان‌یابی، مطالعات محیط‌زیستی، مدیریت بهره‌برداری، کنترل رسوب و آلایندگی، و اندرکنش آب شور و آب شیرین می‌توانند با جستجوی مستقیم نام این مخزن در بانک‌های اطلاعاتی مقالات تخصصی چینی و بین‌المللی به منابع معتبر و متنوعی دست یابند.

از منابع ارزشمند در این زمینه می‌توان به کتابی با عنوان «توسعه پایدار منابع آب با استفاده از مخازن ساحلی»[1] اشاره کرد [۱۶]. در فصل‌های پنجم و ششم این کتاب که به قلم گروه طراحی و مدیریت مخزن چینگ‌سائوشا نگاشته شده‌اند، روند احداث و بهره‌برداری از این مخزن شرح داده شده‌است. در این دو فصل، روند طراحی مفهومی، چالش‌های ناشی‌از نفوذ آب شور، مدیریت کیفیت آب و موارد دیگر با تکیه بر تجربیات طراحان ارشد و مدیران پروژه بررسی شده‌اند. در این کتاب همچنین به نکاتی نظیر نحوه انتخاب مکان، استقرار سازه‌های ورودی، سامان‌دهی ایستگاه‌های پمپاژ و برنامه‌ریزی برداشت آب در فصول مختلف سال اشاره شده‌است. هدف از ارائه این تجربه‌ها، انتقال دانش حاصل از اجرای یکی از پیچیده‌ترین مخازن ساحلی در جهان به

1. Sustainable Water Resource Development Using Coastal Reservoirs

جامعه علمی بین‌المللی عنوان شده‌است. مطالعه این فصل‌های کتاب به‌ویژه برای پژوهشگران علاقه‌مند به طراحی و اجرای مخازن ساحلی در مناطق پرتراکم می‌تواند حاوی اطلاعات ارزشمند باشد. در جدول ۶، نمونه‌هایی از سایر منابع تخصصی و مقالات مرتبط با مخزن چینگ‌سائوشا ارائه شده‌است.

**جدول ۶: منابع تخصصی و مقالات مرتبط با مخزن چینگ‌سائوشا**

| نام | توضیحات |
|---|---|
| تحلیل تغییرات کیفیت آب در ورودی مخزن چینگ‌سائوشا طی یک دوره ده‌ساله (۲۰۲۲) Analysis of changes in water quality at the Qingcaosha Reservoir water intake over a period of 10 years [۹۰] | این مقاله روندهای سالانه و فصلی شاخص‌های اصلی فیزیکی و شیمیایی را با استفاده از داده‌های روزانه پایش کیفیت آب در ورودی مخزن چینگ‌سائوشا طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ بررسی کرده و روابط میان آن‌ها را تحلیل می‌کند. نتایج حاصله نشان می‌دهند که اکسیژن محلول در این مخزن همواره بالا بوده و pH آن کمی قلیایی است. افزون‌برآن، غلظت آمونیاک نیتروژن پایین و نیترات نیتروژن بین ۱/۲ تا ۲ میلی‌گرم در لیتر گزارش شده و شاخص پرمنگنات و فسفر کل نیز در بازه‌های پایینی قرار داشته‌اند. براساس این نتایج، همه این شاخص‌ها از سال ۲۰۱۵ روند کاهشی یافته‌اند که بیانگر بهبود کیفیت آب ورودی است. شاخص‌هایی چون دمای آب، اکسیژن محلول و pH نیز تغییرات فصلی آشکار داشته‌اند، درحالی‌که سختی آب، هدایت الکتریکی و کلرید تحت‌تاثیر پیشروی آب شور رفتار نسبتا ثابتی داشته‌اند. این مطالعه برای پژوهشگران علاقه‌مند به پایش درازمدت کیفیت آب ورودی به مخازن ساحلی و تاثیر عوامل فیزیکی و محیطی بر آن مفید خواهدبود. |

| نام | توضیحات |
| --- | --- |
| محتوا و ارزیابی مخاطرات بوم‌شناختی فلزات سنگین در رسوبات سطحی مخزن چینگ‌سائوشا در شانگهای (۲۰۲۱) Content and ecological risk assessment of heavy metals in the surface sediments of Qingcaosha Reservoir in Shanghai [۹۱] | این مطالعه باهدف تحلیل ویژگی‌های آلودگی و ارزیابی مخاطرات بوم‌شناختی فلزات سنگین در رسوبات سطحی مخزن چینگ‌سائوشا انجام شده‌است. داده‌ها از پنج ناحیه نماینده شامل ورودی سیلاب‌گیر، دو سوی شمالی و جنوبی محدوده احیاشده، و بخش‌های میانی و پایین‌دست مخزن جمع‌آوری شده‌اند. نتایج حاصله نشان می‌دهند که غلظت فلزات سنگین شامل مس، روی، سرب، کروم، کادمیوم، آرسنیک و جیوه دارای ناهمگنی فضایی قابل‌توجهی است، به‌طوری‌که بیشترین غلظت در بخش مرکزی مخزن و کمترین غلظت در نواحی شمالی و جنوبی مشاهده شده‌است. شکل‌بندی شیمیایی این فلزات عمدتا در بخش باقیمانده قرار دارد و سهم آن‌ها در جزء تبادلی ناچیز است. براساس این نتایج، شاخص جامع خطر بوم‌شناختی (ERI) برای این فلزات در محدوده ۵۵ تا ۱۱۳ قرار دارد که بیشینه مقدار در نزدیکی ورودی مخزن و کمینه مقدار در دو سوی احیاشده مشاهده می‌شود. باتوجه‌به مقادیر به‌دست‌آمده می‌توان دریافت که خطر بوم‌شناختی فلزات سنگین در این مخزن در سطح پایین ارزیابی می‌شود. این مطالعه برای پژوهشگران حوزه کیفیت رسوبات منابع آب شرب و متخصصان ارزیابی مخاطرات آلاینده‌های معدنی در محیط‌های مخزنی توصیه می‌شود. |
| مطالعه مکان‌یابی و طراحی پلان سازه آبگیر و ایستگاه پمپاژ مخزن چینگ‌سائوشا (۲۰۲۰) Study on site selection and plane layout for intake pump-gateway of Qingcaosha Reservoir [۹۲] | در فرآیند مکان‌یابی ایستگاه پمپاژ-آبگیر مخزن چینگ‌سائوشا، پس از تعیین محل پایه‌ای برداشت آب، گزینه‌های مختلف برای محل نهایی سازه با در نظر گرفتن عوامل متعدد (ازجمله توپوگرافی، ویژگی‌های زمین‌شناسی، دشواری ساخت، و هزینه سرمایه‌گذاری) موردمقایسه و بررسی جامع قرار گرفتند. به‌منظور افزایش دقت، موقعیت پیشنهادی ازطریق شبیه‌سازی‌های ریاضی و آزمایش‌های مدل فیزیکی تایید شد و سپس مکان نهایی آبگیر انتخاب گردید. باتوجه‌به دبی طراحی بالا، مقیاس بزرگ ساخت و محدودیت‌های توپوگرافی منطقه، طراحی در پلان به‌گونه‌ای انجام شد که با شرایط محلی تطبیق داشته‌باشد و شرایط هیدرولیکی مناسبی برای عملکرد بهینه آبگیر فراهم شود. این پژوهش می‌تواند به‌عنوان مرجع فنی در مطالعات مکان‌یابی سازه‌های برداشت آب برای مخازن بزرگ در مصب رودخانه‌ها مورداستفاده قرار گیرد. |

| نام | توضیحات |
| --- | --- |
| تحلیل جانمایی ساخت‌وساز سازه‌های کلیدی مخزن چینگ‌سائوشا (۲۰۲۰) 青草沙水库关键建筑物的施工布设分析 [۹۳] | در این مطالعه، جانمایی مهندسی اجزای کلیدی مخزن چینگ‌سائوشا شامل سد خاکی پیرامونی، ایستگاه پمپاژ و دریچه‌های آبگیر در بالادست، دریچه‌های کنترل در پایین‌دست، و تاسیسات پمپاژ انتقال آب موردبررسی قرار گرفته‌است. در مطالعه حاضر ابتدا با تحلیل عوامل اجرایی، اصول مکان‌یابی در سطوح مختلف طرح تدوین شده و با بهره‌گیری از مدل‌سازی عددی دوبعدی و سه‌بعدی و ارزیابی شاخص‌هایی نظیر هزینه اجرا و تاثیر بر محدوده‌های مرتبط، طرح‌های مختلف جانمایی مقایسه شده‌اند. نتایج حاصله نشان می‌دهند که طرح نهایی منتخب هم از نظر وضعیت هیدرودینامیکی در محدوده بیرونی مخزن (دهانه جنوبی رود یانگ‌تسه) و هم از لحاظ عملکرد داخلی سازه‌ها و رفتار حرکتی توده‌های آبی درون مخزن دارای کارآیی فنی مناسب و مزایای اقتصادی قابل‌توجهی است. این مطالعه برای تحلیل‌گران پروژه‌های آبی که نیاز به ارزیابی همزمان ملاحظات هیدرودینامیکی، اقتصادی و عملکردی دارند، مفید خواهدبود. |
| تغییرات ساختار جمعیت فیتوپلانکتونی در مخزن چینگ‌سائوشا براساس تحلیل سری‌های زمانی Changes in Phytoplankton Community Structure in Qingcaosha Reservoir Based on Time Series Analysis [۹۴] | این مقاله با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی به بررسی تغییرات ساختار جمعیت فیتوپلانکتونی در مخزن آب آشامیدنی چینگ‌سائوشا در شانگهای بین سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۱ پرداخته‌است. نویسندگان با نمونه‌برداری ماهانه، ۵۶۱ گونه از ۸ شاخه فیتوپلانکتون شناسایی کرده‌اند که دیاتومه‌ها، سبزالگان و سیانوباکتری‌ها بیشترین سهم را داشته‌اند. نتایج حاصله نشان می‌دهند که ترکیب جمعیتی مخزن در سال‌های اخیر به سمت غلبه سیانوباکتری‌ها حرکت کرده‌است که نشان‌دهنده خطر اوتریفیکاسیون است. براساس این نتایج، عوامل محیطی کلیدی موثر در این تغییر شامل دمای آب، غلظت اکسیژن محلول، و مواد مغذی (نیتروژن و فسفر) بوده‌اند. در این مطالعه، نقش ماهیان فیلترکننده مانند کپور نقره‌ای در تنظیم زی‌توده جلبک‌های قابل‌هضم نیز بررسی شده و نشان داده شده‌است که این ماهیان بر ساختار جمعیتی فیتوپلانکتون تاثیر چشمگیری دارند، اما عملکرد آن‌ها وابسته‌به فصل و ترکیب جلبکی است. این مطالعه برای پژوهشگران حوزه محیط‌زیست آبی، مدیریت منابع آب شهری و طراحی راهبردهای کنترلی در مخازن شهری مفید خواهدبود. |

| نام | توضیحات |
| --- | --- |
| تاثیر پروژه مخزن آب چینگ‌سائوشا بر فرسایش و رسوب بستر رودخانه (۲۰۱۸) Influence of Qingcaosha reservoir project on riverbed erosion and deposition [۹۵] | این مقاله به بررسی تاثیر پروژه مخزن چینگ‌سائوشا بر فرسایش و رسوب‌گذاری بستر رودخانه در دهانه رودخانه یانگ‌تسه می‌پردازد. در این مطالعه با استفاده از مدل عددی دو بعدی، روند فرسایش و رسوب‌گذاری قبل و بعد از ساخت سد شبیه‌سازی شده‌است. نتایج حاصله نشان می‌دهند که پس از ساخت سد، نسبت انحراف و سرعت جریان در کانال شمالی جزیره چانگ‌شین کاهش یافته‌است، ولی در کانال جنوبی افزایش داشته‌است. براساس این نتایج، کانال جنوبی بیشتر دچار فرسایش شده‌است، حال آنکه رسوب‌گذاری در کانال شمالی غالب است. این تغییرات در کانال شمالی شدیدتر از کانال جنوبی است که نشان‌دهنده تاثیر بیشتر پروژه سد بر توپوگرافی زیرآب کانال شمالی است. نتایج حاکی از آن هستند که نتایج عددی با داده‌های میدانی تطابق خوبی دارند. این مطالعه برای مهندسان هیدرولیک و مدیران منابع آب که به‌دنبال درک اثرات سازه‌های آبی بزرگ بر زیست‌بوم‌های رودخانه‌ای و تغییرات بستر آب هستند، بسیار کاربردی است. |

## ۵. مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا

جزیره چونگ‌مینگ سومین جزیره بزرگ چین و بزرگ‌ترین جزیره آبرفتی- دلتایی این کشور محسوب می‌شود که از تجمع رسوبات رودخانه یانگ‌تسه در مصب آن تشکیل شده‌است. جزیره چونگ‌مینگ در گذشته با چالش تامین پایدار آب آشامیدنی مواجه بود. در آن دوره، منبع متمرکز تامین آب در این جزیره وجود نداشت و آب موردنیاز ساکنان عمدتا ازطریق ایستگاه‌های محلی تصفیه آب تامین می‌شد که منابع خود را از رودخانه‌های داخلی جزیره برداشت می‌کردند. هرگاه مد شور به منطقه نفوذ می‌کرد، ساکنان چونگ‌مینگ با وضعیت نامطلوبی مواجه می‌شدند که با این‌که در کنار دهانه رود یانگ‌تسه زندگی می‌کردند، اما نمی‌توانستند از آب آن بنوشند. درنتیجه، حل مشکل تامین آب متمرکز در چونگ‌مینگ و ساخت منبع جدید تامین آب در این منطقه به‌عنوان یک اولویت در دستورکار قرار گرفت [۹۶].

امروزه، مـخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شـا کلیـد ایـن تامیـن متمرکز آب اسـت. ایـن مخزن در منطقه آبی میان دونگ‌فنگ‌شی‌شـا و جزیره چونگ‌مینگ قرار دارد و به‌صورت یک مخزن باریـک با امتداد شـرقی- غربی طراحی شده‌اسـت. مسـاحت کل حوزه مـخزن حدود ۳/۷۴ کیلومترمربع و ظرفیت کل ذخیره‌سازی آن حدود ۹/۷۶۲ میلیون مترمکعب است. سازوکار برداشت آب این مخزن از روش ترکیبی پمپ- دریچه[1] بهره می‌برد که با هماهنگی عملیات پمپاژ و تنظیم دریچه‌ها می‌تواند کارآیی را بهینه سازد. در این مخزن با به‌کارگیری راهکارهای مهندسـی ازجمله بهینه‌سـازی هندسـه مخزن و شـکل‌دهی حوضچه آن، نواحی با جریان آرام در مـخزن بـه حداقـل رسیده و زمان گـردش و تعویض آب درون آن تسریع می‌شـود تا از بروز پدیـده پرغـذایی (اوتریفیـکاسیون) آب جلـوگیری شـود. مـخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شـا به‌عنـوان منبع مسـتقل تامیـن آب جزیـره چونگ‌مینگ در ژانویـه ۲۰۱۴ به‌طور رسـمی وارد مدار بهره‌برداری شد و از آن زمان آب موردنیاز ۷۰۰ هزار نفر از ساکنان کل جزیره ازطریق این مخزن تامین می‌شود [۹۶].

### ◆ مقیاس، مکان‌یابی و طراحی مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا

این مخزن در ضلع شمالی به دیواره ساحلی جزیره چونگ‌مینگ متکی است، در ضلع جنوبی از دیوار حائل منطقه دونگ‌فنگ‌شی‌شا بهره می‌گیرد و در دو سمت شرقی و غربی آن، دیواره‌های مهندسی‌شده جدید احداث شده‌اند. مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا در غرب با پایگاه آزمایشی احیای بوم‌سازگان[2] تالاب شی‌شا[3] در جزیره چونگ‌مینگ هم‌مرز است، در شمال مخزن نیز پارک تالاب دریاچه مینگ‌جو (مروارید)[4] قرار دارد، و در جنوب آن هم جزیره دونگ‌فنگ‌شی‌شـا واقع شده که پیش‌تر برای توسعه کشـاورزی بوم‌سازگار مورداستفاده

1. Pump-Gate Linkage: 泵闸联动
2. Ecological Restoration Experimental Base: 生态修复实验基地
3. Xisha Wetland: 西沙湿地
4. Mingzhu (Pearl) Lake- Wetland Park:明珠湖湿地公园

قرار داشته‌است. این مناطق همگی دارای پوشش گیاهی انبوه و چشم‌اندازهای طبیعی زنده و سرسبز هستند. برهمین‌اساس، در طراحی این پروژه تلاش شده‌است تا حد امکان فضای سبز موجود در دیواره ساحلی اصلی جزیره چونگ‌مینگ و دیوار حائل جزیره دونگ‌فنگ‌شی‌شا حفظ شود. با حفظ زمین‌های کم‌ارتفاع داخل محدوده مخزن، بدون آنکه در کوتاه‌مدت تغییری در ظرفیت یا تراز ذخیره‌سازی آب ایجاد شود، هم‌راستایی این طرح با رویکرد کلان جزیره چونگ‌مینگ به‌عنوان یک جزیره بین‌المللی بوم‌سازگار تضمین شده و بستر لازم برای تحقق آن فراهم آمده‌است [۹۶].



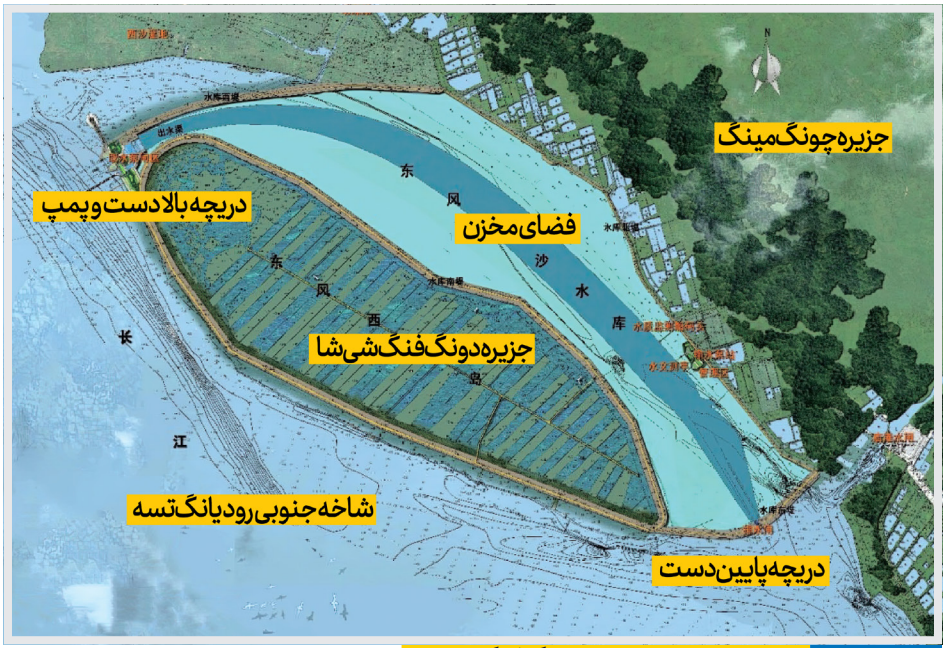

**تصویر ۳۶: تصاویر هوایی مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا**

ساخت این مخزن در نوامبر ۲۰۱۱ آغاز شد و در ژانویه ۲۰۱۴ به بهره‌برداری رسید. طول کل دیواره[1] این مخزن ۱۲ کیلومتر است که البته یک دیواره جدید به طول ۳,۵۷۲ متر نیز

1. Dyke

تا سال ۲۰۱۸ برای این پروژه احداث شده‌بود. مساحت کل مخزن ۳/۷۴ کیلومتر مربع، بیشینه سطح آب آن ۵/۶۵ متر و سطح آب مرده[1] آن ۱ متر است. به‌همین‌ترتیب، ظرفیت کل مخزن ۹/۷۶۲ میلیون مترمکعب و ظرفیت موثر[2] آن ۸/۹ میلیون مترمکعب است.

در سامانه این مخزن، همان‌طور که در شکل زیر نشان داده شده‌است، دریچه‌های فوقانی و تحتانی[3] و یک ایستگاه پمپاژ[4] وجود دارد. ظرفیت ایستگاه پمپاژ فوقانی ۴۰ مترمکعب بر ثانیه است. عرض دریچه فوقانی ۱۴ متر و تراز کف آن ۰/۰ متر است، درحالی‌که عرض دریچه تحتانی ۸ متر و تراز کف آن ۱- متر است.[5] در حال حاضر، آب موردنیاز حدود ۷۰۰ هزار نفر از ساکنان جزیره چونگ‌مینگ ازطریق این مخزن تامین می‌شود [۹۹].




**تصویر ۳۷: بخش‌های اصلی مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا**

1. Dead Storage Water Level
2. Effective Capacity
3. Upper and Lower Sluices
4. Pumping Station
5. این اختلاف ارتفاع می‌تواند در کنترل سطح آب یا عبور جریان در شرایط مختلف مفید باشد.

درحالی‌کـه مـخزن بائوگانـگ و مـخزن چِن‌خانـگ در امتـداد خـط سـاحلی سـاخته شـده‌بودند، مـخزن چینگ‌سائوشـا و مـخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شـا از جزایـر درون ناحیـه مصبی یانگ‌تسـه بـه سـمت دریا گسـترش یافته‌انـد و به‌همین‌دلیـل در برخی از منابع از ایـن دو مـخزن بـا عنـوان مخـازن جزیـره‌ای[1] نـام بـرده می‌شـود. درحقیقـت، شـانگهای بـا ایجـاد مخـازن خـط سـاحلی[2] و مخـازن جزیـره‌ای، انـواع جدیـدی از مخـازن سـاحلی را معرفی کـرده و بـه نمونـه‌ای شـاخص از توسـعه مخـازن سـاحلی نویـن در جهـان تبدیـل شده‌اسـت [۲۱].

میـزان موردنظـر تامیـن آب روزانـه مـخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شـا ۲۱۵ هزارمترمکعـب در روز اسـت کـه پیش‌بینـی می‌شـود در آینـده بـه ۴۰۰ هزارمترمکعـب در روز افزایـش یابـد. به‌همین‌علـت، زیرسـاخت‌های اصلـی و سـازه‌های عمرانـی مـخزن بـا در نظـر گرفتـن مقیـاس طرح نهـایی (افـق بلندمـدت) طراحـی و احـداث شـده‌اند، درحالی‌کـه تجهیـزات فنـی مـخزن متناسـب بـا نیازهـای فعلـی (کوتاه‌مـدت) نصـب شـده‌اند. دراین‌راسـتا، ظرفیـت مـخزن، تـراز بهره‌بـرداری، سـازه‌های برداشـت و انتقـال آب، و نوع و تعـداد تجهیـزات پمپـاژ، همگـی به‌گونـه‌ای طراحـی شـده‌اند کـه امـکان تطابـق بـا نیازهـای متغیـر در بازه‌هـای زمانـی مختلـف را فراهـم سـازند. ایـن رویکـرد طراحـی دوگانـه امـکان تامیـن پایدار نیازهای شـرب و صنعتی ساکنان و واحدهای اقتصادی جزیره و همچنین ارتقای ایمنـی در سـامانه تامیـن آب را فراهـم مـی‌آورد و مزایـایی چون انعطاف‌پـذیری عملیاتـی و بهینه‌سـازی سـرمایه‌گذاری را نیـز بـه همـراه دارد [۹۹، ۱۰۰].

### ◆ راهبردهای فنی برای تضمین کیفیت و ایمنی آب مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا

باتوجه‌بـه نقـش حیاتـی مـخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شـا به‌عنـوان منبـع مسـتقل تامیـن

1. Island Reservoirs
2. coastline reservoir

آب شرب در جزیره چونگ‌مینگ، طراحی و بهره‌برداری آن بر محور تضمین بیشینه کیفیت و ایمنی آب متمرکز شده‌است. ازآنجاکه این مخزن به‌عنوان منبع آب مستقل جزیره چونگ‌مینگ عمل می‌کند و به شبکه آبرسانی مناطق دیگر شانگهای متصل نیست، حساسیت در حفظ پایداری کیفی آب آن دوچندان است. به‌منظور اطمینان از کیفیت آب ورودی به این مخزن، طراحی سامانه برداشت آب به‌گونه‌ای انجام شده که آبگیری ازطریق لوله‌هایی به طول ۴۵۰ متر و قطر ۳/۲ متر انجام می‌شود که مستقیما به بخش‌های عمیق و مرکزی رودخانه یانگ‌تسه امتداد یافته‌اند و از کانال‌های روباز[1] برای انتقال آب بهره می‌برند. این سامانه می‌تواند براساس داده‌های پایش لحظه‌ای کیفیت آب، روش برداشت را تطبیق دهد تا بالاترین کیفیت ممکن آب ورودی تضمین شود [۸۹، ۱۰۱].

ایستگاه پمپاژ انتقال آب ازطریق یک کانال بتنی مدفون (باکس کالورت)[2] تغذیه می‌شود که امتداد آن تا ناحیه جریان اصلی مخزن پیش‌روی کرده‌است. این طراحی باهدف تثبیت کیفیت آب ورودی و جلوگیری از تاثیر تلاطم امواج و انتقال رسوبات از نواحی کم‌عمق کرانه‌ای صورت گرفته‌است. در دوره‌هایی که جزرومد شور وجود ندارد، با فراهم بودن شرایط کیفی آب در دریچه‌های آبگیر و محل ورود ایستگاه پمپاژ، سامانه بهره‌برداری ازطریق هماهنگی عملکردی میان دریچه‌های بالادست و پایین‌دست عمدتا درراستای بهینه‌سازی مصرف انرژی فعالیت می‌کند. ازسوی‌دیگر، یکی از چالش‌های رایج در مخازن، بروز پدیده رکود آب است که می‌تواند زمینه‌ساز پرغذایی (اوتریفیکاسیون) و شکوفایی جلبکی شود. به‌منظور پیشگیری از چنین شرایطی، مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا با مجموعه‌ای از تدابیر کنترلی مناسب (ازجمله

1. Open-Channel Water Diversion: 明渠引水
2. Box Culvert: 箱涵

طراحی منطقی سازه‌های برداشت، انتقال و تخلیه آب، و اجرای اصولی همچون «ورود از بالادست و خروج از پایین‌دست»[1] جهت به‌جریان انداختن آب درون مخزن) سرعت تعویض آب داخل مخزن را افزایش داده و از شکل‌گیری مناطق کم‌جریان جلوگیری می‌کند. زمان ماندگاری آب درون این مخزن همواره در بازه منطقی ۴ تا ۷ روز حفظ می‌شود [۱۰۱].

در انتخاب نوع پمپ برای ایستگاه پمپاژ آب خام مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا نیز رویکردی نوآورانه و مبتنی‌بر شرایط خاص پروژه اتخاذ شده‌است. باتوجه‌به الزامات تطبیق‌پذیری با ترازهای متغیر آب در دوره‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت، ویژگی‌های محیطی محل احداث ایستگاه و لزوم سهولت در بهره‌برداری و تعمیرات نیز نوعی پمپ جریان مختلط با روتور کشویی انتخاب شده که مجهز به سامانه کنترل دور متغیر (اینورتر)[2] است. بدین‌ترتیب، پمپ‌های انتخاب‌شده -چه برای نیازهای فعلی و چه برای نیازهای آتی- در بازه راندمانی مطلوب عمل خواهندکرد و از نظر بهره‌وری دارای عملکردی پایدار هستند [۱۰۰].

در ارتباط با تجهیزات کنترلی نیز نوآوری‌های قابل‌توجهی به‌کار گرفته‌شده‌است. در این پروژه، دریچه‌های بازرسی[3] که معمولا برای عملیات تعمیر و نگهداری استفاده می‌شوند به‌عنوان دریچه‌های پشتیبان برای کنترل سیلاب[4] نیز به‌کار گرفته شده‌اند. در دو سوی دریچه اصلی[5] در بالادست و پایین‌دست نیز دریچه‌هایی از نوع قطعه‌ای (استاپ‌لاگ)[6] نصب شده‌اند تا در صورت از کار افتادن دریچه‌ی اصلی

1. Upper Intake, Lower Discharge: 上引下排
2. Mixed-Flow Pump with Removable Core and Variable-Frequency Drive (VFD): 抽芯混流泵 (变频)
3. Maintenance Gates: 检修闸门
4. Backup Flood Gate: 防洪备用门
5. Operational Gate: 工作闸门
6. Stoplog Gates: 叠梁门

بتوانند به‌طور موقت جریان آب را مهار کنند. افزون‌برآن، دریچه بازرسی واقع در سمت بیرونی به‌گونه‌ای طراحی شده که با افزودن یک قطعه تکمیلی، ارتفاع آن به سطح موردنیاز برای کنترل سیلاب ارتقا یابد. این طراحی تلفیقی ضمن ارتقای ایمنی سازه در برابر رویدادهای حدی، موجب صرفه‌جویی در هزینه‌های سرمایه‌گذاری پروژه نیز شد [۱۰۰].

### ◆ دست‌اندرکاران طراحی، ساخت و پشتیبانی علمی مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا

پروژه مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا به‌عنوان یکی از چهار منبع اصلی تامین آب شانگهای حاصل همکاری نزدیک میان شرکت‌های تخصصی طراحی، شرکت‌های مجری ساخت و نهادهای پژوهشی- علمی بود. در حوزه طراحی، مسئولیت اصلی برعهده گروهی از شرکت تحقیقات (فنی)، طراحی و نقشه‌برداری شانگهای بود که در طراحی و ساخت سه مخزن ساحلی پیشین شانگهای نیز مشارکت فعال داشته‌است. خانم وو سای‌ئه[1] از مهندسان ارشد این موسسه و از چهره‌های کلیدی است که طی بیش از دو دهه در تمامی پروژه‌های مربوط‌به چهار منبع اصلی آب شرب شانگهای (شامل سه مخزن ساحلی) مشارکت فعال داشته‌است. وی از سال ۱۹۹۰ با ورود به پروژه مخزن چِن‌خانگ، مسیر حرفه‌ای خود را در طراحی تاسیسات آب‌رسانی شهری آغاز کرده و به یکی از متخصصان ارشد این حوزه تبدیل شده‌است [۵۲].

در بخش ساخت‌وساز، شرکت مهندسی راه و پل گروه گِجُوبا چین[2] در اکتبر سال ۲۰۱۱ برنده مناقصه اجرای سد و ایستگاه پمپاژ آب این مخزن شد. این شرکت تنها زیرمجموعه دارای صلاحیت درجه‌یک در حوزه بندر و دریانوردی در این گروه بود که

1. Wu Cai'e :吴彩娥
2. China Gezhouba Group Road and Bridge Engineering Co., Ltd
این شرکت در سال ۲۰۱۴ با نام شرکت پنجم مهندسی گروه گِجُوبا چین (Gezhouba No. 5 Engineering Co. Ltd.: 葛洲坝第五工程公司) شناخته می‌شد.

از تجربیات خود در پروژه‌های بزرگ دریایی بهره برد و عملیات ساخت را بدون وقفه و حتی در ایام تعطیلات سنتی چین ادامه داد. درنهایت، نوآوری‌های مدیریتی این شرکت در زمینه‌هایی چون کیفیت، ایمنی، هزینه و زمان‌بندی باعث شد پروژه دونگ‌فنگ‌شی‌شا نشان طلایی پروژه‌های مهندسی آب شانگهای[1] در سال ۲۰۱۵ را کسب کند که این خود زمینه‌ساز ورود موفق شرکت به پروژه‌های بعدی در این حوزه شد [۱۰۰].

در بخش پشتیبانی علمی و مطالعات پایه، گروه پژوهشی پروفسور جو-جیین‌رونگ[2] از آزمایشگاه کلیدی ملی تحقیقات مصب و سواحل (دانشگاه نرمال شرق چین) در وهله اول سال‌های آبی ۱۹۷۹-۱۹۷۸ را به‌عنوان دوره‌های مرجع با حداقل جریان (شدیدترین خشکسالی‌های ثبت‌شده) انتخاب کرد و در مرحله بعد نسبت به شبیه‌سازی تغییرات شوری در محل برداشت آب دو مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا و چینگ‌سائوشا اقدام کرد. نتایج مطالعات این گروه نشان داد که در بدترین حالت، امکان برداشت از این دو مخزن به مدت به‌ترتیب ۲۶ و ۶۸ روز وجود نداشت. این داده‌ها در طراحی ظرفیت بهینه مخزن نقش اساسی ایفا کرده و پشتیبانی علمی مهمی برای ساخت مخزن و انتقال راهبردی منابع آب شیرین به شانگهای فراهم آوردند [۱۰۲].

1. Shanghai Water Conservancy Project Gold Award:上海市水利工程金奖

جایزه‌ای معتبر در حوزه پروژه‌های آبی چین بود که باهدف ارتقای کیفیت ساخت‌وساز و ایجاد انگیزه در صنعت آب توسط انجمن پروژه‌های آبی شانگهای تحت‌نظارت اداره امور آب شانگهای اعطا می‌شد. این جایزه سالانه به ۵ پروژه برتر در حوزه‌های ساخت، نوسازی و به‌سازی تاسیسات آبی تعلق می‌گرفت. پروژه‌های نامزد این جایزه باید ابتدا در مرحله بازرسی میدانی و ارزیابی مستندات توسط هیئت‌داوران متشکل از ۷ یا ۹ کارشناس موردبررسی قرار می‌گرفتند. دریافت این جایزه شرط لازم برای مشارکت پروژه‌های شانگهای در رقابت‌های ملی و استانی محسوب می‌شد. اطلاعات جدیدی از ادامه اعطای این جایزه طی سال‌های اخیر در منابع اینترنتی وجود ندارد که البته ممکن است نام آن طی سال‌های اخیر تغییر کرده‌باشد.

2. Zhu Jianrong: 朱建荣

آنچه در این بخش معرفی شد، تنها شماری از بازیگران کلیدی در پروژه مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا را دربرمی‌گیرد. در بخش بعد، نهادها، شرکت‌ها و متخصصانی که در مراحل طراحی، اجرا و بهره‌برداری این پروژه و سایر مخازن ساحلی شانگهای نقش داشته‌اند با جزئیات بیشتری معرفی خواهندشد تا تصویری جامع‌تر از شبکه فنی و نهادی فعال در توسعه زیرساخت‌های منابع آب این کلان‌شهر ترسیم شود.

### ◆ منابع پژوهشی و مقالات فنی مرتبط با مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا

باتوجه‌به این‌که مخزن ساحلی دونگ‌فنگ‌شی‌شا ازجمله آخرین پروژه‌های اجراشده در زمینه توسعه مخازن ساحلی در شانگهای محسوب می‌شود و در کنار مخزن چینگ‌سائوشا یکی از زیرساخت‌های کلیدی تامین آب این کلان‌شهر به‌شمار می‌آید، منابع پژوهشی و مطالعات فنی متعددی در سال‌های اخیر به بررسی ابعاد مختلف این پروژه پرداخته‌اند. ازاین‌رو، علاقه‌مندان به گردآوری گزارش‌های تفصیلی درخصوص موضوعاتی چون مکان‌یابی، مطالعات محیط‌زیستی، مدیریت بهره‌برداری، مدیریت رسوب و آلایندگی، و اندرکنش آب شور و آب شیرین در این نوع مخازن می‌توانند با جستجوی مستقیم نام این مخزن[1] در بانک‌های اطلاعاتی مقالات تخصصی چینی و بین‌المللی، به منابع ارزشمندی دست یابند.[2] نمونه‌هایی از منابع پژوهشی و مقالات مرتبط با مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا در جدول ۷ به‌منظور تسهیل دسترسی اولیه معرفی می‌شوند.

۱. این مخزن با عنوان Dongfengxisha Raw Water Project (东风西沙原水工程) نیز شناخته می‌شود.

۲. چند مورد از معتبرترین و مرتبط‌ترین پایگاه‌های مقالات چینی:
CNKI (China National Knowledge Infrastructure): https://www.cnki.net/
WanFang Data: https://www.wanfangdata.com.cn/
CQVIP (Weipu Database): http://www.cqvip.com/
Baidu Xueshu (百度学术) : https://xueshu.baidu.com/

**جدول ۷: منابع پژوهشی و مقالات مرتبط با مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا**

| نام | توضیحات |
|---|---|
| بررسی طرح ساخت لوله‌های فولادی برداشت آب در مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا (۲۰۱۳) 东风西沙水库取水钢管建造方案研究 [۱۰۳] | این مقاله به بررسی و مقایسه سه روش برای ساخت لوله‌های برداشت آب در ایستگاه پمپاژ مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا می‌پردازد که در محل رودخانه یانگ‌تسه برای برداشت مستقیم آب تعبیه شده‌اند. گزینه‌های موردبررسی شامل لوله‌گذاری دفنی، جکینگ (Pipe Jacking) و ترکیب این دو است. درنهایت، گزینه ترکیبی به‌دلیل در نظر گرفتن تغییرات جریان رودخانه، شرایط هیدرولوژیکی، کاهش خطرات زیست‌محیطی، دسترسی مطمئن به آب باکیفیت، کوتاه شدن مدت پروژه و سهولت اجرا در بخش نزدیک به ساحل به‌عنوان گزینه برتر انتخاب شد. این مطالعه می‌تواند برای پژوهشگرانی که به‌دنبال تحلیل گزینه‌های فنی برداشت آب، ملاحظات مکان‌یابی و ارزیابی زیست‌محیطی در پروژه‌های مخازن ساحلی هستند، مفید واقع شود. |
| طراحی و کاربرد شبکه بی‌سیم پایش ایمنی در مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا (۲۰۱۶) Design and Application of Wireless Safety Monitoring Network of Dongfengxisha Reservoir [۱۰۴] | این مقاله با بررسی ویژگی‌های فناوری بی‌سیم ZigBee و شرایط محیطی خاص پروژه پایش ایمنی مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا در شانگهای، به طراحی یک شبکه پایش ایمنی خودکار می‌پردازد. در این مطالعه با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی، عملیاتی و فنی سعی شده‌است راهکار کامل مبتنی‌بر ZigBee ارائه شود که با موفقیت در پروژه اجرا شده و نتایج مطلوبی در پی داشته‌است. این مطالعه برای پژوهشگران علاقه‌مند به بررسی سامانه‌های مدیریت ایمنی، فناوری‌های پایش بی‌سیم و کاربرد آن‌ها در پروژه‌های مخازن ساحلی ارزشمند خواهدبود. |
| بررسی افزایش pH آب خام و روش‌های کنترل میزان آلومینیوم آب تصفیه‌شده در مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا (۲۰۱۹) 东风西沙水库原水 pH 值升高及出厂水铝控制方法研究 [۱۰۵] | این مقاله به بررسی این مشکل عملی در تصفیه‌خانه آب شهر چونگ‌چیائو در منطقه چونگ‌مینگ شانگهای می‌پردازد که در فصل بهار و تابستان مقدار pH در آب خام مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا افزایش می‌یابد. درواقع، افزایش pH ناشی‌از رشد شدید جلبک‌ها در دمای بالا منجربه بالا رفتن میزان آلومینیوم در آب خروجی از تصفیه‌خانه می‌شود که این امر استانداردهای کیفی آب را نقض می‌کند. در این مطالعه به‌منظور حل این مشکل، سه روش برای کنترل میزان آلومینیوم پیشنهاد و آزمایش شد و درنهایت مشخص شد که افزایش خاصیت اسیدی ماده منعقدکننده (coagulant) موثرترین روش است. این مطالعه برای پژوهشگران علاقه‌مند به بررسی مدیریت بهره‌برداری، تاثیر رشد جلبک‌ها، تعامل کیفیت آب با فصل، و روش‌های کنترل مواد آلاینده در مخازن ساحلی چین بسیار سودمند خواهدبود. |

| نام | توضیحات |
| --- | --- |
| ارزیابی جامع ایمنی مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا (۲۰۱۹) Comprehensive safety evaluation of Dongfengxisha reservoir [۱۰۶] | این مقاله به ارزیابی جامع ایمنی مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا و پروژه‌های مرتبط با آب‌گیری و انتقال آب در جزیره چونگ‌مینگ شانگهای می‌پردازد. این ارزیابی برمبنای بازرسی‌های میدانی و تحلیل داده‌های نظارتی انجام شده و جنبه‌هایی مانند کیفیت ساخت، مدیریت بهره‌برداری، ظرفیت کنترل سیلاب، ایمنی نشت، ایمنی سازه‌ای، ایمنی در برابر زلزله، و ایمنی سازه‌های فلزی را دربرمی‌گیرد. نتایج این ارزیابی نشان می‌دهند که تمامی مولفه‌های هیدرولیکی موردبررسی ازجمله بدنه مخزن، ایستگاه‌های پمپاژ، دریچه‌ها و سازه‌های زهکشی با استانداردهای مربوطه تطابق دارند. این مطالعه برای پژوهشگران علاقه‌مند به بررسی مطالعات مدیریت بهره‌برداری، ارزیابی ایمنی سازه‌ای و هیدرولیکی، و استانداردهای کنترل سیلاب در پروژه‌های مخازن ساحلی چین- به‌ویژه مدیریت پایدار و ایمن چنین تاسیساتی- مفید خواهدبود. |
| ویژگی‌های محتوایی و ارزیابی خطر بوم‌شناختی فلزات سنگین در رسوبات سطحی مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا، شانگهای، چین (۲۰۲۰) Content characteristics and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediment of Dongfengxisha reservoir, Shanghai, China [۱۰۷] | این مطالعه به بررسی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا (دومین منبع بزرگ آب آشامیدنی شانگهای) می‌پردازد. بدین‌منظور، نمونه‌های رسوبی سطحی در سال ۲۰۱۹ از ۱۰ مقطع مختلف مخزن جمع‌آوری شد و اندازه دانه‌بندی و میزان ۹ عنصر فلز سنگین در آن‌ها موردتحلیل قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان داد که رسوبات عمدتا ماسه‌ای هستند و میانگین غلظت فلزات سنگین- به‌جز کادمیم (Cd) و آرسنیک (As)- پایین‌تر از مقدار زمینه خاک شانگهای است. براساس تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)[1]، منابع احتمالی آلودگی شامل فاضلاب صنعتی، کشاورزی و خانگی می‌شوند. شاخص تجمع زمین‌شناسی نشان داد که کادمیم عنصر اصلی آلاینده و در سطح آلودگی متوسط است. در ارزیابی خطر بوم‌شناختی نیز کادمیم عامل خطر اصلی در سطح خطر شدید معرفی شد. براساس نتایج حاصله، سایر عناصر در سطح خطر خفیف هستند و به‌طورکلی، خطر بوم‌شناختی مخزن در سطح متوسط برآورد شده‌است. این مطالعه برای پژوهشگران فعال در زمینه مدیریت آلودگی، رسوب‌گذاری، و ارزیابی زیست‌محیطی مخازن ساحلی به‌ویژه جهت بررسی تاثیر پساب‌های انسانی بر منابع آب شهری بسیار مفید خواهدبود. |

1. Principal Component Analysis

| نام | توضیحات |
| --- | --- |
| تحلیل تاثیر نوع مخزن بر الگوی جریان و تبادل آبی در مخازن دشتی (۲۰۲۱) Analysis of the influence of the reservoir type on the flow pattern and water exchange in the impoundment plain reservoir [۱۰۸] | این مقاله با تمرکز بر مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا به بررسی تاثیر نوع طراحی مخزن بر الگوی جریان و شدت تبادل آبی در مخازن مصنوعی ساخته‌شده در مناطق دشت می‌پردازد. در این مقاله تاکید شده‌است که پس از تعیین محل مخزن و اجرای سازه‌هایی چون سیل‌بند و دریچه، شرایط جریان آب به‌طور کامل تغییر می‌کند و نیاز است نوع مخزن با شرایط جدید طراحی‌شده سازگار شود. ازاین‌رو، در این بررسی پیشنهاد می‌شود که بازطراحی نوع مخزن براساس شرایط جریان مهندسی‌شده می‌تواند زمان تطبیق طبیعی را کاهش دهد و با بهبود الگوی جریان، شدت تبادل آب درون مخزن را افزایش دهد. این یافته‌ها با مطالعه موردی مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا (که میان جزایر دونگ‌فنگ‌شی‌شا و چونگ‌مینگ ایجاد شده‌است)، پشتیبانی شده‌اند و نشان می‌دهند که کنترل دقیق ورودی و خروجی آب در چنین مخازنی باعث تفاوت چشمگیر رفتار آن‌ها با جریان جزرومدی می‌شود. نتایج این مطالعه می‌تواند برای طراحی و بازنگری نوع مخازن مصنوعی مشابه بسیار کاربردی باشد. این مطالعه برای متخصصان فعال در زمینه مکان‌یابی مخازن ساحلی، طراحی هیدرولیکی و مدیریت تبادل آبی در مخازن مصنوعی دشت‌های پَست بسیار مفید خواهدبود. |
| تغییرات نفوذ جزرومد شور در محل برداشت آب مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا و راهکارهای مقابله با آن (۲۰۲۵) Changes in Saline Tide Intrusion at the Dongfengxisha Water Source Intake and Countermeasures [۱۰۹] | این مقاله به بررسی تغییرات نفوذ جزرومد شور در محل برداشت آب مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا طی یک دهه پس از بهره‌برداری می‌پردازد. نتایج نشان می‌دهند که پس از ساخت مخزن، شدت، مدت و فراوانی نفوذ آب شور کاهش یافته‌است، اما زمان شروع رخدادهای نفوذ شوری نسبت به گذشته جلوتر افتاده‌است. عوامل موثر اصلی شامل دبی جریان رودخانه در ایستگاه داتونگ و تغییرات مورفولوژیکی شاخه شمالی مصب است. نتایج نشان دادند که پروژه استحصال زمین در منطقه شین‌سون‌شا بر الگوی جریان شور تاثیر گذاشته‌است. در این بررسی همچنین بر اهمیت پایش بلندمدت و هشدار زودهنگام برای مدیریت پایدار منابع آب تاکید شده‌است. این مطالعه برای مهندسان منابع آب و پژوهشگران هیدرولوژی مصب‌ها که به‌دنبال تحلیل تاثیر پروژه‌های آبی بر الگوی نفوذ شور و مدیریت پایدار آب‌های شیرین در مناطق تحت‌تاثیر جزرومد هستند، بسیار مفید است. |

| نام | توضیحات |
| --- | --- |
| شبیه‌سازی عددی طولانی‌ترین دوره‌های پیوسته غیرقابل‌استفاده بودن آب‌برداری در مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا واقع در مصب رودخانه یانگ‌تسه (۲۰۱۳) Numerical simulation of the longest continuous days unsuitable for water intake in the Dongfengxisha reservoir of the Changjiang Estuary [۱۱۰] | این مقاله پدیده نفوذ آب شور به داخل مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا در مصب رودخانه یانگ‌تسه را با استفاده از مدل عددی سه‌بعدی شبیه‌سازی می‌کند. این مدل براساس داده‌های شوری اندازه‌گیری‌شده در سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۸ اعتبارسنجی شده‌است. در این تحلیل، سال خشکسالی شدید ۱۹۷۹-۱۹۷۸ به‌عنوان سال مرجع انتخاب شده و عوامل مختلفی ازجمله جریان جزرومد، باد، و اختلاط در مدل در نظر گرفته شده‌اند. در این بررسی همچنین تاثیر پروژه‌های بزرگ هیدرولیکی مثل سد سه‌دره و پروژه انتقال آب شرق به شمال لحاظ شده‌است. نتیجه مهم این بررسی این است که طولانی‌ترین دوره پیوسته‌ای که آب مخزن برای برداشت نامناسب بوده، ۲۶ روز است. این شاخص کلیدی در طراحی و ساخت مخزن مورداستفاده قرار گرفته و نقش مهمی در تضمین امنیت منابع آب شیرین و توسعه بوم‌شناختی جزیره چونگ‌مینگ ایفا کرده‌است. این بررسی بیانگر بینش‌های کلیدی برای مهندسان و محققان در زمینه مکان‌یابی بهینه مخازن ساحلی، طراحی تاسیسات آبی و مدیریت اثرات زیست‌محیطی در مناطق تحت‌تاثیر جزرومد و اختلاط آب‌های شور و شیرین است. |
| تحلیل مخاطرات اصلی و راهکارهای مقابله در زمان ساخت مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا (۲۰۱۲) 东风西沙水库工程施工期主要风险因素及对策探析 [۱۱۱] | این مقاله به تحلیل چالش‌های اجرایی پروژه مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا می‌پردازد که در منطقه‌ای با شرایط هیدرودینامیکی پیچیده (تغییرات رسوبی، ناپایداری مورفولوژیکی رودخانه، توفان‌های مکرر و طوفان‌های دریایی) واقع شده‌است. در این بررسی با شناسایی و طبقه‌بندی مخاطرات کلیدی شامل مخاطرات طبیعی، چالش‌های فنی و عدم‌قطعیت‌های اجرایی در پروژه‌های طولانی‌مدت آبی، راهکارهای عملیاتی برای مدیریت هریک از این چالش‌ها ارائه شده‌است. یافته‌های این مطالعه برای مهندسان و مدیران پروژه‌های آبی در مناطق ساحلی با شرایط مشابه به‌ویژه جهت ارزیابی چالش‌های موجود در زمینه ساخت‌وساز، برنامه‌ریزی واکنش به بحران و بهینه‌سازی زمان‌بندی اجرا دارای ارزش کاربردی است. |

# بخش چهارم
# بازیگران کلیدی در زمینه توسعه مخازن ساحلی نسل دوم در شانگهای

## ۱. مقدمه

در بخش‌های پیشین گزارش پس از تبیین مبانی نظری و مفهومی مرتبط با مخازن ساحلی، مروری تاریخی بر اقدامات چین در حوزه استفاده از مخازن ساحلی در مدیریت منابع آب صورت گرفت که از دوره باستان آغاز شده و تا پروژه‌های اجرایی دوران معاصر، پیش از ظهور مخازن ساحلی نسل دوم در شانگهای، را دربرمی‌گرفت. درنهایت، باتوجه‌به جایگاه منحصربه‌فرد پروژه‌های اجراشده در کلان‌شهر شانگهای به‌عنوان تنها نمونه‌های شناخته‌شده مخازن نسل دوم در کشور چین، تحلیل آن‌ها به‌صورت مجزا و در فصلی مستقل انجام گرفت. از آنجا که بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و زمان ساخت به‌روز چهار مخزن ساحلی معرفی شده در کلان‌شهر شانگهای ازجمله ویژگی‌هایی است که آن‌ها را به گزینه‌هایی مناسب برای الگوبرداری فنی و مطالعات امکان‌سنجی همکاری‌های بین‌المللی با شرکت‌های طراح و مجری این پروژه‌ها تبدیل می‌کند، در چارچوب هدف اصلی این گزارش که معطوف‌به بهره‌گیری

از تجارب چین در حوزه مخازن ساحلی و مطالعات امکان‌سنجی همکاری‌های فنی میان دو کشور بوده‌است، تمرکز بر شناسایی دقیق بازیگران اصلی فعال در پروژه‌های شانگهای به‌عنوان گام پایانی این مسیر تحلیلی، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر به‌شمار می‌رود.

درحقیقت، شناسایی نهادها، شرکت‌ها و بازیگران فعال در توسعه و مدیریت مخازن ساحلی کلان‌شهر شانگهای مستلزم بررسی زنجیره‌ای از مراحل است که از مطالعات امکان‌سنجی و طراحی آغاز می‌شود و تا اجرا، بهره‌برداری و مدیریت ادامه می‌یابد. در این مسیر، بازیگران متعددی ازجمله نهادهای حاکمیتی، شرکت‌های مشاور، پیمانکاران اجرایی، بهره‌برداران، دانشگاه‌ها و موسسات تحقیقاتی تخصصی نقش‌آفرین هستند. براین‌اساس، در این بخش با اتکا به منابع رسمی و اطلاعات عمومی موجود سعی شده‌است تصویری اولیه اما منسجم از برخی شرکت‌ها و نهادهای کلیدی فعال در توسعه چهار مخزن اصلی شهر شانگهای ارائه شود. امید می‌رود این مرور اولیه مبنایی برای تحلیل ساختار نهادی و ظرفیت‌های تخصصی چین در این حوزه فراهم سازد و زمینه‌ساز تعریف همکاری‌های فنی و پژوهشی میان جمهوری اسلامی ایران و نهادهای تخصصی چینی در پروژه‌های مشابه باشد. بدیهی است که دستیابی‌به درک جامع‌تر از نقش‌ها، تعاملات و ظرفیت‌های این نهادها و تکمیل فهرست بازیگران تخصصی فعال مستلزم انجام مطالعات تکمیلی و برقراری ارتباط مستقیم با ذی‌نفعان کلیدی این حوزه خواهدبود.

## ۲. نهادهای مدیریتی مخازن شانگهای در سطح عالی

در سطح کلان حکمرانی آب در کلان‌شهر شانگهای، مسئولیت سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی کلان و نظارت بر پروژه‌های مخازن ساحلی برعهده اداره آب شانگهای است.

این نهاد به‌عنوان زیرمجموعه‌ای از دولت محلی شانگهای[1] متولی اصلی در زمینه مدیریت جامع منابع آب، تامین آب شرب، نظارت بر کیفیت آب، برنامه‌ریزی برای مهار سیلاب، توسعه زیرساخت‌های آبی و حفاظت از زیست‌بوم‌های آبی مانند رودخانه‌ها و دریاچه‌ها در کلان‌شهر شانگهای محسوب می‌شود [۱۱۲].

اداره آب شانگهای از مراحل آغازین طرح‌ریزی پروژه‌های مخازن ساحلی تامین آب شرب (در دهه ۱۹۹۰) نقش فعالی داشته و با سازمان‌دهی نهادهای تخصصی زمینه‌ساز تدوین مطالعات امکان‌سنجی اولیه و تعیین جهت‌گیری راهبردی اجرای این مخازن بوده‌است. همانطور که پیش‌تر گفته‌شد، اداره آب شانگهای در سال ۱۹۹۱ با همکاری سایر نهادهای مرتبط سندی تحت‌عنوان «پیشنهاد انجام مطالعات امکان‌سنجی توسعه منابع خاکی- آبی در چینگ‌سائوشا، جزیره چانگ‌شین» منتشر کرد و موجب شد تا دولت محلی شانگهای نسبت به انجام مطالعات امکان‌سنجی گسترده برای ساخت منبع آب چینگ‌سائوشا اقدام کند و درنهایت، پروژه احداث مخزن ساحلی چینگ‌سائوشا در ژانویه ۲۰۰۶ در برنامه پنج‌ساله توسعه شانگهای گنجانده شد [۸۲].

در ساختار اداره آب شانگهای، مرکز مدیریت تامین آب شهری شانگهای[2] به‌عنوان بازوی تخصصی نظارت بر عملکرد فنی و ایمنی بهره‌برداری از مخازن مسئولیت پایش ساختارمند بهره‌برداری و ارزیابی مستمر ظرفیت‌ها و چالش‌های احتمالی را برعهده دارد. مرکز پایش و کنترل (هماهنگ) تامین آب شهری شانگهای[3] نیز موظف به نظارت

1. Shanghai Municipal People's Government: 上海市人民政府
2. 上海市供水管理事务中心
به‌صورت تحت‌اللفظی به‌صورت Shanghai Municipal Water Supply Management Affairs Center ترجمه می‌شود؛ این مرکز به‌تازگی دارای این نام شده‌است و پیش از این، با عنوان بخش منابع آب (Water Resources Section) اداره آب شانگهای شناخته می‌شد. رجوع شود به:
https://swj.sh.gov.cn/swj-shgsglc/
3. Shanghai Municipal Water Supply Dispatching and Monitoring Center: 上海市供水调度监测中心
https://swj.sh.gov.cn/swj-shsgsddjczx/

روزمره بر بهره‌برداری از مخازن است. البته در مورد مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا که در جزیره چونگ‌مینگ قرار دارد، اداره (امور) آب منطقه چونگ‌مینگ شانگهای[1] به‌طور خاص مسئولیت نظارت و مدیریت ایمنی بهره‌برداری از این مخزن را برعهده دارد [۱۱۳].

علاوه‌بر نهادهای فوق، اسناد مربوط‌به مدیریت و پایش منابع آب شهری در شانگهای از نقش موثر نهادهای فرابخشی دیگری همچون اداره بوم‌شناسی و محیط‌زیست شانگهای[2]، اداره منابع طبیعی و برنامه‌ریزی شهری شانگهای[3]، و کمیسیون اصلاح و توسعه شهرداری شانگهای[4] در فرآیند مدیریت و نظارت بر مخازن ساحلی شانگهای یاد می‌کنند. مطابق نامه‌های رسمی رد و بدل شده میان اداره آب شانگهای و این نهادهای دولتی و همچنین ابلاغیه‌های منتشرشده در بخش افشای اطلاعات دولتی[5] در بخش چینی وب‌سایت رسمی دولت مردمی شهرداری شانگهای[6] می‌توان دریافت که این‌گونه نهادها برحسب ماموریت‌های قانونی خود در ابعاد مختلفی ازجمله ارزیابی زیست‌محیطی، تطبیق طرح با برنامه‌های توسعه سرزمینی، و تخصیص منابع در تصویب و راهبری این پروژه‌ها مشارکت دارند [۱۱۴].

## ۳. شرکت‌های فعال در زمینه بهره‌برداری از مخازن ساحلی کلان‌شهر شانگهای

در کلان‌شهر شانگهای، شرکت‌های تامین آب خام[7] مسئولیت مستقیم بهره‌برداری ایمن روزمره از مخازن آب آشامیدنی شهری را برعهده دارند. این شرکت‌ها به‌عنوان

1. Shanghai Chongming District Water Affairs Bureau: 上海市崇明区水务局
2. Shanghai Municipal Bureau of Ecology and Environment: 上海市生态环境局 https://sthj.sh.gov.cn/
3. Shanghai Municipal Bureau of Planning and Natural Resources: 上海市规划和自然资源局 https://ghzyj.sh.gov.cn/
4. Shanghai Municipal Development & Reform Commission: 上海市发展和改革委员会 https://fgw.sh.gov.cn/
5. Government Information Disclosure: 政务公开
6. Shanghai Municipal People's Government: 上海市人民政府 https://www.shanghai.gov.cn/
7. Raw Water Supplier: 原水供水企业

بهره‌برداران مستقیم مخازن آب آشامیدنی موظف هستند باتوجه‌به نیاز سالانه آب خام و شرایط خاص هر مخزن، طرحی برای بهره‌برداری سالانه از مخزن تنظیم کرده و مواردی نظیر برنامه‌ریزی عملیاتی، پایش کیفیت آب، نگهداری تاسیسات، مدیریت اضطراری و اقدامات پیشگیرانه جهت حفظ سلامت آب مخزن را به‌صورت نظام‌مند پیش‌بینی و اجرا نمایند. افزون‌برآن، شرکت‌های تامین آب خام باید با ایجاد بسترهای تبادل اطلاعات و اتصال به شبکه نظارت شهری به یکپارچه‌سازی اطلاعات بهره‌برداری در سطح شهر کمک کنند و تمامی فعالیت‌های عمرانی در محدوده مخزن را به مراجع ذی‌ربط گزارش دهند. این مجموعه وظایف، چارچوبی منسجم برای بهره‌برداری ایمن، هوشمند و هماهنگ از منابع راهبردی تامین آب در کلان‌شهر شانگهای فراهم می‌سازد [۱۱۳]. درراستای این الزامات قانونی مرتبط با بهره‌برداری ایمن از مخازن آب شرب در کلان‌شهر شانگهای، مسئولیت اجرایی سه مخزن از میان چهار مخزن ساحلی این شهر- که کاربری تامین آب آشامیدنی دارند- به شرکت‌های تامین آب خام شهری متفاوتی سپرده شده‌است.

مسئولیت اجرایی مخازن چینگ‌سائوشا و چِن‌خانگ برعهده شرکت آب خام چِنگ‌تُو شانگهای[1] است. در ساختار این شرکت، وظایف اجرایی هر مخزن به نهادهای تخصصی مجزایی سپرده شده‌است، به‌گونه‌ای‌که شرکت مدیریت مخزن چینگ‌سائوشا[2] وظیفه اجرای عملیات روزمره شامل نگهداری تاسیسات، پایش کیفیت آب و مدیریت ایمن بهره‌برداری از مخزن چینگ‌سائوشا را عهده‌دار است. به‌طور مشابه، وظایف مربوط‌به مخزن چِن‌خانگ نیز برعهده کارخانه آب خام یانگ‌تسه[3] (از زیرمجموعه‌های همین شرکت) می‌باشد.

1. Shanghai Chengtou Raw Water Co., Ltd. :上海城投原水有限公司
2. Shanghai Chengtou Raw Water Co., Ltd.- Qingcaosha Reservoir Management Branch: 上海城投原水有限公司青草沙水库管理分公司
3. Shanghai Chengtou Raw Water Co., Ltd.- Yangtze Raw Water Plant: 上海城投原水有限公司长江原水厂

وظایف بهره‌برداری ایمن و پایدار از مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا در جزیره چونگ‌مینگ به شرکت مدیریت آب خام چونگ‌مینگ شانگهای[1] محول شده‌است و وظیفه اجرای امور روزمره برعهده مرکز مدیریت مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا[2] (زیرمجموعه این شرکت) قرار دارد. این مرکز مسئولیت نظارت مستمر بر کیفیت آب، نگهداری تاسیسات و اجرای نظام‌های ایمنی بهره‌برداری از مخزن را برعهده دارد.

اما در مورد مخزن بائوگانگ که کاربری صنعتی داشته و در خدمت تامین نیازهای شرکت فولاد بائوشان است، مسئولیت بهره‌برداری آن برعهده واحد انرژی و حفاظت از محیط‌زیست شرکت فولاد بائوشان[3] قرار دارد. این واحد مطابق با رویه‌های تعریف‌شده وظیفه مدیریت بر روند اجرای عملیات روزمره، نگهداری فنی و تضمین کیفیت آب مخزن را برعهده دارد [۱۱۵ و ۱۱۶].

## ۴. نهادهای علمی و پژوهشی فعال در مطالعات و توسعه مخازن ساحلی شانگهای

در کنار نهادهای اجرایی و مدیریتی، نهادهای علمی نیز نقش مهمی در شکل‌گیری، توسعه و پایش پروژه‌های مخازن ساحلی شانگهای ایفا کرده‌اند. این نهادها با ظرفیت‌های علمی و فنی خود پشتیبان تصمیم‌گیری‌های کلان در همه مراحل- از مراحل اولیه امکان‌سنجی تا تحلیل‌های تخصصی در حوزه‌هایی چون کیفیت آب، مدل‌سازی نفوذ شوری، پایداری محیطی و مکان‌یابی پروژه- بوده‌اند.

در این بخش، شماری از دانشگاه‌های کلیدی معرفی می‌شوند که در تحقیقات مرتبط با ساخت و توسعه مخازن ساحلی شانگهای مشارکت داشته‌اند. در این بخش به نقش برخی افراد و موسسات پژوهشی دیگر نیز به‌طور خلاصه اشاره خواهدشد.

1. Shanghai Chongming Raw Water Management Co., Ltd.:上海崇明原水管理有限公司
2. Dongfengxisha Reservoir Management Center: 东风西沙水库管理中心
3. Baoshan Iron & Steel Co., Ltd.- Energy and Environmental Protection Department: 宝钢股份有限公司能源环保部

## اطلاع‌نگاشت ۷: نمونه‌هایی از دانشگاه‌های نقش‌آفرین در ساخت و توسعه مخازن ساحلی شانگهای

### دانشگاه تونگ‌جی چین
https://en.tongji.edu.cn/p/#/

این دانشگاه یکی از باسابقه‌ترین و معتبرترین دانشگاه‌های چین است که در سال ۱۹۰۷ در شانگهای تاسیس شد. در پی اصلاحات آموزش عالی پس از تاسیس جمهوری خلق چین، بسیاری از رشته‌های برجسته در حوزه مهندسی عمران و معماری از دانشگاه‌های مختلف چین به تونگ‌جی منتقل شدند و این دانشگاه به‌تدریج به یکی از قطب‌های آموزش و پژوهش در این رشته‌ها تبدیل شد.

امروزه دانشگاه تونگ‌جی با برخورداری از مجموعه‌ای پیشرفته از مراکز تحقیقاتی و زیرساخت‌های علمی به‌عنوان یکی از مراجع علمی پیشرو در مهندسی عمران و توسعه شهری قلمداد می‌شود که نقش فعالی در پروژه‌های کلان شانگهای (مانند حمل‌ونقل هوشمند، زیرساخت‌های آبی و فناوری‌های محیط‌زیست) ایفا می‌کند [۱۲۰]. این دانشگاه دارای بیش از ۴۰ واحد آموزشی و پژوهشی است که از میان آن‌ها، دانشکده‌هایی همچون مهندسی عمران[1]، علوم و مهندسی محیط‌زیست (CESE)[2]، معماری و برنامه‌ریزی شهری (CAUP)[3]، نقشه‌برداری و ژئوانفورماتیک (CSGI)[4] و علوم اقیانوس و زمین[5] به‌طور ویژه در تربیت نیروهای متخصص و تولید پژوهش‌های کاربردی در حوزه‌های مدیریت منابع آب و توسعه زیرساخت‌های شهری شانگهای نقش دارند [۱۲۱]. حضور فعال اعضای هیئت‌علمی و پژوهشگران این دانشگاه در ساختارهای تخصصی مانند انجمن مهندسی هیدرولیک شانگهای[6] نیز نشان‌دهنده نقش کلیدی دانشگاه تونگ‌جی در ارائه راهکارهای علمی مرتبط با چالش‌های مهندسی سواحل چین است [۱۲۲].

برهمین‌اساس، اساتید و پژوهشگران تونگ‌جی به‌طور پیوسته در مراحل مختلف امکان‌سنجی، طراحی و پایش مخازن ساحلی شانگهای نقش داشته‌اند. در سال ۱۹۸۷، این دانشگاه در پروژه مطالعاتی تعیین منبع دوم آب سطحی شانگهای مشارکت داشت که به انتخاب محل مخزن چن‌خانگ انجامید. از سال ۲۰۱۲، این دانشگاه با تاسیس پایگاه تحقیقات میدانی در مخزن چینگ‌سائوشا در زمینه اجرای پروژه‌هایی چون پایش برخط کیفیت آب و هشدار جلبکی فعالیت داشته‌است [۱۱۷ و ۱۱۸]. پژوهشگران این دانشگاه در پایش کیفیت آب مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا نیز همکاری داشته‌اند [۱۱۹]. این موارد تنها نمونه‌هایی از حضور موثر و مستمر دانشگاه تونگ‌جی در توسعه و بهره‌برداری علمی از مخازن ساحلی این شهر هستند.

1. College of Civil Engineering
2. College of Environmental Science and Engineering
3. College of Architecture and Urban Planning
4. College of Surveying and Geo-Informatics
5. School of Ocean and Earth Science
6. Shanghai Society of Hydraulic Engineering: 上海市水利学会

## دانشگاه جیائوتونگ شانگهای[1]

https://en.sjtu.edu.cn/

یکی از قدیمی‌ترین و معتبرترین دانشگاه‌های چین است که در سال ۱۸۹۶ تاسیس شده و در حدود ۱۳۰ سال که از آغاز فعالیت آن می‌گذرد، «اولین»های زیادی را در تاریخ چین نوین خلق کرده‌است؛ از اولین موتور احتراق داخلی چین و اولین ماشین تحریر چینی تا اولین زیردریایی هسته‌ای، اولین ماهواره مصنوعی، اولین جداسازی دریچه میترال و بسیاری موارد دیگر [۱۲۳].

در پروژه مخزن ساحلی چینگ‌سائوشا، دانشگاه جیائوتونگ شانگهای به همراه سایر مراکز پژوهشی در مطالعات فنی و توسعه روش‌های نوآورانه برای انسداد دهانه سد مخزن مشارکت داشت. این همکاری منجر به طراحی نوع خاصی از روش انسداد دهانه با استفاده از قاب‌های (فریم) فولادی و مصالح سنگی شد که برای اولین بار در پروژه‌های آبی چین به کار می‌رفت و امکان اجرای ایمن عملیات انسداد را در شرایط جزرومدی پیچیده فراهم می‌کرد [۱۲۴].

افزون‌برآن، دانشگاه جیائوتونگ شانگهای ازطریق همکاری و امضای تفاهم‌نامه‌های راهبردی با موسسات تخصصی مانند موسسه مطالعات (فنی)، طراحی و تحقیقات شانگهای (طراح اصلی مخازن ساحلی شانگهای) [۱۲۵] و همچنین مشارکت اساتید و پژوهشگران وابسته به آن در انجمن مهندسی هیدرولیک شانگهای نقش فعالی در ارائه راهکارهای علمی مرتبط با چالش‌های پروژه‌های منابع آب شانگهای ایفا می‌کند [۱۲۲].

## دانشگاه خوخَی[2]

https://en.hhu.edu.cn/

یکی از دانشگاه‌های ملی کلیدی تحت‌نظارت مستقیم وزارت آموزش چین است که در شهر نانجینگ[3] واقع شده و به‌عنوان یکی از معتبرترین مراکز آموزش عالی این کشور در حوزه مهندسی منابع آب شناخته می‌شود. این دانشگاه که تاریخچه آن به سال ۱۹۱۵ میلادی بازمی‌گردد، نخستین نهاد تخصصی آموزش عالی چین در زمینه تربیت متخصصان مهندسی منابع آب در این کشور بوده و همواره به‌عنوان مهد پرورش نخبگان نوآور و کارآفرین و پایگاه مهم نوآوری‌های علمی و فناورانه چین در حوزه آب شناخته می‌شود [۱۲۶].

1. Shanghai Jiao Tong University: 上海交通大学
2. Hohai University: 河海大学
3. Nanjing

در پروژه مخزن ساحلی چینگ‌سائوشا، دانشگاه خوخَی به‌عنوان یکی از دانشگاه‌های تخصصی برجسته در حوزه مهندسی آب در کنار دانشگاه جیائوتونگ شانگهای در فرآیندهای پژوهشی و نوآوری‌های فنی مرتبط با طراحی و اجرای آب‌بند مخزن مشارکت داشته‌است. این دانشگاه به‌ویژه در بررسی‌های تخصصی و پشتیبانی علمی از انتخاب و اجرای روش انسداد دهانه با استفاده از فریم‌های فولادی و مصالح سنگی در این مخزن نقش برجسته‌ای داشته‌است [۱۲۴ و ۱۲۷].
یکی دیگر از مصادیق بارز نقش‌آفرینی دانشگاه خوخَی در حوزه مخازن ساحلی، مشارکت فعال این دانشگاه در میزبانی نخستین کنفرانس بین‌المللی مخازن ساحلی و مدیریت پایدار منابع آب در نوامبر ۲۰۲۳ است. این رویداد با همکاری انجمن بین‌المللی آب (IWA) و انجمن بین‌المللی تحقیقات مخازن ساحلی (IACRR) در شهر چانگ‌جو[1] در استان جیانگ‌سو برگزار شد و با حضور گسترده متخصصان، پژوهشگران و نمایندگان نهادهای بین‌المللی نقشی موثر در گسترش همکاری‌های علمی و تبادل تجربیات در زمینه مهندسی سواحل و مدیریت پایدار منابع آب ایفا کرد [۱۲۸].

**دانشگاه علم و فناوری شرق چین**
**https://www.ecust.edu.cn/en/**

دانشگاه علم و فناوری شرق چین که در گذشته با نام موسسه فناوری شیمیایی شرق چین شناخته می‌شد، در سال ۱۹۵۲ با ادغام بخش‌های مهندسی شیمی چند دانشگاه مختلف چینی تاسیس شد و امروزه یکی از دانشگاه‌های پیشرو کشور چین در حوزه‌های مهندسی شیمی، علوم مواد، بیوشیمی و محیط‌زیست به‌شمار می‌رود [۱۲۹].
اگرچه دانشگاه تمرکز عمده‌ای بر حوزه‌های مهندسی شیمی و محیط‌زیست دارد و در فهرست رسمی رشته‌ها و برنامه‌های پژوهشی آن، نقشی مستقیم در زمینه منابع آب یا سازه‌های آبی دیده نمی‌شود، اما در دهه ۱۹۸۰ و در جریان مطالعات مقدماتی برای احداث اولین مخزن ساحلی چین (مخزن بائوگانگ)، این دانشگاه با نام آن زمان خود در انجام بررسی‌های متعدد درباره کیفیت آب رود یانگ‌تسه مشارکت داشت. درنتیجه، نام این دانشگاه در این بخش صرفا با استناد به نقش آن در پروژه بائوگانگ در دهه ۱۹۸۰ بیان شده‌است.

1. Changzhou

**دانشگاه نرمال شرق چین**
https://english.ecnu.edu.cn/

دانشگاه نرمال شرق چین یکی از دانشگاه‌های جامع برجسته جمهوری خلق چین به‌شمار می‌رود که در سال ۱۹۵۱ در شهر شانگهای تاسیس شده‌است. این دانشگاه تحت‌مدیریت مستقیم وزارت آموزش چین قرار دارد [۱۳۰].
نقش این دانشگاه در پشتیبانی از سیاست‌گذاری‌ها و پروژه‌های مرتبط با منابع آب و مدیریت سواحل در کلان‌شهر شانگهای عمدتا از مسیر فعالیت‌های علمی و پژوهشی اعضای هیئت‌علمی آن و آزمایشگاه کلیدی ملی تحقیقات مصب و سواحل وابسته‌به این دانشگاه تحقق یافته‌است. توضیحات تکمیلی درخصوص این موسسه تخصصی در بخش بعدی ارائه خواهدشد [۱۳۱]. بررسی اسناد موجود نشان می‌دهد که دانشگاه نرمال شرق چین در شماری از مطالعات بنیادین و اثرگذار مرتبط با توسعه مخازن ساحلی شانگهای مشارکت داشته‌است. ایده اولیه بهره‌گیری از ظرفیت‌های مخازن ساحلی در مصب رود یانگ‌تسه برای اولین بار از سوی اساتید این دانشگاه و براساس مقالات علمی آن در فضای تصمیم‌سازی حوزه منابع آب شانگهای مطرح شد. درادامه، پژوهشگران این دانشگاه در مطالعات اولیه منتهی‌به احداث مخزن چن‌خانگ و همچنین در تدوین برخی از شاخص‌های کلیدی مورداستفاده در طراحی دو مخزن چینگ‌سائوشا و دونگ‌فنگ‌شی‌شا نقش موثری ایفا کردند. افزون‌براین، دانشمندان علوم زمین این دانشگاه با شبیه‌سازی الگوی زمانی-مکانی نفوذ آب شور در محل مخزن چینگ‌سائوشا توانستند راهکاری عملی و موثر جهت بهره‌برداری ایمن و پایدار از این مخزن ارائه کنند [۱۳۲ و ۱۳۳]. شماری از اساتید و پژوهشگران وابسته‌به دانشگاه نرمال شرق چین نیز در ساختارهای تخصصی انجمن مهندسی هیدرولیک شانگهای عضویت دارند و در فرآیندهای مشورتی پیرامون سیاست‌های آبی کلان‌شهر شانگهای مشارکت دارند [۱۲۲].

دانشگاه‌های مذکور در اطلاع‌نگاشت ۷ شامل مواردی هستند که در منابع چینی موجود به‌صورت مستقیم به‌عنوان نهادهای دانشگاهی مشارکت‌کننده در تحقیقات منتهی‌به ساخت مخازن ساحلی شانگهای معرفی شده‌اند. بااین‌حال، این معرفی به‌معنای نادیده‌گرفتن نقش سایر دانشگاه‌های معتبر چین در این حوزه نیست. افزون‌برآن، اگرچه برخی نهادهای دانشگاهی به‌طور مستقیم در مراحل ابتدایی ساخت این مخازن مشارکت نداشته‌اند، اما در مراحل بعدی ازجمله توسعه، پایش و بهینه‌سازی بهره‌برداری

از آن‌ها مشارکت داشته‌اند. به‌عنوان‌مثال، در چارچوب نخستین طرح جامع پایش تنوع زیستی جزیره چونگ‌مینگ در سال ۲۰۲۳ که با هدایت اداره بوم‌شناسی و محیط‌زیست شانگهای و مشارکت دانشگاه اقیانوسی شانگهای[1] انجام شد، ارزیابی زیست‌محیطی مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا نیز به‌طور هدفمند موردتوجه قرار گرفت. این نمونه نشان می‌دهد که دانشگاه‌های چینی در مراحل پس از بهره‌برداری مخازن ساحلی (مانند پایش بلندمدت و ارزیابی‌های تخصصی زیست‌محیطی) نیز نقشی فعال و تعیین‌کننده ایفا می‌کنند [۱۳۴].

به‌طورمشابه، اگرچه در منابع عمومی ممکن است به نقش مستقیم برخی دانشگاه‌ها در پروژه‌های مخازن ساحلی اشاره‌ای نشده‌باشد، اما جایگاه علمی این نهادها در تربیت نیروی انسانی متخصص و حضور فارغ‌التحصیلان آن‌ها در شرکت‌ها و نهادهای طراحی، اجرایی یا پژوهشی نشان‌دهنده مشارکت غیرمستقیم اما موثر آن‌ها در این حوزه است. به‌عنوان‌مثال، دانشگاه چینگ‌خوا (THU)[2] یکی از برجسته‌ترین مراکز آموزش و پژوهش در حوزه مهندسی منابع آب در چین است که در پروژه احداث مخزن ساحلی چینگ‌سائوشا نیز ردپای قابل‌توجهی دارد. به‌عنوان‌مثال، دکتر یِه یوَن‌شین[3]، فارغ‌التحصیل این دانشگاه، در طراحی نوآورانه روش بستن جریان رودخانه و محصورسازی یکباره‌ی دهانه سد در این مخزن نقش موثری ایفا کرد[4] و در سال ۲۰۱۳، در جریان اعطای نشان طلایی پروژه‌های مهندسی آب شانگهای به پروژه احداث مخزن ساحلی چینگ‌سائوشا از دکتر

1. Shanghai Ocean University :上海海洋大学 (https://www.shou.edu.cn/eng/)
2. Tsinghua University: 清华大学
3. Ye Yuanxin: 叶源新

۴. در این روش، ۴۰ قاب (فریم) فولادی مشبک به اندازه کانتینر در بستر رودخانه‌ای به عرض حدود ۲۰۰ متر و عمق بیش از ۳۰ متر مستقر شدند. محل پرتاب سنگ‌ها با استفاده از سامانه موقعیت‌یابی جهانی (GPS) و نقشه‌برداری زیرآبی محاسبه شد و بیش از ۱۰۰ فروند شناور حامل به‌طور همزمان بیش از ۴۰ هزار مترمکعب سنگ را دقیقا به درون این قفسه‌ها پرتاب کردند. سرعت جریان آب در این نقطه از جریان ثبت‌شده هنگام بستن دهانه سد سه‌دره نیز بالاتر بود.

یه یوئَن‌شین به‌عنوان یکی از اعضای کلیدی شرکت مجری پروژه[1] تقدیر به‌عمل آمد [۱۳۵ و ۱۳۶]. افزون‌برآن، شماری از فارغ‌التحصیلان باسابقه دانشگاه چینگ‌خوا در موسسات طراحی برخی از مخازن ساحلی شانگهای فعالیت داشته‌اند [۱۳۷].

بنابراین، در سطح فردی می‌توان شمار بسیاری از پژوهشگران چینی را شناسایی کرد که مشارکت آن‌ها در مطالعات مرتبط با مخازن ساحلی یا حوزه‌های علمی مرتبط قابل‌ردیابی است. به‌عنوان‌مثال، پروفسور لین پِنگ‌جی[2] استاد دانشگاه سیچوئَن و معاون آزمایشگاه کلیدی ملی هیدرولیک و مهندسی رودخانه‌های کوهستانی[3] این دانشگاه ازجمله سخنرانان اصلی در نخستین کنفرانس بین‌المللی مخازن ساحلی و مدیریت پایدار منابع آب (۲۰۲۳) بوده و به‌عنوان نویسنده مشترک در مقاله‌ای درباره وضعیت و چشم‌انداز مخازن ساحلی و مصبی در چین نیز مشارکت داشته‌است [۲۱ و ۱۳۸]. براساس اطلاعات موجود، پروفسور لین در حوزه‌هایی چون مهندسی سواحل و مدل‌سازی عددی جریان‌ها فعالیت دارد که می‌تواند با موضوعات مرتبط با طراحی و ارزیابی فنی مخازن ساحلی هم‌پوشانی داشته‌باشد [۱۳۹]. مثال دیگر، دکتر خه جی‌گوا[4] استاد دانشکده اقیانوس‌شناسی دانشگاه جِجیانگ و رئیس موسسه مهندسی بندر، ساحل و فراساحل[5]

۱. اصطلاح «شرکت مجری پروژه» معادل عنوان چینی «位单设建» است که در پروژه مخزن چینگ‌سائوشا به «شرکت توسعه و سرمایه‌گذاری پروژه چینگ‌سائوشا شانگهای» زیرمجموعه‌ای از «گروه چِنگ‌ئُو شانگهای» اطلاق شده‌است. این شرکت مسئولیت مدیریت کلان، عقد قراردادها و پیشبرد مراحل اجرایی پروژه را برعهده داشته و با پیمانکار اجرایی (مسئول مستقیم اجرای عملیات ساختمانی) متفاوت است.

شرکت توسعه و سرمایه‌گذاری پروژه چینگ‌سائوشا شانگهای: Shanghai Qingcaosha Investment and Construction Development Co., Ltd. (上海青草沙投资建设发展有限公司)

گروه چِنگ‌ئُو شانگهای (همچنین شناخته‌شده به‌عنوان گروه سرمایه‌گذاری شانگهای):

(Also known as Shanghai Municipal Investment Corporation Group)

2. Lin Pengzhi: 林鹏智 (http://cwrh.scu.edu.cn/info/1048/2170.htm)
3. State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering- Sichuan University: 山区河流保护与治理全国重点实验室
4. He Zhiguo: 贺治国 (https://person.zju.edu.cn/he/0.html)
5. Institute of Port, Coastal and Offshore Engineering: 港口海岸与近海工程研究所

این دانشگاه است که به‌عنوان یکی از نویسندگان مشترک مقاله یادشده در تدوین آن مشارکت داشته‌است. وی در حوزه‌هایی چون دینامیک سواحل و مصب‌ها و دینامیک آب و رسوب تخصص دارد که می‌تواند در تحلیل فرآیندها و چالش‌های مربوط به بهره‌برداری از مخازن ساحلی نقش موثری ایفا کند [۱۴۰]. در نمونه‌ای دیگر که با پروژه‌ای از مخازن ساحلی نسل اول چین در خارج از کلان‌شهر شانگهای مرتبط است، دکتر سونگ روئی‌پینگ[1] از دانشگاه کشاورزی چین[2] در مطالعه‌ای تخصصی (سال ۲۰۲۰) بر روی مخزن ساحلی شهر یوخوئن در استان جِجیانگ با بهره‌گیری از مدل‌سازی عددی به تحلیل الگوهای زمانی-مکانی تغییرات شوری و کیفیت آب پرداخته و مبنایی برای بهینه‌سازی راهبردهای کنترل شوری این مخزن ارائه کرده‌است [۱۴۱]. در بخش سوم گزارش حاضر نیز به مجموعه‌ای از تحقیقات مرتبط با مخازن ساحلی نسل دوم در شانگهای اشاره شده‌است که بررسی نویسندگان این مقالات می‌تواند فهرست گسترده‌تری از پژوهشگران متخصص فعال در این حوزه را آشکار سازد که هریک به‌نوبه‌خود سهم بسزایی در توسعه علمی و فنی این طرح‌ها داشته‌اند. در کنار دانشگاه‌هایی که در اطلاع‌نگاشت ۷ معرفی شدند، اشاره به این‌گونه نمونه‌های پراکنده اما معنادار می‌تواند به ترسیم تصویری جامع‌تر از تنوع دانشگاه‌ها و متخصصان فعال در پروژه‌های مخازن ساحلی چین کمک کند.

البته باید به این نکته توجه داشت که دامنه مشارکت علمی در این حوزه تنها به افراد و دانشگاه‌ها محدود نمی‌شود، بلکه مجموعه‌ای از موسسات پژوهشی تخصصی و نهادهای علمی نیز در این فرآیند در یکی از مراحل طراحی، اجرا، پایش و بهره‌برداری نقش‌آفرین بوده‌اند. به‌عنوان‌مثال، در جریان مطالعات و نوآوری‌های فنی مربوط‌به طراحی روش انسداد دهانه مخزن چینگ‌سائوشا، موسساتی مانند موسسه طراحی

1. Song Ruiping :宋瑞平
2. China Agricultural University: 中国农业大学 (https://www.cau.edu.cn/)

و تحقیقات مهندسی حمل‌ونقل آبی شانگهای[1] و موسسه تحقیقات هیدرولیک نانجینگ (NHRI)[2] نیز در کنار دانشگاه‌های شناخته‌شده در این فرآیند مشارکت علمی داشته‌اند [۱۴۲ و۱۲۷]. موسسه تحقیقات هیدرولیک نانجینگ که در سال ۱۹۳۵ تاسیس شده‌است، قدیمی‌ترین نهاد پژوهشی تخصصی در حوزه مهندسی آب و هیدرولیک در کشور چین به‌شمار می‌رود و به‌عنوان یک مجموعه پژوهشی چندمنظوره به انجام تحقیقات پایه و کاربردی و توسعه فناوری در حوزه‌هایی همچون منابع آب، نیروگاه‌های آبی، ایمنی سدها و موارد دیگر اشتغال دارد. افزون‌برآن، این موسسه میزبان چندین آزمایشگاه و مرکز تحقیقاتی کلیدی وابسته‌به وزارت منابع آب چین است [۱۴۲].

در کنار موسسات فعال در این عرصه که پیش‌تر معرفی شدند، آزمایشگاه کلیدی ملی تحقیقات مصب و سواحل[3] مستقر در دانشگاه نرمال شرق چین نیز ازجمله نهادهای علمی اثرگذار در این حوزه به‌شمار می‌رود. باتوجه‌به اهمیت این آزمایشگاه، درادامه به‌صورت مستقل معرفی خواهدشد.

درنهایت، مجموعه نمونه‌های مطرح‌شده به خوبی بیانگر آن است که میدان کنش علمی پیرامون مخازن ساحلی چین تنها به چند دانشگاه محوری محدود نیست، بلکه شبکه‌ای متنوع و چندلایه از نهادهای تخصصی، پژوهشگران فردی و مراکز دانشگاهی

1. CCCC Shanghai Water Transportation Engineering Design & Research Institute Co., Ltd.: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司 (https://shiw.cccc-sdc.com/index.html)

2. Nanjing Hydraulic Research Institute: 南京水利科学研究院 (https://english.nhri.cn/)

در کشورچین برخی از موسسات تحقیقاتی صلاحیت اعطای مدارک کارشناسی ارشد رسمی را دارند. این موسسات تحقیقاتی معمولا نه تنها تحقیقات علمی انجام می‌دهند، بلکه وظیفه آموزش نیروهای متخصص سطح‌بالا ازجمله تربیت دانشجویان کارشناسی ارشد و دکتری را نیز برعهده دارند. موسسه تحقیقات هیدرولیک نانجینگ نیز به‌عنوان یک موسسه تحقیقاتی بزرگ و جامع تحت‌نظر وزارت منابع آب چین یکی از اولین موسسات ملی است که مجوز اعطای مدارک دکتری و کارشناسی ارشد در رشته‌های مرتبط را دریافت کرده‌است. رجوع شود به: http://www.nhri.cn/index.html

3. The State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research (East China Normal University): 华东师范大学河口海岸科学研究所

را دربرمی‌گیرد که هریک در یکی از حلقه‌های طراحی، اجرا، پایش یا بهره‌برداری نقشی موثر ایفا می‌کنند. این تنوع بیانگر ماهیت میان‌رشته‌ای موضوع و ظرفیت بالای نظام علمی چین در پاسخ‌گویی به چالش‌های موجود در این زمینه است.

### ۱.۴. آزمایشگاه کلیدی ملی تحقیقات مصب و سواحل (دانشگاه نرمال شرق چین)

آزمایشگاه کلیدی ملی تحقیقات مصب و سواحل (SKLEC) وابسته‌به دانشگاه نرمال شرق چین از پیشینه‌ای طولانی در مطالعات تخصصی حوزه مصب و سواحل برخوردار است. شماری از اعضای هیئت‌علمی دانشگاه نرمال شرق چین که در چارچوب این آزمایشگاه فعالیت می‌کنند، در برخی از مطالعات مرتبط با توسعه مخازن ساحلی شانگهای مشارکت داشته‌اند. ایده اولیه بهره‌برداری از آب رود یانگ‌تسه ازطریق احداث مخازن ساحلی در منطقه‌شانگهای نیز برای اولین بار براساس مقالات منتشرشده توسط اساتید این آزمایشگاه شکل گرفت. پیشینه این آزمایشگاه به نخستین نهاد تحقیقاتی تخصصی کشور چین در زمینه مصب‌ها و سواحل یعنی آزمایشگاه تحقیقات مصب[1] بازمی‌گردد که در سال ۱۹۵۷ تاسیس شد. ساختار کنونی این آزمایشگاه در سال ۱۹۸۹ با محوریت دانشگاه نرمال شرق چین بنیان نهاده‌شد و و در سال ۲۰۰۵ عنوان رسمی «آزمایشگاه کلیدی ملی تحقیقات مصب و سواحل» را دریافت کرد. این آزمایشگاه بر تحقیقات پایه و کاربردی متمرکز است و ماموریت خود را پاسخ به نیازهای کلان کشور چین در زمینه توسعه پایدار مناطق ساحلی تعریف کرده‌است.

آزمایشگاه مذکور تا ژوئن ۲۰۲۵ دارای ۱۱۷ پژوهشگر تمام‌وقت بوده و شماری از برجسته‌ترین اساتید و محققان ملی و بین‌المللی چین در جمع اعضای هیئت‌علمی

1. Estuary Research Laboratory: 河口研究室

ایـن مجموعـه حـضور دارنـد. ایـن مرکـز همچنیـن میزبـان ۴۱۳ دانشـجوی تحـصیلات تکمیلـی مشـتمل‌بر ۱۸۵ دانشـجوی دکتری و ۲۲۸ دانشـجوی کارشناسـی ارشـد اسـت. آزمایشـگاه کلیـدی ملـی تحقیقـات مصـب و سـواحل یکـی از پایگاه‌هـای اصلـی آموزش و پرورش نیروی انسـانی متخصـص در زمینـه مصب‌هـا و سـواحل در کـشور چیـن به‌شـمار مـی‌رود.

از مهم‌تریـن دسـتاوردهای علمـی ایـن آزمایشـگاه می‌تـوان بـه بنیان‌گـذاری شـاخه علمـی «مصب‌شناسـی و ساحل‌شناسـی»[1] در کـشور چیـن و نقـش پیشـگامانه آن در پژوهش‌هـا و ارائـه طرح‌هـای نوآورانـه بـرای ذخیـره آب شیریـن و جلـوگیری از نفـوذ شوری در مصـب رودخانه‌هـا اشـاره کـرد. در کنـار انـواع پروژه‌هـای بزرگ ملـی، ایـن آزمایشـگاه همکاری‌هـای علمـی گسـترده و مسـتمری بـا موسسـات پژوهشـی معتبـر در کشورهـایی ماننـد ایالات متحـده، بریتانیـا، هلنـد، آلمـان، ژاپـن، کانـادا و کره‌جنوبی برقرار کرده‌است.

ایـن آزمایشـگاه بـا بهـره‌گیری از امکاناتـی ماننـد سـامانه یکپارچـه پایـش هـوا- فضـا- زمیـن (ISAGOS)[2]، سـکوی مدل‌سـازی فیزیکـی و زیرسـاخت‌های پیشـرفته تحلیـل و شبیه‌سـازی عـددی به سـطح بـالایی از توانمندی‌هـای فنـی و تحقیقاتـی در زمینـه مصب‌هـا و سـواحل دسـت یافته‌اسـت و در تلاش اسـت تـا بـا تکیـه بـر نوآوری‌هـای فناورانـه و ظرفیـت علمـی خـود بـه الـگویی از «خِـرَد چینـی» در مدیریـت پایـدار مناطـق سـاحلی در سـطح جهانـی تبدیـل شـود [۱۴۳].

تعـدادی از چهره‌هـای شناخته‌شـده ایـن آزمایشـگاه کـه در پشـتیبانی علمـی از سـاخت مخازن سـاحلی کلان‌شـهر شـانگهای نقش مهمی داشـته‌اند، به‌طور مختصر در اطلاع‌نگاشت ۸ معرفی می‌شوند.

1. Estuarine and Coastal Science: 河口海岸学科
2. Integrated Space-Air-Ground Observation System: “空天地一体化”综合野外观测系统

## اطلاع‌نگاشت ۸: پژوهشگران برجسته در آزمایشگاه کلیدی ملی تحقیقات مصب و سواحل در پشتیبانی علمی از پروژه‌های مخازن ساحلی شانگهای



**پرفسور چن جی‌یو**[1]

چن جی‌یو (متولد سپتامبر ۱۹۲۱ در شهرستان گوان‌یون[2]، استان جیانگ‌سو) در سال ۱۹۴۷ دوره تحصیلات تکمیلی خود را در دانشگاه ملی ججیانگ[3] به پایان رساند و در طول حیات علمی پربار خود نقشی کلیدی در پایه‌گذاری، توسعه و تثبیت دانش مصب‌شناسی و ساحل‌شناسی در چین ایفا کرد. وی به‌عنوان استاد برجسته و مدیر افتخاری آزمایشگاه کلیدی ملی تحقیقات مصب و سواحل در دانشگاه نرمال شرق چین شناخته می‌شد. در دهه ۱۹۸۰، پروفسور چن به یکی از چهره‌های مرجع در حوزه مطالعات مصب رود یانگ‌تسه تبدیل شد. آثار مهم او ازجمله مقاله‌های «الگوی تحول مصب رود یانگ‌تسه در ۲۰۰۰ سال اخیر»[4] و «تکامل مصب و دلتای یانگ‌تسه (۱۹۸۵)»[5] به‌طور گسترده در محافل علمی داخل چین مورداستناد قرار گرفت و مبنای علمی مهمی برای طرح‌های مهندسی و مدیریتی این رودخانه ازجمله ساخت نخستین مخازن ساحلی آن فراهم آورد. وی همواره پیوند میان نظریه و کاربرد در پروژه‌های مهندسی را در مرکز توجه پژوهش‌های خود قرار می‌داد و نظریات جامع او درباره تثبیت بستر رودخانه، الگوهای تحول مصب یانگ‌تسه و دیگر موضوعات مرتبط در میان جامعه علمی و مهندسی چین مورداستفاده گسترده قرار داشت. چن جی‌یوی در ۲۸ نوامبر ۲۰۱۷ در سن ۹۶ سالگی درگذشت [۱۴۴ و ۱۴۵].

1. Chen Jiyu: 陈吉余

برخی منابع چینی ایده اولیه برداشت آب از دهانه رود یانگ‌تسه که در دهه ۱۹۹۰ میلادی مطرح شده‌بود را به پروفسور چن جی‌یو از آزمایشگاه کلیدی ملی تحقیقات مصب و سواحل (دانشگاه نرمال شرق چین) نسبت می‌دهند. اگرچه سال‌ها بعد، محل پیشنهادی او برای احداث مخزن چینگ‌سائوشا نهایتا انتخاب نشد، اما نقش او در پیشبرد مطالعات مرتبط با مخازن ساحلی در چین را نمی‌توان نادیده گرفت.

2. Guanyun County :灌云县
3. National Zhejiang University: 国立浙江大学

نام فعلی این دانشگاه Zhejiang University (ZJU) است.

4. Developmental Model of the Changjiang (Yangtze) River Estuary over the Last 2000 Years :2000 年来长江发育模式
5. Evolution of the Yangtze River Estuary and Its Delta: 长江河口及其三角洲的发育



**پروفسور شِن خوئَن‌تینگ[1]**

پروفسور شن خوئَن‌تینگ متولد سپتامبر ۱۹۳۵ در شهر ووشی[2] استان جیانگ‌سو از اساتید برجسته و پیشکسوت دانشگاه نرمال شرق چین و آزمایشگاه کلیدی ملی تحقیقات مصب و سواحل این دانشگاه است که بیش از شش دهه از زندگی علمی خود را وقف پژوهش در حوزه اقیانوس‌شناسی مصبی کرده‌است. ایشان از دهه ۱۹۷۰ با تمرکز بر مصب رود یانگ‌تسه به‌عنوان پایگاه تحقیقاتی اصلی خود، مجموعه‌ای از مطالعات بنیادین و نوآورانه در زمینه‌هایی همچون جریان‌های جزرومدی، اختلاط آب شور و شیرین، سامانه‌های جریان خارج از دهانه، و شار مواد و تعاملات خشکی- دریا انجام داد. این پژوهش‌ها، جایگاه او را به‌عنوان یکی از پیشگامان تحلیل دینامیک پیچیده مصب‌ها در چین تثبیت کرده‌اند. در حوزه تحقیقات کاربردی، پروفسور شن در بیش از ده پروژه کلان ملی مشارکت داشته یا مسئولیت مستقیم آن‌ها را برعهده داشته‌است. پروژه‌هایی در زمینه تعیین محل مناسب برای نیروگاه‌های هسته‌ای، توسعه بنادر جانگ‌جیا[3] و نَن‌تونگ[4]، بررسی گزینه‌های تامین پایدار آب برای کلان‌شهر شانگهای، و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی پروژه‌های بزرگی مانند انتقال آب جنوب به شمال و سد سه دره بر مصب رود یانگ‌تسه ازجمله این پروژه‌ها به‌شمار می‌آیند. دستاوردهای علمی او در قالب بیش از ۱۵۰ مقاله پژوهشی در مجلات معتبر داخلی و بین‌المللی و ۵ عنوان کتاب منتشر شده‌است. براساس منابع موجود، پژوهش‌های دقیق پروفسور شن درباره ویژگی‌های مصب رود یانگ‌تسه ازجمله نخستین مطالعاتی بود که در دهه ۱۹۸۰ ایده استفاده از منابع آبی این رودخانه ازطریق احداث مخازن ساحلی را در میان مدیران و محققان چینی مطرح و ترویج کرد [۱۴۶، ۱۴۷].

1. Shen Huanting: 沈焕庭
2. Wuxi: 无锡
3. Zhangjiagang Port: 张家港
4. Nantong Port: 南通港



**پروفسور جو- جیپِن‌رونگ**[1]

پروفسور جو- جیپِن‌رونگ متولد سال ۱۹۶۴ از پژوهشگران برجسته در زمینه دینامیک مصب و مدل‌سازی عددی در دانشگاه نرمال شرق چین و آزمایشگاه کلیدی ملی تحقیقات مصب و سواحل این دانشگاه است. وی در سال ۱۹۹۳ به‌عنوان پژوهشگر پسادکتری به این آزمایشگاه پیوست و پس از پایان دوره، فعالیت حرفه‌ای خود را در همین مرکز ادامه داد. پرفسور جو در سال ۱۹۹۸ به مرتبه استادی دست یافت. حوزه‌های تخصصی او شامل دینامیک مصب و ساحل، مدل‌سازی عددی، بررسی فرآیندهای انتقال مواد مختلف (ازجمله آب شور، رسوبات، آلاینده‌ها و نشت نفت) در محیط‌های مصبی و ساحلی و همچنین مطالعه پدیده اختلاط آب شیرین و شور است. پروفسور جو مدیریت بیش از ۱۵ پروژه ملی پژوهشی در کشور چین را برعهده داشته و در نهادهای تخصصی گوناگون نیز مسئولیت‌های حرفه‌ای مهمی ایفا کرده‌است. در منابع رسمی به نقش یکی از پژوهش‌های گروه تحت‌هدایت او در پشتیبانی علمی از ساخت دو مخزن ساحلی دونگ‌فنگ‌شی‌شا و چینگ‌سائوشا اشاره شده‌است. در این مطالعه، سال‌های آبی ۱۹۷۹-۱۹۷۸ که از خشک‌ترین سال‌های ثبت‌شده در منطقه محسوب می‌شوند، به‌عنوان دوره‌های مرجع انتخاب شد و تغییرات شوری در محل برداشت آب این دو مخزن شبیه‌سازی شد. یافته‌های این پژوهش در تعیین ظرفیت بهینه مخازن سهم بسزایی داشت و پشتیبانی علمی مهمی برای طراحی و اجرای این پروژه‌های راهبردی جهت تامین آب شیرین در شهر شانگهای فراهم آورد [۱۴۸، ۱۴۹].

چنان‌که پیش‌تر نیز اشاره شد، مجموعه‌ای از تحقیقات پایه و کاربردی محققان برجسته این آزمایشگاه نقش مهمی در ارتقای شناخت علمی ویژگی‌های پیچیده مصب رود یانگ‌تسه و فراهم‌سازی مبانی نظری لازم برای طراحی و اجرای مخازن ساحلی در شانگهای داشته‌اند. یافته‌ها و ظرفیت‌های این آزمایشگاه می‌تواند برای پژوهشگران و متخصصان حوزه تامین آب شهری و مهندسی سواحل راهگشا باشد [۱۳۱][2].

1. Zhu Jianrong: 朱建荣

۲. به‌منظور دریافت اطلاعات بیشتر درباره حوزه‌های پژوهشی و اعضای علمی این آزمایشگاه رجوع شود به:
http://english.sklec.ecnu.edu.cn/Research/StaffList

## ۵. بازیگران کلیدی در طراحی مخازن ساحلی شانگهای

باتوجه‌به گستردگی و ساختار چندمرحله‌ای پروژه‌های طراحی مخازن ساحلی در شانگهای، طراحی بخش‌های مختلف این پروژه‌ها به نهادهای گوناگونی واگذار شده‌بود. به‌عنوان‌مثال، موسسه طراحی و تحقیقات مهندسی آب شانگهای (SWEDRI) یکی از این نهادها بود که در طراحی بخش‌هایی از پروژه مخزن چینگ‌سائوشا مشارکت داشت. جالب این‌که دو بخش از این پروژه که با طراحی این موسسه اجرا شده‌اند، در سال ۲۰۱۳ موفق به دریافت نشان طلایی پروژه‌های مهندسی آب شانگهای شدند [۱۳۶].

بااین‌حال، مستندات منابع چینی نشان می‌دهند که از میان طراحان مختلف مخازن ساحلی شانگهای، موسسه مطالعات (فنی)، طراحی و تحقیقات شانگهای نقشی محوری در طراحی سه مخزن ساحلی آب شرب شانگهای ایفا کرده و در بیشتر مراحل کلیدی طراحی این مخازن حضوری فعال داشته‌است. لازم به ذکر است که دو نشان طلایی یادشده نیز به‌طور مشترک به طراحی انجام‌شده توسط این موسسه و موسسه طراحی و تحقیقات مهندسی آب شانگهای (SWEDRI) تعلق گرفته‌اند. به‌طور خاص، حدود ۲۰۰ نفر از متخصصان فنی و مهندسی این موسسه در برنامه‌ریزی، پژوهش‌های فنی، طراحی و نظارت بر اجرای پروژه مخزن چینگ‌سائوشا مشارکت فعال داشته‌اند [۱۵۰].

ازاین‌رو، شناخت این موسسه به‌عنوان طراح اصلی مخازن ساحلی شانگهای برای تحلیل ظرفیت‌های فنی و زیرساختی چین در حوزه مدیریت منابع آب اهمیت ویژه‌ای دارد. درادامه، معرفی جامع‌تری از این نهاد تخصصی ارائه خواهدشد.

## ۱.۵. موسسه مطالعات (فنی)، طراحی و تحقیقات شانگهای

این موسسه در سال ۱۹۵۴ تاسیس شد و فعالیت خود را با طراحی اولین نیروگاه برق‌آبی بزرگ‌مقیاس چین یعنی نیروگاه برق‌آبی شین‌اَن‌جیانگ[1] آغاز کرد. این موسسه در طول دهه‌های متمادی به نهاد طراحی جامع سطح الف[2] در کشور چین تبدیل شد که در کل فرآیند پروژه به ارائه مشاوره و خدمات اشتغال داشت. در سال ۲۰۱۴، این موسسه در پی اصلاحات ساختاری خود به یکی از شرکت‌های تابعه گروه سه‌دره چین[3] تبدیل شد که از پیشروان جهانی در توسعه و بهره‌برداری از انرژی برق‌آبی به‌شمار می‌رود.




**تصویر ۳۸: موسسه طراحی شانگهای**

موسسه مذکور از تجهیزات پیشرفته‌ای نظیر سکوی اکتشاف فراساحلی، کشتی‌های تخصصی اکتشافی، و دکل حفاری دریایی مجهز به سامانه جبران حرکات ناشی‌از موج[4]

1. Xin'anjiang Hydropower Station
2. Class-A Comprehensive Design Institute :甲级综合设计院
3. The China Three Gorges Corporation: 中国长江三峡集团公司
4. Wave-Compensated Marine Drilling Rig: 波浪补偿海洋钻机

برخوردار است. پنج واحد تخصصی این مجموعه شامل واحد مشاوره[1]، واحد انرژی‌های نو[2]، واحد پروژه‌های پیمانکاری عمومی (EPC) مهندسی دریایی[3]، واحد عمران شهری و حفاظت زیست‌محیطی-اکولوژیکی[4] و واحد منابع آب و (نیروگاه‌های) برق‌آبی[5] است. علاوه‌براین، این موسسه مجموعه‌ای متنوع از نهادهای پشتیبانی فنی را دربرمی‌گیرد که از جمله آن‌ها می‌توان به موسسه برنامه‌ریزی[6]، موسسه طراحی معماری[7]، موسسه طراحی شهری[8] و سایر واحدهای تخصصی اشاره کرد. موسسه مطالعات (فنی)، طراحی و تحقیقات شانگهای در حال حاضر دارای بیش از ۲۰ شعبه و دفتر منطقه‌ای در استان‌ها و مناطق مختلفی همچون پکن، خوبِی[9]، تبت[10] و مغولستان داخلی[11] است. این موسسه همچنین از بیش از ۱۰ سکوی (پلتفرم) تحقیقاتی تخصصی و ۷ شرکت تابعه برخوردار است.

این موسسه با بهره‌گیری از گروهی متشکل از حدود ۲,۳۰۰ نیروی انسانی- شامل گروهی از چهره‌های برجسته ملی چین در حوزه طراحی و مشاوره مهندسی- نقش موثری در طراحی و اجرای پروژه‌های کلان در حوزه‌های منابع آب، انرژی‌های تجدیدپذیر، توسعه شهری و حفاظت محیط‌زیست در داخل و خارج از کشور چین ایفا کرده‌است. افزون‌برآن، این موسسه دستاوردهای معتبری در حوزه‌هایی همچون نوآوری فناورانه، توسعه پایدار و دیجیتالی‌سازی صنعت مهندسی به ثبت رسانده‌است [۱۵۱].

1. Consulting Division: 咨询事业部
2. New Energy Division: 新能源事业部
3. Marine Engineering EPC (Engineering, Procurement and Construction) Division: 海洋工程总承包事业部
4. Urban Construction & Eco-Environmental Protection Division: 城建与生态环保事业部
5. Water Resources & Hydropower Division: 水利水电事业部
6. Planning Institute: 规划院
7. Architectural Design Institute: 建筑设计院
8. Municipal Design Institute: 市政设计院
9. Hubei: 湖北
10. Tibet: 西藏
11. Inner Mongolia: 内蒙

درادامه، نام تعدادی از متخصصان وابسته‌به موسسه مطالعات (فنی)، طراحی و تحقیقات شانگهای آمده‌است که طبق منابع رسمی و مستندات اینترنتی، در مراحل مختلف طراحی، برنامه‌ریزی و توسعه مخازن ساحلی تامین آب کلان‌شهر شانگهای نقش موثری ایفا کرده‌اند.

**اطلاع‌نگاشت ۹: اعضای شاخص گروه طراحی مخازن ساحلی شانگهای در موسسه مطالعات (فنی)، طراحی و تحقیقات شانگهای**



**آقای یوان جیِین‌جونگ**[1]

آقای یوان از سال ۱۹۸۸ بلافاصله پس از دریافت مدرک کارشناسی ارشد مهندسی از دانشگاه چینگ‌خوا، فعالیت خود را در این موسسه طراحی آغاز کرد و از سال ۲۰۰۷ به رتبه مهندس ارشد ارتقا یافت. حوزه تخصصی و تمرکز حرفه‌ای وی مهندسی مصب رودخانه‌ها و مناطق ساحلی است. در سوابق حرفه‌ای ایشان، مشارکت در توسعه و بهره‌برداری از منابع آب شیرین در مصب رودخانه یانگ‌تسه دیده می‌شود. نام وی به‌عنوان نویسنده مقالات مرتبط با مخازن ساحلی شانگهای و یکی از افراد کلیدی در طراحی مخزن چینگ‌سائوشا که بزرگ‌ترین مخزن ساحلی چین است، ثبت شده‌است. البته در مستندات برخط اخیر، اشاره‌ای صریح به سمت فعلی ایشان نشده و بنابراین اظهارنظر قطعی درباره ادامه همکاری ایشان با این موسسه در حال حاضر ممکن نیست [۹۹].



**خانم وو سای‌ئه**

خانم وو سای‌ئه از سال ۱۹۸۴ بلافاصله پس از دریافت مدرک کارشناسی مهندسی از دانشگاه خوخَی، فعالیت حرفه‌ای خود را به‌عنوان مهندس در این موسسه آغاز کرد و در سال ۲۰۰۹ به رتبه مهندس ارشد ارتقا یافت. وی در طراحی چهار مخزن بزرگ تامین آب شرب در شهر شانگهای نقش کلیدی ایفا کرده‌است که سه مورد از آن‌ها در زمره مخازن ساحلی قرار دارند.
در سوابق حرفه‌ای ایشان، مشارکت در پروژه‌های زیربنایی راهبردی، دریافت جوایز فنی و مهندسی در سطح استانی، و حضور در گروه‌های طراحی پیشرو دیده می‌شود. بااین‌حال، با استناد به منابع در دسترس عمومی تا نیمه نخست سال ۲۰۲۵، در سخنرانی‌ها، مقالات و مستندات برخط اخیر اصلا اشاره‌ای صریح به سمت فعلی ایشان نشده و بنابراین اظهارنظر قطعی درباره ادامه همکاری ایشان با این موسسه در حال حاضر ممکن نیست [۹۹، ۱۵۴].

1. Yuan Jian Zhong: 袁建忠



### آقای شی شیائوچیانگ

آقای شی شیائوچیانگ ازجمله کارشناسان ارشد مهندسی منابع آب در چین است که بیش از سه دهه سابقه فعالیت در این موسسه دارد و در این مدت به‌عنوان مهندس ارشد و یکی از مدیران ارشد پیشین موسسه نقش موثری در هدایت مطالعات راهبردی تامین آب کلان‌شهرهای چین ایفا کرده‌است. مشارکت محوری او در طراحی مخزن ساحلی چینگ‌سائوشا، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پروژه‌های تامین آب شرب در شرق چین، از نقاط برجسته کارنامه او به‌شمار می‌رود.
وی در حال حاضر در سطوح بالای مدیریتی گروه سه‌دره چین فعالیت می‌کند و تمرکز اصلی او بر توسعه و راهبری پروژه‌های کلان مرتبط با انرژی‌های پاک در منطقه دلتای یانگ‌تسه است. باتوجه‌به مسئولیت‌های مدیریتی فعلی، به‌نظر می‌رسد ایشان دیگر در فرآیندهای اجرایی و طراحی پروژه‌های جدید مشارکت مستقیم ندارند [۱۵۲، ۱۵۵].



### آقای لو جونگ‌مین

آقای لو جونگ‌مین ازجمله مدیران فنی و مهندسان ارشد این موسسه و از برجسته‌ترین متخصصان مهندسی منابع آب و انرژی‌های تجدیدپذیر در کلان‌شهر شانگهای هستند. وی در طول بیش از سه دهه فعالیت حرفه‌ای خود در مقام مهندس ارشد یا مدیر پروژه نقش کلیدی در طراحی و اجرای مجموعه‌ای از پروژه‌های راهبردی ایفا کرده‌است که مخزن ساحلی چینگ‌سائوشا در شانگهای تنها یکی از نمونه‌های شاخص آن به‌شمار می‌رود.
وی همچنین در تدوین بیش از ۲۰ عنوان استاندارد ملی و صنعتی کشور چین مشارکت داشته، ۱۷ جلد کتاب و مقاله تخصصی در حوزه‌های مرتبط تالیف کرده و موفق به دریافت بیش از ۳۰ جایزه علمی و فنی در سطح ملی و استانی شده‌است [۱۵۳، ۱۵۶].

## ۲.۵. شرکت‌های فعال در فرآیند پیمانکاری مخازن ساحلی شانگهای

در این بخش، با معرفی شماری از شرکت‌های فعال در اجرای چهار مخزن اصلی کلان‌شهر شانگهای سعی شده‌است تصویری اولیه از ساختار پیمانکاری پروژه‌های مخازن ساحلی در این شهر ارائه شود. اطلاعات گردآوری‌شده مبتنی‌بر داده‌های عمومی موجود در منابع اینترنتی است و اگرچه تمامی ابعاد این حوزه را پوشش نمی‌دهد، اما

می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای شناخت مقدماتی ساختار پیمانکاری و نقطه‌آغاز بررسی‌های تفصیلی مورداستفاده قرار گیرد.

ابتدا شرکت‌هایی که براساس مستندات موجود در مراحل مختلف اجرای دو پروژه مخزن ساحلی چینگ‌سائوشا و دونگ‌فنگ‌شی‌شا در جایگاه پیمانکار اجرایی حضور داشته‌اند، معرفی می‌شوند. این دو مخزن به‌عنوان نمونه‌هایی از پروژه‌های متأخرتر (پس از سال ۲۰۰۰ میلادی) دارای مستندات شفاف‌تری، از حیث دسترسی به اطلاعات پیمانکاران، در منابع چینی هستند.

**اطلاع‌نگاشت ۱۰: برخی از شرکت‌های پیمانکار مشارکت‌کننده در پروژه‌های مخازن ساحلی چینگ‌سائوشا و دونگ‌فنگ‌شی‌شا**

**شرکت مهندسی راه و پل گروه گِجُوبا چین**
http://www.cggcrb.ceec.net.cn/

شرکت مهندسی راه و پل گروه گِجُوبا چین از شرکت‌های کلیدی گروه گِجُوبا چین (CGGC)[1] است که تحت‌نظارت مستقیم شرکت مهندسی انرژی چین (CEEC)[2] قرار دارد. این شرکت در سال ۱۹۷۴ بنیان‌گذاری شده‌است و از سال ۲۰۱۹ پس از چند مرحله تغییر ساختار با نام فعلی فعالیت می‌کند. شرکت مذکور دارای صلاحیت پیمانکاری عمومی ویژه (رتبه عالی) در حوزه‌های راه‌سازی و منابع آب چین است و تاکنون در اجرای بیش از ۸۰۰ پروژه زیرساختی ملی در حوزه‌های حمل‌ونقل، انرژی، محیط‌زیست و منابع آب در کشور چین مشارکت داشته‌است [۱۵۷].
در پروژه مخزن ساحلی دونگ‌فنگ‌شی‌شا در جزیره چونگ‌مینگ شانگهای، این شرکت که در آن زمان با نام رسمی وقت خود (شرکت پنجم مهندسی گروه گِجُوبا چین) معرفی شده‌بود، برنده مناقصه ساخت مخزن و ایستگاه پمپاژ و انتقال آب آن در سال ۲۰۱۱ شد. درواقع، این شرکت در اجرای بخش‌هایی از دیواره مخزن، ورودی و خروجی آب و ایستگاه پمپاژ و انتقال آب مشارکت داشت [۱۵۸، ۱۵۹].

1. China Gezhouba Group Company Limited: 中国葛洲坝集团股份有限公
2. China Energy Engineering Group Co.

**شرکت (کشتیرانی و) لایروبی شانگهای وابسته به گروه ساخت‌وساز ارتباطات چین (CCCC)[1]**

https://www.cccc-sdc.com/

این شرکت در سال ۱۹۰۵ تاسیس‌شده و از شرکت‌های تابعه شرکت دولتی عظیم ساخت‌وساز ارتباطات چین محسوب می‌شود. این شرکت دارای گواهی پیمانکاری عمومی درجه‌یک در پروژه‌های حوزه‌های آب و برق‌آبی، بنادر و آبراه‌ها و تاسیسات شهری چین است و خدماتی جامع در زمینه طراحی، ساخت، تامین‌مالی و بهره‌برداری پروژه‌های زیربنایی ارائه می‌دهد. شرکت مذکور در ده‌ها پروژه ملی در مناطق مختلف چین مشارکت داشته و مجری اصلی برخی پروژه‌های شاخص در خارج از کشور در چارچوب ابتکار یک کمربند یک راه بوده‌است [۱۶۰].

براساس منابع چینی، این شرکت به‌عنوان پیمانکار در پروژه احداث سد و محصورسازی مخزن ساحلی چینگ‌سائوشا مشارکت داشته‌است [۱۶۱، ۱۶۲]. این شرکت همچنین پیمانکار عملیات تقویت و آب‌بندی بخشی از دیواره این مخزن در سال ۲۰۱۰ بوده‌است [۱۶۳].

**شرکت پیمانکاری ساخت‌وساز ارتباطات شانگهای[2]**

https://shcc.cccc-sdc.com/index.html

این شرکت وابسته‌به شرکت دولتی عظیم ساخت‌وساز ارتباطات چین است. دامنه خدمات این شرکت شامل مشاوره، طراحی، اجرا، سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و نگهداری زیرساخت‌ها در حوزه‌هایی همچون مهندسی منابع آب، بنادر، راه و پل، پروژه‌های محیط‌زیستی، انرژی‌های نو و کشاورزی است. این شرکت فعالیت‌های خود را علاوه‌بر شانگهای، در ۱۶ منطقه از کشور چین و کشورهای متعددی در آسیا، آفریقا و آمریکای لاتین گسترش داده‌است [۱۶۴].

براساس اسناد رسمی مناقصه، این شرکت در سال ۲۰۱۰ به‌عنوان پیمانکار اصلی جهت اجرای بخشی از پروژه مخزن ساحلی چینگ‌سائوشا و ایستگاه پمپاژ و انتقال آب آن انتخاب شده‌است. البته در تارنمای رسمی شرکت نیز به مشارکت در ساخت این پروژه اشاره شده‌است [۱۶۵].

1. China Communications Construction Company- Shanghai Dredging Co., Ltd
2. Shanghai Communications Construction Contracting Co., Ltd: 上海交通建设总承包有限公司

**شرکت شماره ۲ مهندسی بنادر وابسته به گروه ساخت‌وساز ارتباطات چین (CCCC)[1]**
https://www.sneb.com.cn/

این شرکت در سال ۱۹۵۰ تاسیس شده و از شرکت‌های تابعه شرکت دولتی عظیم ساخت‌وساز ارتباطات چین است. این شرکت به‌عنوان یکی از پیمانکاران باسابقه و تخصصی چین در حوزه زیرساخت تاکنون در پروژه‌های بزرگ مرتبط با بنادر، پل‌سازی، راه‌سازی، خطوط ریلی، توسعه شهری، ساخت‌وساز مسکونی و پروژه‌های مرتبط با منابع آب و برق و محیط‌زیست مشارکت فعال داشته‌است. علاوه‌بر سراسر چین، این شرکت فعالیت‌های خود را در بیش از ۳۰ کشور و منطقه در آسیا، آفریقا و سایر نقاط جهان گسترش داده‌است [۱۶۶].

براساس اطلاعیه رسمی منتشرشده از سوی گروه ساخت‌وساز ارتباطات چین، در سال ۲۰۰۸ شرکت شماره ۲ مهندسی بنادر به‌عنوان پیمانکار اجرایی بخش مشخصی از پروژه مخزن ساحلی چینگ‌سائوشا معرفی شد. البته در سال ۲۰۱۳ و در جریان اعطای نشان طلایی پروژه‌های مهندسی آب شانگهای به همان بخش مشخص از پروژه، از شرکت گروه مهندسی هیدرولیک شانگهای[2] به‌عنوان پیمانکار اجرایی آن تقدیر به‌عمل آمد. این اختلاف در ثبت‌نام پیمانکار می‌تواند ناشی‌از تغییر پیمانکار در حین اجرا یا مشارکت پیمانکاران فرعی باشد [۱۶۷، ۱۳۶].

**گروه مهندسی هیدرولیک شانگهای**
https://www.shuil-igroup.com/

این شرکت در سال ۱۹۷۷ تاسیس شده و با دارا بودن گواهی پیمانکاری عمومی درجه‌یک در پروژه‌های مهندسی منابع آب چین به یکی از بازیگران اصلی حوزه مهندسی منابع آب در شانگهای تبدیل شده‌است. این شرکت طی دهه‌های گذشته در اجرای طیف گسترده‌ای از پروژه‌های کلیدی شهری و ملی چین مشارکت داشته‌است که شامل ایستگاه‌های پمپاژ، طرح‌های احیای رودخانه‌ها، ساخت دیواره‌های حفاظتی، مهندسی ساحلی و بسیاری موارد دیگر می‌شود [۱۷۱].

در تارنمای اینترنتی گروه مهندسی هیدرولیک شانگهای نیز اجرای دو پروژه مخزن ساحلی چینگ‌سائوشا و مخزن ساحلی دونگ‌فنگ‌شی‌شا و ایستگاه پمپاژ و انتقال آب آن‌ها به‌عنوان نمونه‌هایی از پروژه‌های شاخص این شرکت ذکر شده‌است [۱۶۸، ۱۶۹، ۱۷۰].

1. China Communications Construction Company- Second Harbor Engineering Company Ltd.
2. Shanghai Hydraulic Engineering Group Co., Ltd: 上海市水利工程集团有限公司

**گروه اِستِکول (STECOL)[1]**

https://en.stecol.cn/index.html

این شرکت در سال ۱۹۶۲ تاسیس شده و از شرکت‌های تابعه گروه ساخت‌وساز برق چین[2] است. این شرکت از پیمانکاران برجسته در حوزه منابع آب و برق و زیرساخت‌های شهری در کشور چین به‌شمار می‌رود و با بهره‌مندی از بیش از ۶,۲۰۰ نیروی متخصص در حوزه‌های متعدد همچون توسعه زیرساخت‌های شهری، پروژه‌های آب و برق، حمل‌ونقل، خطوط لوله و تاسیسات الکترومکانیکی در داخل و خارج از کشور چین فعالیت دارد. این شرکت پروژه‌های مختلفی در بیش از ۵۰ کشور در آسیا، آفریقا، اروپا و آمریکای جنوبی اجرا کرده و ارزش کل قراردادهای بین‌المللی آن از ۲۶ میلیارد دلار فراتر رفته‌است [۱۷۲].

در سال ۲۰۱۳ در جریان اعطای نشان طلایی مهندسی آب شانگهای به پروژه مخزن چینگ‌سائوشا، از این شرکت (که در آن زمان با نام رسمی وقت خود معرفی شده‌بود) به‌عنوان پیمانکار اجرایی یکی از قطعات پروژه تقدیر به‌عمل آمد [۱۳۶].

همان‌طور که در ابتدا اشاره‌شد، شناسایی دقیق پیمانکاران اصلی دو مخزن ساحلی قدیمی‌تر چین ازطریق منابع عمومی موجود در اینترنت با دشواری‌هایی همراه است. زیرا نخستین پروژه‌های مخازن ساحلی شانگهای یعنی مخزن بائوگانگ که باهدف تامین آب صنعتی برای مجتمع فولاد احداث شد و مخزن چِن‌خانگ که در اوایل دهه ۱۹۹۰ برای مصارف شهری ساخته‌شد، در دوره‌ای به اجرا درآمدند که هنوز نظام مناقصه شفاف و دسترسی عمومی به اطلاعات قراردادهای عمرانی در چین شکل نگرفته‌بود[3].

۱. نام انگلیسی ثبت‌شده برای این شرکت STECOL CORPORATION است. اما نام اصلی چینی آن 中国电建市政建设集团有限公司 با ترجمه تحت‌اللفظی PowerChina Construction Municipal Construction Group است.

2. Power Construction Corporation of China (PowerChina): 中国电力建设集团有限公司

۳. قانون مناقصه و مزایده جمهوری خلق چین تا سال ۱۹۹۹ تصویب و اجرایی نشده‌بود [۱۹۱]. بنابراین، بسیاری از پروژه‌های بزرگ پیش از تصویب این قانون- به‌ویژه پروژه‌هایی که با نقش‌آفرینی مستقیم نهادهای دولتی و نظامی پیش می‌رفتند- فاقد مستندات عمومی ثبت‌شده قابل‌دسترس در فضای دیجیتال امروز هستند.

بااین‌حال، براساس اخبار رسمی منتشرشده از سوی شرکت متالوژی چین (MCC)[1]، در دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ یکی از زیرمجموعه‌های تخصصی شرکت بائویه شانگهای[2]- که خود یکی از شرکت‌های تابعه گروه متالورژی چین (MCC) محسوب می‌شود- در اجرای هر دو پروژه بائوگانگ و چن‌خانگ نقش داشته‌است. در برخی منابع چینی، از این نهاد با عنوان شرکت تخصصی ساخت بائویه[3] یاد شده‌است [۱۷۳، ۱۷۴]. نام این زیرمجموعه در برخی پروژه‌های عمرانی دیگر در دهه ۲۰۰۰ نیز مشاهده می‌شود، اما در منابع جدیدتر اطلاعات دقیقی درباره وضعیت فعلی این زیرمجموعه تخصصی در دسترس نیست [۱۷۵، ۱۷۶].

از دیگر شرکت‌های فعال در این پروژه‌های اولیه می‌توان به شرکت خصوصی ساخت‌وساز لونگ‌یوئَن[4] اشاره کرد که در اوایل دهه ۱۹۸۰ با نام شیانگ‌شَن[5] فعالیت می‌کرد. این شرکت در ساخت دیواره مخزن بائوگانگ مشارکت داشت و توانست پروژه را ۷ ماه زودتر از موعد مقرر و با صرفه‌جویی قابل‌توجه در هزینه‌ها به پایان برساند [۱۷۷].

علاوه‌بر انواع پیمانکارانی که در مراحل مختلف احداث مخازن ساحلی شانگهای نقش داشته‌اند، شماری از شرکت‌های چینی نیز در مراحل پس از احداث اولیه در قالب پروژه‌های توسعه، نوسازی و نگهداشت مخازن ساحلی شانگهای ایفای نقش کرده‌اند. ازجمله برجسته‌ترین شرکت‌های این حوزه می‌توان به شرکت ساخت‌وساز

1. Metallurgical Corporation of China Limited
شرکت متالوژی چین شرکت بزرگ دولتی است که با بیش از ۷۰ سال سابقه به‌عنوان شرکتی پیشرو در صنعت فولاد چین محسوب می‌شود. این شرکت به‌واسطه توانمندی کم‌نظیر خود در طراحی، مهندسی و اجرای پروژه‌های بزرگ همواره نقشی کلیدی در احداث تقریبا تمامی کارخانه‌های بزرگ فولاد کشور چین ازجمله کارخانه فولاد مربوط‌به مخزن بائوگانگ داشته‌است.
2. Shanghai Baoye Group Corp., Ltd. (https://www.sbc-mcc.com/en/)
۳. 宝冶建设特种分公司 که به‌صورت تحت‌اللفظی به Baoye Construction Special Branch Company ترجمه می‌شود.
4. Longyuan Construction Group (https://www.lycg.com.cn/index_en.aspx)
5. Zhejiang Xiangshan Erjian Group Co., Ltd.

منابع آب و برق‌آبی وابسته‌به گروه ساخت‌وساز شانگهای (شعبه جِجیانگ)[1] اشاره کرد که در سال‌های اخیر در اجرای چندین پروژه کلیدی مرتبط با این زیرساخت‌ها مشارکت داشته‌است. به‌عنوان‌مثال، این شرکت در اواخر سال ۲۰۲۴ وظیفه اجرای پروژه افزایش ظرفیت ایستگاه پمپاژ مخزن دونگ‌فنگ‌شی‌شا در جزیره چونگ‌مینگ را عهده‌دار شد [۱۷۸، ۱۷۹]. پروژه ارتقای ظرفیت بهره‌برداری از مخزن چن‌خانگ در اواخر سال ۲۰۲۳ شامل عملیات لایروبی حوضچه آبگیر و نوسازی ایستگاه پمپاژ از دیگر وظایفی بود که این شرکت در قالب مناقصه عمومی برعهده گرفت [۱۸۰، ۱۸۱]. پروژه زیرساختی اتصال دو مخزن چینگ‌سائوشا و چن‌خانگ در سال ۲۰۲۵ نمونه شاخص دیگری از مشارکت این شرکت است که باهدف ارتقای یکپارچگی عملکردی این دو مخزن راهبردی در شمال شانگهای و بهبود تاب‌آوری شبکه تامین آب شهری در برابر بحران‌های ناشی‌از کم‌آبی و شوری منابع اجرا شد. این پروژه شامل بخش‌های متعددی ازجمله ساخت دریچه‌های اتصال، کانال‌های انتقال آب، تاسیسات پمپاژ و سایر زیرساخت‌های فنی بود که این شرکت به‌عنوان یکی از پیمانکاران آن برگزیده‌شد [۱۸۲، ۱۸۳].

در پایان باید یادآور شد که در این بخش صرفا به معرفی شماری از پیمانکاران منتخب در پروژه‌های مخازن ساحلی کلان‌شهر شانگهای اکتفا شده‌است، حال آنکه مجموعه‌ای گسترده از شرکت‌های تخصصی با حوزه‌های عملکرد متنوع در مراحل مختلف ساخت و توسعه این زیرساخت‌ها نقش داشته‌اند. ازاین‌رو، دستیابی به تصویر کامل‌تری از ساختار نهادی و زنجیره بازیگران موثر در این حوزه مستلزم انجام پژوهش‌های تکمیلی و بهره‌گیری از منابع میدانی و اسنادی گسترده‌تر خواهدبود.

1. Shanghai Construction Group (Zhejiang)- Water Conservancy and Hydropower Construction Co., Ltd.: 上海建工 (浙江) 水利水电建设有限公司 (https://scgsdjs.scg.com.cn/portal/index/index.htm)

این شرکت یکی از زیرمجموعه‌های گروه ساخت‌وساز شانگهای (Shanghai Construction Group) است. آدرس اینترنتی شرکت مادر: https://www.scg.com.cn/scgen/portal/index/index.htm

## پیوست

# دکتر یانگ شوچینگ و تاثیر آثار وی در تحولات حوزه مهندسی منابع آب ساحلی

در این بخش، پیشینه علمی دکتر یانگ شوچینگ باتوجه‌به جایگاه برجسته ایشان در حوزه مطالعات مخازن ساحلی در سطح بین‌المللی موردبررسی قرار می‌گیرد. دکتر یانگ به‌عنوان یکی از چهره‌های تاثیرگذار در توسعه مبانی نظری مرتبط با استفاده از مخازن ساحلی شناخته می‌شود و آثار علمی ایشان- اعم‌از کتاب‌ها و مقالات پژوهشی- در تبیین، ترویج و گسترش این مفهوم در سطح جهانی سهم بسزایی دارند. بااین‌حال، ذکر این نکته ضروری است که ایشان طی بیش از سه دهه گذشته در خارج از کشور چین فعالیت داشته‌اند و مستقیما در طراحی یا اجرای پروژه‌های مخازن ساحلی چین مشارکت نداشته‌اند. اگرچه نمی‌توان تاثیر غیرمستقیم دیدگاه‌ها و راهنمایی‌های علمی ایشان را در فرآیندهای تصمیم‌گیری نادیده گرفت، ولی نخستین مخزن ساحلی نسل دوم در شانگهای نیز پیش از ورود فعالانه دکتر یانگ به این حوزه احداث شده‌است. درنتیجه، هرچند شناخت و ارتباط با دکتر یانگ برای پژوهشگرانی که به‌دنبال درک تحولات نظری

و روندهای جهانی در حوزه مخازن ساحلی هستند ارزشمند است، اما به‌نظر می‌رسد برای افرادی که تمرکز اصلی آن‌ها بر شناسایی افراد دخیل در پروژه‌های اجرایی داخل چین است، در اولویت قرار ندارد. درادامه، سوابق علمی و پژوهشی این محقق برجسته موردبررسی قرار می‌گیرد.

## ◆ تحصیلات و سوابق حرفه‌ای دکتر یانگ



دکتر یانگ شوچینگ، استادیار برجسته دانشکده مهندسی عمران، معدن و محیط‌زیست[1] دانشگاه ولونگونگ (UOW)[2] و از شناخته‌شده‌ترین متخصصان حوزه مطالعات مخازن ساحلی در سطح جهانی است و نوشته‌های او از پراستنادترین منابع حوزه مخازن ساحلی هستند. تحقیقات ایشان بر موضوعات متعدد از مفاهیم کلی استفاده از مخازن ساحلی به‌عنوان منبع آب شیرین تا کاربردهای خاص و چالش‌ها در مناطق مختلف جهان متمرکز هستند.

یانگ شوچینگ مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی از دانشگاه ووهان[3] در سال ۱۹۸۵ دریافت کرد. او مدرک کارشناسی ارشد خود را از موسسه تحقیقات هیدرولیک نانجینگ در سال ۱۹۸۸ و دکترای خود را از دانشگاه صنعتی نانیانگ[4] سنگاپور در سال ۱۹۹۷ اخذ کرد. دکتر یانگ از ابتدای مسیر حرفه‌ای خود در دانشگاه‌های متعددی ازجمله دانشگاه نیواورلئان آمریکا[5] (۱۹۹۸-۱۹۹۹)، دانشگاه ملی سنگاپور[6] (۱۹۹۹-۲۰۰۳)، دانشگاه

1. School of Civil, Mining and Environmental Engineering
2. The University of Wollongong
3. Wuhan University
4. Nanyang Technological University https://www.ntu.edu.sg/
5. University of New Orleans
6. National University of Singapore

صنعتی نانیانگ سنگاپور (۲۰۰۵-۲۰۰۳)، دانشگاه دریایی (و اقیانوس) کره‌جنوبی (KMOU)[1] (۲۰۰۶-۲۰۰۵)، دانشگاه فناوری جنوب چین (SCUT)[2] (۲۰۰۷-۲۰۰۶) و دانشگاه ولونگونگ استرالیا[3] (۲۰۰۷ تاکنون) سابقه فعالیت دارد.

پژوهش‌های این محقق حوزه‌هایی مانند انتقال رسوبات[4]، هیدرولیک/مکانیک سیالات و مهندسی منابع آب را پوشش می‌دهد. دکتر یانگ تحقیقات خود در زمینه مهندسی منابع آب را از سال ۱۹۸۸ با پروژه سد سه‌دره- یکی از بزرگ‌ترین سدهای جهان- آغاز کرد [۱۸۵]. او که در برخی از ابرپروژه‌های چین مانند سد سه‌دره، پروژه انحراف آب جنوب- شمال (SNDP)[5] و بندر هوانگ هوا[6] شرکت داشته‌است، رویکرد تحقیقاتی خود را پس از سال ۲۰۰۳ از مطالعات تجربی[7] به مطالعه نظری تغییر داده‌است [۱۸۶، ۱۸۷].

### ◆ نوآوری دکتر یانگ در توسعه مفهومی مخازن ساحلی

دکتر یانگ به‌سرعت دریافت که ساخت سدها در برخی موارد به‌دلیل اثرات منفی بر زیست‌بوم‌ها ممکن است راهکار مناسبی برای حل بحران آب نباشد. وی با انتشار اولین مقاله خود درباره مخازن ساحلی در یک روزنامه سنگاپوری در سال ۲۰۰۱ ادعا کرد سنگاپور می‌تواند با طراحی هوشمندانه‌تر این نوع از مخازن به خودکفایی آبی دست یابد. اگرچه تا آن زمان مخازن ساحلی مختلفی در نقاط گوناگون جهان وجود داشتند، اما هیچ‌یک از طراحان یا کاربران آن‌ها به این نکته پی نبرده‌بودند که این مخازن می توانند مشکل کم‌آبی جهانی را حل کنند.

1. Korea Maritime (& Ocean) University
2. South China University of Technology
3. University of Wollongong
4. Sediment Transport
5. South-North Water Diversion Project
6. Huanghua Port
7. Experimental Study

دکتر یانگ در سال ۲۰۰۲ ثبت اختراع (پتنت) مخزن ساحلی خود را ارائه کرد که برای نخستین بار در تاریخ ادعا می‌کرد بحران جهانی آب می‌تواند به‌طور موثری توسط مخازن ساحلی حل شود و احداث این مخازن بهترین روش ممکن برای انتقال آب بین‌حوضه‌ای[1] و اتصال مخازن ساحلی در امتداد خطوط ساحلی است. این دیدگاه در آن زمان با استقبال برخی محافل دانشگاهی و تصمیم‌گیران حوزه تامین آب سنگاپور مواجه نشد. در پی اختلافات به‌وجود آمده، دکتر یانگ از دانشگاه ملی سنگاپور اخراج شد و کمی بعد، فناوری نمک‌زدایی با غشا و تولید آب نو (NEWater)[2] به راهکار اصلی سنگاپور برای تامین آب تبدیل شد. بااین‌حال، دکتر یانگ حمایت قابل‌توجهی از سوی رئیس دانشگاه صنعتی نانیانگ سنگاپور دریافت کرد و مرکز تحقیقات دریایی این دانشگاه[3] در سال ۲۰۰۴ از انتشار کتاب‌های او در زمینه مخازن ساحلی توسط انتشارات دانشگاه تیِن‌جین[4] به زبان چینی حمایت کرد.

سپس، دکتر یانگ راهکار استفاده از مخازن ساحلی برای حل مشکل کمبود آب را به کشور چین به‌ویژه شهرهای شانگهای و پکن پیشنهاد داد. درحالی‌که دولت چین پروژه انتقال آب جنوب به شمال را به‌عنوان راهکار تامین آب پکن مطرح کرده‌بود، وی در نامه‌ای به مقامات ارشد سه فرضیه اصلی این پروژه را به چالش کشید:

۱) این تصور که جنوب چین همیشه پرآب و شمال همیشه کم‌آب است.

۲) این باور که غرب چین همیشه پرآب و سواحل شرقی همیشه کم‌آب هستند.

۳) این دیدگاه که روان‌آب‌هایی که به دریا می‌ریزند قابل بهره‌برداری نیستند.

1. Inter-basin Water Transfer
2. Membrane Technology for Desalination and NEWater

نیوواتر یا NEWater (pronounced New-Water)، نام تجاری آب بازیافتی با خلوص بسیار بالا است که توسط هیئت خدمات عمومی سنگاپور (Public Utilities Board یا سازمان ملی آب سنگاپور) تولید می‌شود. نیوواتر ازطریق تصفیه پیشرفته‌تر فاضلابی که به‌صورت معمول تصفیه شده، تولید می‌شود و این فرآیند شامل ریزپالایش (microfiltration)، اسمز معکوس (reverse osmosis) و تابش فرابنفش (ultraviolet radiation) است.

3. NTU Maritime Research Center
4. Tianjin University Press

واقعیت این بود که منطقه جنوب چین نیز در فصل خشکسالی با کم‌آبی مواجه می‌شود و دریاچه‌های بزرگ حوزه رودخانه یانگ‌تسه تقریبا هرسال در این دوره زمانی خشک می‌شوند. افزون‌برآن، هر قطره آب فرودآمده در ارتفاعات غربی چین نیز نهایتا باید به سوی دریاهای شرق جریان یابد. دکتر یانگ مطرح کرد که یک مخزن ساحلی در مصب رودخانه زرد[1] (که به شهر پکن بسیار نزدیک است) می‌تواند سالانه ۲۰ میلیارد مترمکعب (۲۰هزار میلیون مترمکعب) آب ذخیره کند، درحالی‌که نیاز سالانه پکن کمتر از ۲ میلیارد مترمکعب بود. متاسفانه مقامات پکن پاسخی به این پیشنهاد ندادند، اما شهر شانگهای که در احداث مخازن ساحلی سابقه قبلی داشت، از ایده استفاده از مخازن ساحلی برای حل مشکلات آبی شهر استقبال کرد و در سال ۲۰۰۵، از نویسنده دعوت شد تا سمیناری درباره مخازن ساحلی برای ۵۰۰ نفر از مسئولان این شهر برگزار کند. این سخنرانی بعدا در قالب مقاله‌ای با عنوان «حل کامل مشکل کم‌آبی شانگهای با استفاده از مخازن ساحلی» منتشر شد. این پیش‌بینی در سال ۲۰۱۱ به واقعیت پیوست و با ساخت مخزن ساحلی چینگسائوشا در مصب رودخانه یانگ‌تسه قدم بزرگی در تامین پایدار آب شهری شانگهای برداشته‌شد.

دکتر یانگ در سال ۲۰۰۷ در اوج «خشکسالی هزاره»[2] که بدترین خشکسالی تاریخ استرالیا محسوب می‌شد، به این کشور مهاجرت کرد. او انتظار داشت مفهوم استفاده از مخازن ساحلی جهت حل بحران آب به‌سرعت در استرالیا پذیرفته شده و به صورت گسترده اجرایی شود. اما در کمال تعجب، هیچ‌یک از نهادهای تامین‌کننده بودجه تحقیقاتی ازجمله شورای تحقیقات استرالیا (ARC)[3] و برنامه چالش جهانی دانشگاه

1. Yellow River
2. Millennium Drought
3. Australia Research Council

ولونگونگ[1] تمایلی به حمایت از تحقیقات مخازن ساحلی نشان ندادند. درمقابل، میلیاردها دلار صرف ساخت کارخانه‌های نمک‌زدایی در تمامی پایتخت‌های ایالتی استرالیا شد که به نظر او اتلاف منابع محسوب می‌شد. بااین‌وجود، ایده استفاده از مخازن ساحلی به‌سرعت توسط کشورهای دیگری مانند مالزی و اندونزی مورداستقبال قرار گرفت [۱۸۵].

## ◆ تاثیرات جهانی و کاربردهای عملی ایده دکتر یانگ درباره مخازن ساحلی

در سال ۲۰۱۷، دانشگاه ولونگونگ مرکز تحقیقات مخازن ساحلی (CCRR)[2] را در کشور استرالیا تاسیس کرد و دکتر یانگ را به‌عنوان مدیر آن منصوب کرد. در همان سال، با همکاری این مرکز و جمعی از متخصصان برجسته از بریتانیا، هلند، چین، استرالیا، هند و مالزی، انجمن بین‌المللی تحقیقات مخازن ساحلی (IACRR)[3] بنیان‌گذاری شد و مراسم افتتاحیه آن در کوالالامپور برگزار گردید. اگرچه برخی مشکلات سیاسی باعث شد برخی اعضا نتوانند در مراسم افتتاحیه حضور یابند و حتی محل برگزاری مراسم در شهر در آخرین لحظات تغییر کرد، اما این انجمن تا امروز به فعالیت خود ادامه داده‌است. در سال ۲۰۱۸، انجمن مذکور اولین کارگاه بین‌المللی خود را با موضوع «راهکارهای نوآورانه برای دستیابی‌به هدف ششم توسعه پایدار سازمان ملل»[4] در دانشگاه ولونگونگ برگزار کرد. حدود ۱۰۰ نماینده در این کارگاه شرکت کردند و در بیانیه نهایی با عنوان بیانیه ولونگونگ در مورد آب[5] تصریح شد که مخازن ساحلی می‌توانند تامین آب شیرین کافی و مقرون‌به‌صرفه را برای مناطق مختلف جهان تضمین کرده و از اختلافات آبی جلوگیری نمایند.

1. UOW's Global Challenge Program
2. The Centre for Coastal Reservoir Research
3. The International Association for Coastal Reservoir Research (www.iacrr.org)
4. Innovative Solutions to UN's Sustainable Development Goal 6
5. The Wollongong Declaration on Water

در سال ۲۰۱۹، دومین کارگاه بین‌المللی انجمن بین‌المللی تحقیقات مخازن ساحلی در دانشگاه ملی چنگ‌کونگ (NCKU)[1] در تایناِن تایوان برگزار شد. موضوع این کارگاه «از کمبود آب تا امنیت آبی ازطریق ذخیره‌سازی در مخازن ساحلی پایین‌دست»[2] بود. درواقع، دستیابی‌به هدف ششم توسعه پایدار برای مناطق زلزله‌خیزی مانند تایوان که با وجود بارندگی فراوان دارای چالش‌های خاصی است، پیچیده‌تر است. مشکل این مناطق کمبود بارندگی و آب نیست، بلکه هدررفت آب و مشکلات ذخیره‌سازی است. زیرا خطر زلزله، ساخت سدهای بزرگ در همه جا را غیرعملی می‌سازد. در این شرایط، مخزن ساحلی راهکار ایده‌آلی برای مناطق مستعد زلزله محسوب می‌شود. در سال ۲۰۲۰، وزارت برنامه‌ریزی توسعه ملی اندونزی (Bappenas)[3] با همکاری موسسه مهندسان اندونزی (PII)[4] و انجمن بین‌المللی تحقیقات مخازن ساحلی (IACRR) یک کارگاه بین‌المللی در زمینه مخازن ساحلی برگزار کرد. آقای سوهارسو مونوارفا[5]، وزیر برنامه‌ریزی توسعه ملی اندونزی، اعلام کرد که توسعه مخازن ساحلی در مناطق پرتراکمی مانند جاوه راه‌حل مطلوبی است، چراکه ساخت این مخازن نیازی به استفاده از اراضی موجود ندارد [۱۸۵]. تمامی مثال‌های بیان‌شده نشان‌دهنده آن است که انجمن بین‌المللی تحقیقات مخازن ساحلی با فعالیت‌های بین‌المللی خود و جلب حمایت نهادهای کلیدی به‌تدریج نقش موثری در ترویج راهکارهای مبتنی‌بر مخازن ساحلی ایفا کرده‌است.

دکتر یانگ که در گذشته به‌عنوان مدیر موسس مرکز تحقیقات مخازن ساحلی در دانشگاه ولونگونگ فعالیت داشته و از بنیان‌گذاران، دبیر اجرایی و اعضای اصلی انجمن بین‌المللی تحقیقات مخازن ساحلی نیز بوده‌است، در جدیدترین مسئولیت علمی-

1. National Cheng Kung University
2. From Water Shortage to Water Security through Storage in Downstream Coastal Reservoirs
3. The Ministry of National Development Planning
4. Institution of Engineers Indonesia
5. Mr. Suharso Monoarfa

سازمانی خود در سال ۲۰۲۳ به‌عنوان دبیر گروه تخصصی توسعه پایدار سواحل و مصب‌ها در انجمن بین‌المللی آب[1] منصوب شده‌است. این گروه یکی از جدیدترین گروه‌های تخصصی انجمن بین‌المللی آب[2] است که باهدف پرداختن به چالش‌های جهانی آب در مناطق ساحلی و مصبی شکل گرفته‌است و تلاش می‌کند با تکیه بر دانش تخصصی اعضای خود، راهکارهای نوآورانه‌ای در زمینه مدیریت منابع آب، توسعه شهری، بازیابی زیست‌بوم‌های ساحلی و تامین انرژی از منابع دریایی ارائه دهد. درواقع، ایده تاسیس این گروه باتوجه‌به فشارهای فزاینده ناشی‌از تغییرات اقلیمی، کاهش جریان‌های ورودی به سدها، و نیاز به استفاده بهینه از روان‌آب‌های سیلابی که به دریا می‌ریزند، شکل گرفت. در این چارچوب، مخازن ساحلی و حوضه‌های جزرومدی به‌عنوان گزینه‌هایی موثر برای ذخیره آب، کنترل نفوذ آب شور، کاهش خطرات سیلابی، توسعه کشاورزی و تامین انرژی مطرح شدند. ازجمله رویدادهای مهم این گروه می‌توان به برگزاری کنفرانس بین‌المللی مخازن ساحلی و مدیریت پایدار آب[3] در انتهای سال ۲۰۲۳ اشاره کرد. شایان ذکر است دکتر یانگ به‌عنوان دبیر مشترک این گروه نقشی کلیدی در جهت‌دهی علمی و سازمانی فعالیت‌های آن ایفا می‌کند [۱۸۷].

## ◆ دستاوردهای علمی و آینده‌نگاری دکتر یانگ

دکتر یانگ شوچینگ اگرچه مخترع مفهوم مخازن ساحلی نبود- چراکه نمونه‌های تاریخی و همچنین پروژه‌های متعدد معاصر در چین و دیگر نقاط جهان گواه سابقه دیرین و گستردگی این سازه‌هاست- اما با سه دستاورد متمایز خود تحولی بنیادین در کاربرد و مفهوم‌سازی این فناوری ایجاد کرد. نخست آنکه با ارائه چارچوبی نظام‌مند، مخازن ساحلی

1. IWA's Sustainable Coastal and Estuarine Development Specialist Group

۲. این انجمن درحال حاضر بیش از ۵۰ گروه تخصصی در حوزه‌های مختلف دارد که اعضای آن در بیش از ۱۴۰ کشور جهان فعالیت می‌کنند.

3. International Conference on Coastal Reservoirs and Sustainable Water Management

را از راهکارهـای پراکنـده و موقعیت‌محور به پارادایمی جهانی برای مقابله با بحران آب ارتقا داد. دوم، بـا توسـعه الگوهـای نظری پیشـرفته توانسـت مبنایی علمی بـرای طراحی بهینه این سـازه‌ها براسـاس ویژگی‌های هیدرولوژیکـی و نیازهای هر منطقه فراهـم آورد. به‌ویژه، دکتر یانگ با معرفی طبقه‌بندی علمی مخازن ساحلی به نسل اول و دوم توانست به ارائه چارچوبی نظام‌یافته برای تحلیل روند تکامل این سـازه‌ها که پیش از این وجود نداشـت، کمک کند. سـوم و مهم‌تر آنکه، ایشـان برای نخسـتین بار پیوندی راهبردی میان عملکرد مخازن سـاحلی و دسـتیابی‌به اهداف توسعه پایدار سازمان ملل به‌ویژه هدف ششم (آب پاک و بهداشـت برای همه) برقرار سـاخت. این سـه گام کلیدی باعث شـد مخازن ساحلی به‌جـای این‌کـه به‌عنـوان سـازه‌های مهندسـی صـرف قلمـداد شـوند، به‌عنوان سـازوکاری یکپارچه در نظر گرفته‌شوند که همزمان پاسخگوی نیازهای فنی، ملاحظات زیست‌محیطی و ضرورت‌های اجتماعی- اقتصادی هستند.

امروز و باگذشـت بیـش از سـه دهه از آغاز فعالیت‌های پژوهشـی دکتـر یانگ می‌توان به صراحت بیان کرد که این محقق نقش مهمی در توسـعه دانش هیدرولیک و مدیریت منابع آب ایفا کرده‌است. دکتر یانگ با انتقاد از رویکردهای سنتی مدیریت منابع آب مانند سدسازی و نمک‌زدایی، بر ذخیره‌سازی سیلاب در مناطق ساحلی تاکید دارد و این رویکرد را تـغییری پارادایـم در مدیریـت منابـع آب می‌دانـد. او کتاب‌هـا و مقـالات متعـددی در این حوزه منتشر کرده و همچنان در تلاش است تا تحولی بنیادین در حل بحران آب در سطح جهانی ایجاد کند.

در نماگر (پروفایل) پژوهشی ایشان در وب‌گاه رسمی دانشگاه ولونگونگ، بیش از ۲۲۰ عنوان از آثار علمی گوناگون شـامل مقالات ژورنالی، کنفرانسـی و فصول کتاب‌ها فهرسـت شده‌است. این آثار حوزه‌های مختلفی ازجمله مدل‌سازی هیدرودینامیک مخازن ساحلی

و رودخانه‌ها، تاثیر تغییرات اقلیمی بر زیست‌بوم‌های آبی، بهینه‌سازی سیستم‌های مدیریت سیلاب و رسوب و مهندسی منابع آب را پوشش می‌دهند. در میان آن‌ها، بیش از ۴۰ اثر به‌طور مستقیم به موضوع مخازن ساحلی اختصاص دارند.

تعداد استنادات به مقالات ایشان (در Google Scholar) بیش از ۳ هزار بار (با شاخص H ۳۰) ثبت شده که رقم قابل‌توجهی است. کتاب «فناوری و کاربردهای مخازن ساحلی»[1] که در سال ۲۰۲۲ توسط این پژوهشگر منتشر شده‌است نیز حاوی دیدگاه جامع و خلاصه‌ای از تحقیقات و نتایج علمی ایشان در زمینه مخازن ساحلی طی دو دهه گذشته است که به‌عنوان منبع اصلی برای ارائه نکات علمی مختلف در این گزارش مورداستفاده قرار گرفته‌است.

دکتر یانگ شوچینگ در کنار همکاری‌های بین‌المللی گسترده خود، تعامل پژوهشی موثری نیز با محققان ایرانی در حوزه مدیریت منابع آب ساحلی داشته‌است. حاصل این همکاری، مقاله‌ای با عنوان «بررسی آزمایشگاهی الگوی تغییرات شوری بستر مخازن ساحلی طی اولین آبگیری»[2] بوده که در بیست‌ودومین کنفرانس ملی هیدرولیک ایران (پاییز ۱۴۰۲) ارائه شده‌است[3]. این مقاله به‌عنوان گامی اولیه در جهت بهره‌برداری موثر از مخازن ساحلی به موضوع شوری‌زدایی بستر در آبگیری اولیه می‌پردازد [۱۸۸].

دکتر یانگ همچنان به فعالیت‌های پژوهشی خود ادامه می‌دهد و با همکاری‌های بین‌المللی به توسعه فناوری‌های نوین در مدیریت منابع آب و هیدرولیک می‌پردازد. برای آگاهی از فهرست کامل آثار علمی، پروژه‌های پژوهشی، سوابق همکاری‌های

1. Coastal Reservoir Technology and Applications
2. Laboratory Investigation of the Removal Pattern of Salinity from the Base of Coastal Reservoirs during the First Water Impounding

۳. این مقاله به‌طور مشترک توسط حجت احمدی (استاد گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه)، شقایق پوربابک (دانشجوی دکترای سازه‌های آبی دانشگاه ارومیه در زمان نگارش)، امیر رئوف (استادیار گروه علوم زمین دانشگاه اوترخت)، و دکتر یانگ شوچینگ نگاشته شده‌است.

بین‌المللی و همچنین دریافت اطلاعات تماس مستقیم با ایشان، علاقه‌مندان می‌توانند به نماگر رسمی دکتر یانگ در وب‌گاه دانشگاه ولونگونگ (https://scholars.uow.edu.au/shuqing-yang) مراجعه کنند. این نماگر شامل اطلاعات به‌روزشده‌ای در مورد فعالیت‌های علمی و حرفه‌ای ایشان در زمینه مخازن ساحلی و دیگر حوزه‌های مرتبط است و می‌تواند به‌عنوان مرجع معتبر برای پژوهشگران و تصمیم‌گیرندگان مورداستفاده قرار گیرد.

# منابع


[1] https://www.unesco.org/en/articles/imminent-risk-global-water-crisis-warns-un-world-water-development-report-2023.

[2] https://file.scirp.org/Html/3-9401697_29220.htm#ref1.

[3] https://thesourcemagazine.org/coastal-reservoirs-an-untapped-resource/.

[4] https://www.iahr.org/library/infor?pid=3688.

[5] https://www.irna.ir/news/81578397/5800-%D9%83%D%8C%D9%84%D9%88%D9%85%D8%AA%D8%B1-%D8%B7%D9%88%D9%84-%D8%B3%D9%88%D8%A7%D8%AD%D9%84-%D8%A7%DB%8C%D8%B1%D8%A7%D9%86.

[6] https://jhyd.iha.ir/article_137162_55bda2582653e9a763a3552c5c6f3559.pdf.

[7] https://www.iribnews.ir/fa/news/3455457/%D8%A2%D8%BA%D8%A7%D8%B2-%D8%B3%D8%A7%D8%AE%D8%AA-%D8%AF%D9%88-%D8%B3%D8%AF-%DA%A9%D9%88%DA%86%DA%A9-%D8%B3%D8%A7%D8%AD%D9%84%DB%8C-%D8%AF%D8%B1-%DA%A9%D8%B4%D9%88%D8%B1.

[8] https://iha.ir/%D8%B3%D8%AE%D9%86%D8%B1%D8%A7%D9%86%DB%8C-%D8%B9%D9%84%D9%85%DB%8C-%D8%A8%D8%A7-%D9%85%D9%88%D8%B6%D9%88%D8%B9-%D8%A7%D8%AD%D8%AF%D8%A7%D8%AB-%D9%85%D8%AE%D8%A7%D8%B2%D9%86-%D8%B3%D8%A7%D8%AD/.

[9] https://earthobservatory.nasa.gov/images/89996/fresh-water-for-shanghai.

[10] https://ircold.ir/wp-content/uploads/2023/01/coastal-reservoirs-Paper2.pdf.

[11] Shu-Qing Yang, Muttucumaru Sivakumar، "Water storage and design considerations of coastal reservoirs،" Sustainable Water Resource Development Using Coastal Reservoirs، 2020، pp. 11-32.

[12] Muttucumaru Sivakumar, Brian G. Jones, Shu-Qing Yang، "Water quality considerations،" Sustainable Water Resource Development Using Coastal Reservoirs، 2020، pp. 33-59.

[13] S.-Q. YANG، "HISTORICAL REVIEW OF EXISTING COASTAL RESERVOIRS AND ITS APPLICATIONS،" the 38th IAHR World Congress، Panama، 2019.

[14] Wong, H. L. & Teo, F. Y، "Hydrodynamic modelling and shape optimisation of second-generation coastal reservoirs in consideration of algal bloom occurrence،" Environment, Development and Sustainability، 26، 4، 2023pp. 8735- 8771

[15] https://m.fx361.com/news/2019/0910/9870437.html.

[16] T.G. Sitharam, Shu-Qing Yang, Roger Falconer, Muttucumaru Sivakumar, Brian Jones, Sreevalsa Kolathayar, Lim Sinpoh، Sustainable Water Resource Development Using Coastal Reservoirs، Oxford (United Kingdom): Butterworth-Heinemann (Elsevier)، 2020.

[17] https://en.namu.wiki/w/%EC%8B%9C%ED%99%94%ED%98%B8.

[18] https://www.offshore-energy.biz/liverpool-officials-look-to-far-east-for-tidal-barrage-ideas/.

[19] https://www.researchgate.net/figure/Map-of-Lakes-Alexandrina-and-Albert-showing-the-approximate-site-positions-of-settlement_fig21_260981354.

[20] https://wenku.baidu.com/view/353fbf47667d27284b73f242336c1eb91b373375?fr=xueshu_top&_wkts_=1746849971433&needWelcomeRecommand=1&unResetStore=1.

[21] https://henry.baw.de/server/api/core/bitstreams/86d04672-496d-4d66-b3dd-43528d34a501/content.

[22] PENGZHI LIN, ZHIGUO HE, ZELIN GONG & JINQUAN WU، "COASTAL RESERVOIRS IN CHINA،" Hydrolink Magazine، 1، 2018 pp. 6-9،

[23] https://mr.baidu.com/r/1F8jfAx70mk?f=cp&u=20847f43bdee0a90 .

[24] https://www.ceicdata.com/en/china/water-resource/cn-water-resource-per-capita.

[25] https://slj.ahsz.gov.cn/xwzx/gggs/189602201.html.

[26] https://www.statista.com/statistics/270162/urbanization-in-china/.

[27] https://baike.baidu.com/item/%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E4%BA%BA%E5%9D%87%E6%B0%B4%E8%B5%84%E6%BA%90%E9%87%8F/12668164.

[28] S.-q. Yang، "Application of coastal reservoirs in China and its feasibility،" Journal of Sustainable Urbanization, Planning and Progress، vol. ، 2 2018 pp. 27-33،

[29] https://baike.baidu.com/item/%E5%B0%84%E9%98%B3%E6%B2%B3%E9%97%B8/6185351.

[30] https://baike.baidu.com/item/%E6%B5%B7%E6%B2%B3%E9%98%B2%E6%BD%AE%E9%97%B8/7990393.

[31] http://www.bhwh.gov.cn/home/content/detail/id/21552.html.

[32] https://baike.baidu.com/item/%E6%96%B0%E6%B4%8B%E6%B8%AF%E9%97%B8/15516098.

[33] https://baike.baidu.com/item/%E7%8B%AC%E6%B5%81%E5%87%8F%E6%B2%B3%E9%98%B2%E6%BD%AE%E9%97%B8/24523630.

[34] https://baike.baidu.com/item/%E6%9B%B9%E5%A8%A5%E6%B1%9F%E5%A4%A7%E9%97%B8/2710034.

[35] https://baike.baidu.com/item/%E6%9B%B9%E5%A8%A5%E6%B1%9F%E5%A4%A7%E9%97%B8%E6%B0%B4%E5%88%A9%E9%A3%8E%E6%99%AF%E5%8C%BA/13217807?fr=aladdin.

[36] https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzI4NjQ2MjkyMA==&mid=2247577661&idx=2&sn=683d8c4272f8074be9c396f1103190d3&chksm=ebdf769adca8ff8c08c33b0f46c61c5af1e179c82e51d015f10e6ac7d0f7297edaa171720573&scene=27.

[37] https://zhidao.baidu.com/question/1945958845253009308.html.

[38] https://www.discoverhongkong.com/fr/explore/great-outdoor/wellness/high-island-geo-trail.html .

[39] https://thingstodoinhk.com/article/plover-cove-reservoir .

[40] https://baike.baidu.com/item/%E7%8F%8A%E7%91%9A%E6%B2%99%E6%B5%B7%E5%A1%98/64562673.

[41] https://baijiahao.baidu.com/s?id=1704797309220299601&wfr=spider&for=pc.

[42] https://baijiahao.baidu.com/s?id=1802379476813013320&wfr=spider&for=pc.

[43] https://baike.baidu.com/item/%E5%85%AB%E6%B2%B3%E6%B0%B4%E5%BA%93/16985030.

[44] https://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=39699dd41235ef257b1fa15222dece22&tn=SE_baiduxueshu_c1gjeupa&ie=utf-8&site=baike.

[45] https://www.researchgate.net/publication/342139598_Salinity_Distribution_and_Sediment_Flux_in_the_Estuarine_Xuanmen_Reservoir.

[46] https://www.statista.com/statistics/1133227/china-population-of-shanghai-municipality-administrative-area/.

[47] https://wenku.baidu.com/view/5cfbd83e27fff705cc1755270722192e44365899.html.

[48] https://tjj.sh.gov.cn/zrdl/index.html.

[49] https://swj.sh.gov.cn/szy/20241014/672d10c0e5124d9a84d1bf76c7c1afe6.html.

[50] https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_9065651.

[51] https://baijiahao.baidu.com/s?id=1757695210250570599&wfr=spider&for=pc.

[52] https://www.jfdaily.com/wx/detail.do?id=463974.

[53] https://jz.docin.com/p-56488099.html.

[54] https://baike.baidu.com/item/%E5%AE%9D%E9%92%A2%E6%B0%B4%E5%BA%93/23347521.

[55] https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5964346.

[56] https://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CMFD&dbname=CMFD2009&filename=2009183294.nh&uniplatform=OVERSEA&v=zKhgZdGIMHvA59K5nKmnnUKGWi9ucGPYL0h-hMy7ChP3owScju6VfBYTLmR9xYnD.

[57] https://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=IPFD&dbname=IPFD9914&filename=SPDE200605003038&uniplatform=OVERSEA&v=RvolPNcXEAuanxKMtMIh0HLxKNmI5zQWXs19x7WtwlIz9QNYFpYvQeODGKnTuJ91_K7rn8PLn-o%3d.

[58] https://d.wanfangdata.com.cn/periodical/Ch9QZXJpb2RpY2FsQ0hJTmV3UzIwMjUwMTE2MTYzNjE0Eg96Z2pzcHMyMDA3MTcwMjQaCGNmdnE4endz.

[59] https://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFD9093&filename=BGJS199204002&uniplatform=OVERSEA&v=0Vf7V-KPQhr33UAjQC-mAl2YwZI4a-H72xNhUVsMGzXQTYWdOlFvDlt5tRqQGgexl.

[60] https://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFD9697&filename=CYYF199703010&uniplatform=OVERSEA&v=2gMlnb5nQNW9Ocm-Qrx8iiLGZ_qjM9G9_6Tk72V1ln-4H8vf_667fjCfAjwFvOMHj.

[61] http://ch.whu.edu.cn/article/id/3818.

[62] https://d.wanfangdata.com.cn/periodical/Ch9QZXJpb2RpY2FsQ0hJTmV3UzIwMjUwMTE2MTYzNjE0Eg1zZ2pzMjAxMTA5MDIyGghjZnZxOHp3cw%3D%3D.

[63] https://baike.baidu.com/item/%E9%99%88%E8%A1%8C%E6%B0%B4%E5%BA%93/12520679.

[64] https://www.archives.sh.cn/datd/shdb/202209/t20220922_65642.html.

[65] https://sghexport.shobserver.com/html/baijiahao/2022/03/22/692094.html.

[66] https://www.shanghaiwater.com/xingyejujiao/1166.html.

[67] http://www.chinawater.com.cn/newscenter/slyw/201706/t20170622_485837.html.

[68] https://www.sidri.com/shy/scyyw/slsd/slgc/2024082702502357813/index.html.

[69] https://www.gov.cn/jrzg/2014-02/26/content_2622777.htm.

[70] https://wenku.baidu.com/view/5cfbd83e27fff705cc1755270722192e44365899.html?_wkts_=1745301789710&bdQuery=%E4%B8%8A%E6%B5%B7%E5%9B%9B%E5%A4%A7%E6%B0%B4%E6%BA%90%E5%9C%B0%E7%9A%84%E6%95%85%E4%BA%8B%E2%80%94%E2%80%94%E9%99%88%E8%A1%8C%E6%B0%B4%E5%BA%93%3A%E4%.

[71] https://swj.sh.gov.cn/shshyhjjcybzx-xwzx/20241120/fa9fe92c95914c39aaa82bf04e23df81.html.

[72] https://swj.sh.gov.cn/shshyhjjcybzx-xwzx/20250326/e0539d1639854431a1d755f464ceb466.html.

[73] https://swj.sh.gov.cn/shshyhjjcybzx-xwzx/20250213/c04d3e85cdce47f0ba26989ae9a2a2c3.html.

[74] https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-020-04651-6.

[75] https://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFDLAST2023&filename=ZSJS202303007&uniplatform=OVERSEA&v=R9FCTdr_rM8LnGjnMW9SUAcGjRTeVRx-Siu-QfD-w0t9PfzJtCv8PDfhnBISvv3W.

[76] https://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CPFD&dbname=CPFDLAST2024&filename=HYGC202410002078&uniplatform=OVERSEA&v=vtxoRnxg-JaoOE8AsaVO-RcIJfUJR7nTjPG3tMjUtNM007FL5Pel0j9oKuGyskaUgVqLqUHJwjhc%3d.

[77] https://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFDLAST2020&filename=BFHJ202008037&uniplatform=OVERSEA&v=5zjTm6JDLzKtb8ZZjNz1PtV9JOm8rjUER6e6XkYRega2fu2lw9PUSftom4APtdaq.

[78] https://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFDLAST2018&filename=DBAQ201803006&uniplatform=OVERSEA&v=-4O0nS-iqqZqN2lYZpUPMmsXLWddyXWPNxQ_QSXSUtSAQ6fg7XvnmnaA5y96YYHh.

[79] https://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CMFD&dbname=CMFDTEMP&filename=1024509429.nh&uniplatform=OVERSEA&v=F70X_GCD-jNpnHY-Ok1rXwFSoi0d3f99ygaUB7FFVcX1IQsI1jE1PwVpPw_cnpKdD.

[80] https://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=IPFD&dbname=IPFDLAST2015&filename=ZGCP201411001041&uniplatform=OVERSEA&v=9_o5R-30gi9FYjUT6Gn8nH1wGO7gUJ0Eg2c5sgQXWUg5I0_l6qsYMjAhgv2dJ3dw-6_KDvHCcckE%3d.

[81] http://baijiahao.baidu.com/s?id=1809252509452239916&wfr=spider&for=pc.

[82] Y. ShuQing، "Ir. Yuliang Gu and Qingcaosha coastal reservoir،" Coastal Reservoir Technology and Applications، 2022، pp. 595-598.

[83] https://sghexport.shobserver.com/html/baijiahao/2025/01/06/1491834.html.

[84] https://web.shobserver.com/sgh/detail?id=1072723.

[85] https://wenku.baidu.com/view/5c52ee86a55177232f60ddccda38376bae1fe038.html?_wkts_=1748887080497&bdQuery=%E9%9D%92%E8%8D%89%E6%B2%99%E6%B0%B4%E5%BA%93%3A%E5%9B%BD%E5%86%85%E5%A4%96%E6%9C%80%E5%A4%A7%E7%9A%84%E6%B2%B3%E5%8F%A3%E6%B1%9F%E5%BF%83%E9%81%BF%E5%.

[86] Y. Gu، "From Dujiangyan to Qingcaosha،"Sustainable Water Resource Development Using Coastal Reservoirs، 2020، pp. 85-96.

[87] https://www.andegcj.cn/NewsView.aspx?id=193.

[88] https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_1707309.

[89] https://baijiahao.baidu.com/s?id=1763776474009773868&wfr=spider&for=pc.

[90] https://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFDLAST2022&filename=HDSZ202203006&uniplatform=OVERSEA&v=8wSSZl6Yrs-oymVR-bY9i2Yg6zekSXV-P2zlNj2nZDKqeDImTVnETsiMA_JUH0jH.

[91] https://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFDLAST2021&filename=HDSZ202102006&uniplatform=OVERSEA&v=1Q8AQAHIjB5rfzJtBojvcZI7vzfHRmM3rC54ZLtZ5Pd7YoCEGp9zZXkLOYPJ0Vrk.

[92] https://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFDLAST2020&filename=SJWJ2020S1012&uniplatform=OVERSEA&v=m3bYgjw9Yq6IDkhtXXCz9h_kcPjmG_EMnKY3OjHnyddi1vykxoeEqNccFgTsA_VF.

[93] https://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFDLAST2021&filename=RMHH2020S2083&uniplatform=OVERSEA&v=Hx0TXEaM5MvnVc7t6qU74CszOM75k37uiX63NWixqrVdfgJPKuCHi6uCydZPQMWF.

[94] https://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFDLAST2024&filename=HJKZ202410021&uniplatform=OVERSEA&v=pEFb19r9rZBC2LT1lhZ1EDjYNj7HQaDmmHz3k9j4hbn6G3DgmVt-kS6eSCkyyi5d.

[95] https://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFDLAST2018&filename=SLSD201804010&uniplatform=OVERSEA&v=sH31yXlu7SDz89zsZKPVBenjCP3pEILGBxrdtV0h7DPs6fwyWxjliCddSgR-em5B.

[96] https://d.wanfangdata.com.cn/periodical/zgsxjs201802009.

[97] https://hot.online.sh.cn/content/2017-11/23/content_8687578_20.htm.

[98] https://baike.baidu.com/item/%E4%B8%9C%E9%A3%8E%E8%A5%BF%E6%B2%99%E6%B0%B4%E5%BA%93/8383566 .

[99] JIAN ZHONG YUAN & CAI E WU، "SHANGHAI COASTAL RESERVOIRS: THEIR DEVELOPMENT AND EXPERIENCE FROM THEIR DESIGN،" Hydrolink Magazine، pp. 11-14، 2018.

[100] https://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2016-05/16/content_1680423.htm.

[101] https://www.fx361.com/page/2018/0314/16037864.shtml.

[102] https://sghexport.shobserver.com/html/baijiahao/2022/03/22/692094.html.

[103] https://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFDHIS2&filename=SLGH201312014&uniplatform=OVERSEA&v=9_KpgP5AzkcH_3CWOU69s8_z0LN2OJSAahnBkCmi-wD6YjnUaohVod9axWwr3w6J.

[104] https://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFDLAST2016&filename=DBGC201603019&uniplatform=OVERSEA&v=tc43LfOMqT257GLkQ1bf9tAERilrjurErGQUDE-Zznxddv0eHrmSyBo5hOSgSWzS.

[105] https://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFDLAST2019&filename=JCYS201910025&uniplatform=OVERSEA&v=bm2eeWl29lFwwgCCyJnAHEjylPRAX0hwf_07Aw-ZejbwV5ovGH6YSy3dlzgggl5v.

[106] https://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFDLAST2020&filename=SJWJ2019S2028&uniplatform=OVERSEA&v=5WVD0L84BKQOJKr8fRhdxgC6z203SgIpKioSIw5ZxwyenUcq-uxQ4_BxcdCkOIuz.

[107] https://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFDLAST2020&filename=SSDB202005008&uniplatform=OVERSEA&v=-sI-c0hJph1P4-98e4kiqWbA6MXkI6Moik8ylpZTZc89y--YFPNpMyPpmd52iriDM.

[108] https://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFDLAST2021&filename=SJWJ2021S2063&uniplatform=OVERSEA&v=HhqxaoYA8nMFc6dPmBHEAHtLl7lPjdbMg-OjwHBIG8RnPDi7s50yHT7qbJt2E2zB.

[109] https://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFDLAST2025&filename=SXSN202503008&uniplatform=OVERSEA&v=AsLc6GOBBHKc82ZXzCktpx40kOhtqYiMTjJo9F7GdDDLgfhiFgxESCZMLmbxmYRh.

[110] https://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFD2013&filename=HDSZ201305003&uniplatform=OVERSEA&v=qEfkDE5yQpms2iQhxPkLXGR6vTyjAfXFxOrp0qWQb68uYkmmACej5aTsfbhhb3Uv.

[111] https://www.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&dbname=CJFD2012&filename=SLKI201204011&uniplatform=OVERSEA&v=QM-9HS7FYyotQ3RZIAEo0vuFTPAgHc6p6ESHGACFx9B_aAN7MCxDhmmVauEnOKZa.

[112] https://vhsagj.smartapps.baidu.com/pages/lemma/lemma?from=bottomBarShare&lemmaId=8261362&lemmaTitle=%E4%B8%8A%E6%B5%B7%E5%B8%82%E6%B0%B4%E5%8A%A1%E5%B1%80&_swebfr=1&_swebFromHost=baiduboxapp.

[113] https://www.shanghai.gov.cn/nw12344/20200814/0001-12344_53476.html.

[114] https://www.shanghai.gov.cn/gwk/search/content/b09bed5f5cea4db39eb8c00395924042.

[115] https://www.shanghai.gov.cn/gwk/search/content/6ffcf354f62c478e9699c29d5c54b622.

[116] https://www.shanghai.gov.cn/nw12344/20200813/0001-12344_58233.html.

[117] https://yangtze.tongji.edu.cn/syspt/ywjd/qcsjd.htm.

[118] https://sese.tongji.edu.cn/szdw/zjjs/fjs_fyjy_/Q/qjl/jxky.htm.

[119] https://sese.tongji.edu.cn/szdw/zjjs/fjs_fyjy_/Z/zty/jxky.htm.

[120] https://www.tongji.edu.cn/xxgk1/xxjj1.htm.

[121] https://en.tongji.edu.cn/p/#/SchoolsDepartments.

[122] http://www.shhes.org.cn/content.aspx?info_lb=28&flag=1.

[123] https://www.sjtu.edu.cn/xxjj/index.html.

[124] https://nyncw.sh.gov.cn/mtbd/20180705/0009-24707.html.

[125] https://news.sjtu.edu.cn/jdyw/20190911/110135.html.

[126] https://mbd.baidu.com/ma/s/a5ZfWHVM.

[127] http://www.yidu.edu.cn/246010/detail/article/57746979ede4fe1a8292ad69.html?org=246010&uorg=246010.

[128] https://www.hhu.edu.cn/2023/1110/c166a267944/page.htm.

[129] https://www.ecust.edu.cn/587/list.htm.

[130] https://baike.baidu.com/item/%E5%8D%8E%E4%B8%9C%E5%B8%88%E8%8C%83%E5%A4%A7%E5%AD%A6/232635.

[131] https://www.jfdaily.com/wx/detail.do?id=463974.

[132] https://geo.ecnu.edu.cn/98/18/c42576a628760/page.htm.

[133] https://sghexport.shobserver.com/html/baijiahao/2022/03/22/692094.html?sdkver=7d05c2f1.

[134] https://www.shanghai.gov.cn/nw4411/20250411/d8c7d5e2e2694e1291952bb96cdb5ff1.html.

[135] https://www.ecnu.edu.cn/info/1095/5049.htm.

[136] https://www.swea.com.cn/display.php?id=107.

[137] https://www.tsinghua.edu.cn/info/1858/74124.htm.

[138] https://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=1h1f0pu05q0906e0pf5p0pc00n198170&site=xueshu_se.

[139] http://cwrh.scu.edu.cn/info/1048/2170.htm.

[140] https://person.zju.edu.cn/he/0.html.

[141] https://zihuan.cau.edu.cn/art/2020/10/11/art_24819_710283.html.

[142] https://english.nhri.cn/col/col343/index.html.

[143] http://www.sklec.ecnu.edu.cn/AboutUs/AboutUs.

[144] http://english.sklec.ecnu.edu.cn/node/5473.

[145] https://mbd.baidu.com/ma/s/HaINBOrN.

[146] http://www.sklec.ecnu.edu.cn/node/6924.

[147] https://minipro.baidu.com/ma/qrcode/parser?app_key=AZQtr4jkpf90T3X-9QMWVLF1bkeV4LXxD&launchid=a212d8f9-bc7c-4386-9bd8-f47306d746a2&path=/pages/lemma/lemma?lemmaTitle=%E6%B2%88%E7%84%95%E5%BA%AD&lemmaId=8347304&from=bottomBarShare&_swebFromHost=ba.

[148] http://www.sklec.ecnu.edu.cn/Staff/ZhuJianRong.

[149] https://minipro.baidu.com/ma/qrcode/parser?app_key=AZQtr4jkpf90T3X-9QMWVLF1bkeV4LXxD&launchid=24ed082f-ce7a-493c-9709-61926b78146c&path=/pages/lemma/lemma?lemmaTitle=%E6%9C%B1%E5%BB%BA%E8%8D%A3&lemmaId=10997539&from=bottomBarShare&_swebFromHost=b.

[150] http://www.chinawater.com.cn/newscenter/slyw/201706/t20170622_485837.html.

[151] https://www.sidri.com/shy/gywm11/gsjj6596/index.html.

[152] https://mbd.baidu.com/ma/s/1UA3Osab.

[153] https://green-energy.shiep.edu.cn/2f/e6/c113a12262/page.htm.

[154] https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzIzNzcxODM5Mg==&mid=2247718823&idx=1&sn=106669eb548b255687511be157c73ef1&chksm=e95a444db9dc99c0a7bd012084150c7ca395e824ebc28e45d1ab44ad39f05a0b7a5aa0769b2f&scene=27.

[155] https://emba.sjtu.edu.cn/news/alumni/ZHEMBA3807.html.

[156] https://mbd.baidu.com/ma/s/y4bG176Q.

[157] http://www.cggcrb.ceec.net.cn/col/col12808/index.html.

[158] http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2588124/c4058277/content.html.

[159] https://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2014-12/22/content_1513959.htm.

[160] https://www.cccc-sdc.com/channels/2201.html.

[161] http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2588124/c4195397/content.html.

[162] http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2588124/c4155538/content.html.

[163] http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2588124/c4238444/content.html.

[164] https://shcc.cccc-sdc.com/channels/980.html.

[165] https://www.bidcenter.com.cn/newscontent-6553609-4.html.

[166] https://www.sneb.com.cn/col12/index.

[167] http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2588124/c4033414/content.html.

[168] https://www.swea.com.cn/display.php?id=1760.

[169] https://www.shuiligroup.com/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=19&id=4.

[170] https://www.shuiligroup.com/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=19&id=5.

[171] https://www.shuiligroup.com/index.php?m=content&c=index&a=lists&catid=2.

[172] https://en.stecol.cn/col7092/art/2018/art_7092_236328.html.

[173] http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2588124/c4009775/content.html.

[174] http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2588124/c4015836/content.html.

[175] http://www.mcc.com.cn/xwzx_7388/ywjj/200908/t20090805_491565.html.

[176] http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2588124/c4032641/content.html.

[177] https://www.lycg.com.cn/info_26.aspx?itemid=2199.

[178] https://www.bidcenter.com.cn/newscontent-308628413-4.html.

[179] http://sh.people.com.cn/n2/2025/0320/c134768-41170066.html.

[180] https://www.shggzy.com/jyxxgcgs/740007?cExt=&isIndex=y.

[181] https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzIyMDI3ODMzMw==&mid=2247512206&idx=2&sn=446c131c40dcecff4b0a274b2b890b47&chksm=97cc8bdca0bb02cae5916ce7a6571ee27ee895764619d21f0b4ebf5c26362888f422973d2c96&scene=27.

[182] https://www.yfbzb.com/winbid/detail/20250529_510823868.html.

[183] http://www.cnzhaobiao.cn/news/detail/id/78781.html.

[184] S.-q. Yang، "Application of coastal reservoirs in China and its feasibility،" Journal of Sustainable Urbanization, Planning and Progress، vol.2، 2017 pp. 27-33،

[185] Y. ShuQing، Coastal Reservoir Technology and Applications، Amsterdam، Elsevier 2022،

[186] https://scholars.uow.edu.au/shuqing-yang.

[187] https://iwa-network.org/news/specialist-group-sustainable-coastal-and-estuarine-development/.

[188] https://civilica.com/doc/1963910/.

[189] https://baike.baidu.com/item/%E6%B0%B4%E5%8A%9B%E5%86%B2%E5%A1%AB/54263234.

[190] https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/shield-tunneling.

[191] https://www.gd.gov.cn/zwgk/wjk/zcfgk/content/post_2520679.html.

[192] http://www.jiangmen.gov.cn/gzhd/zhzw/content/post_2935267.html.





مؤسسه پویندگان توسعه فناوری و نوآوری ایرانیان