


A Review on the Salinity Management of Coastal Reservoirs to Store Flood Drained into Sea

Mojtaba Karimaei Tabarestani^{1*} and Hesam Fouladfar²

1- Assistant Professor of Water and Hydraulic Structure Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Lavizan, Tehran, Iran.

2- PhD in Water Engineering, Director of River and Coastal Engineering Unit, Iran Water and Power Resources Development Company, Elahieh, Tehran, Iran.

* karimaei@sru.ac.ir

Received: 17 August 2021, Accepted: 19 September 2021  J. Hydraul. Homepage: www.jhyd.iha.ir

Abstract

Introduction: The importance of providing fresh water as one of the principles of achieving sustainable development is not hidden to anyone. Unfortunately, in many developing countries such as Iran, access to fresh water is associated with many problems. The water in aquifers, which supply water to one-third of the world population, is being consumed more than nature can recover them. On the other hand, almost all the large surface water storage dams were built in gorgeous sites. Despite spending a lot of money and innovations in the construction of surface reservoirs, according to the UN surveys, more than one billion people currently suffer the lack of adequate and clean drinking water. Therefore, water shortage will become one of the main constraints on economic development in the near future.

In the recent years, population growth and rapid economic development have exacerbated the problem of water shortage, especially in the coastal areas, to the point that meeting freshwater demand has become a serious challenge for coastal communities. A coastal reservoir is defined as a water storage structure constructed at river estuary or other coastal area to store fresh water and control water resources. One of the obvious advantages of the coastal reservoirs is providing the additional fresh water storage capacity for water supply networks. In areas under water stress, coastal reservoirs, which are often the basis of local economic development, can help reduce water scarcity. Many coastal reservoirs have been developed in China, South Korea, Hong Kong and Singapore. Despite the importance of the coastal reservoirs, there is a little scientific research on these structure in the authorities and many issues in this regard have not yet been resolved. In the present review study, the most important issues and problems related to these structures are presented. Finally, different new topics for future studies are presented.

Methodology: Accordingly, while introducing coastal reservoirs, their advantages and disadvantages and the appropriate potential in Iran were discussed. In the following, the studies performed on the reservoir dynamics and the mechanism of salinity transfer and diffusion, were mentioned. The most important concern about the performance of this method of water supply is the control of salinity entry into the reservoir, which requires the adoption of the special measures in the reservoir operation policies. In the study of different authorities, while introducing this important challenge in the two periods of washing and operation parts, 6 boundary conditions controlling the performance of the reservoir were

presented. These boundaries are water level, side, intertidal zone, inlet rivers, reservoir bed and dam. Also, the factors affecting hydrodynamics and salinity transfer in coastal reservoirs such as meteorological conditions, sediment and intertidal zone, upstream rivers, saltwater-freshwater mixing rate, seawater leakage, exchange between coastal reservoir and groundwater, coastal reservoir and lateral side groundwater, coastal reservoir and underlying groundwater, coastal reservoir and submarine groundwater and finally subsidiary functions of coastal reservoirs were investigated. Then, special attention was paid to salinity as the main factor affecting water quality in the reservoirs and studies on the salinity transfer in the coastal reservoirs or wetlands in three parts: desalination, salinization or seawater infiltration and numerical simulation. Finally, the titles of new projects that could be done by researchers in the future were introduced.

Results and discussion: Coastal reservoirs enable the storage of excess river flood waters near the coast for future use in areas known to be drought-prone or at those times of the year when water supplies become scarce. Construction of a coastal reservoir does not involve many risk factors and disadvantages like relocation which would be there in inland dam construction. The construction of coastal reservoirs in Iran, especially the southern coasts can solve the problem of water shortage in in these areas. On the other hand, it seems that due to the problems of building inland reservoirs such as suitable topography in some southern part of the country, the use of these reservoirs is the only solution.

Conclusion: Coastal reservoirs need to be rationally utilized. In the present study, with considering different findings from previous studies, several avenues for future research on the coastal reservoirs were presented. Hydrodynamics of reservoir water and adjacent groundwater, especially the hydrodynamics near the six boundaries as discussed in this paper. Methods of washing the salty water and sediment, morphological changes and coastal sedimentation at the vicinity of coastal reservoirs, Sediment transport in the reservoir, Operation of sluices and the influence of dams, Integrated three-dimensional models of water in the reservoir, access channel, groundwater and river and Transfer of contaminants such as heavy metals into the reservoir are some important topics which should be considered in future researches.

Keywords: Coastal reservoir, Water supply, Salinity infiltration, Desalination, Review study.



© 2022 Iranian Hydraulic Association, Tehran, Iran.
This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)
(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

مطالعه مروری بر روی مدیریت شوری مخزن‌های ساحلی با هدف ذخیره‌سازی سیلاب‌های تخلیه شده به دریا

مجتبی کریمائی طبرستانی^۱ و حسام فولادفر^۲

۱- استادیار گروه ژئوتکنیک و آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، لویزان، تهران، ایران
۲- دکترای مهندسی آب، مدیر بخش مهندسی رودخانه و سواحل، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، الهیه، تهران، ایران

* karimaei@sru.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۶، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۸، وب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

چکیده: مخزن‌های ساحلی که با هدف ذخیره سیلاب‌های کنترل نشده در مجاورت مصب یک رودخانه ساخته می‌شوند، می‌توانند به عنوان زیربنای توسعه در مناطق ساحلی مطرح باشند. این مخزن‌ها ابتدا در مصب رودخانه‌ها احداث می‌شدند ولی به تدریج با توجه به ملاحظات محیط زیستی به نزدیکی مصب رودخانه انتقال یافتند. علیرغم اهمیت این سازه‌ها و گسترش روزافزون استفاده از آنها در دنیا، در کشور ما از سه سال گذشته مورد توجه مدیران حوزه آب قرار گرفته و خوشبختانه مطالعات و تحقیقاتی در سواحل شمال و جنوب کشور در حال انجام است. اگر چه استفاده از این تکنولوژی از سرعت و گستردگی قابل قبولی برخوردار نیست ولیکن هنوز به سوالات و ابهامات زیادی باید پاسخ داده شود. بر این اساس در تحقیق حاضر یک مطالعه مروری بر روی تحقیقات ارائه شده بر روی مخزن‌های ساحلی انجام شد. مطالب این مقاله در چند بخش شامل معرفی مخزن‌های ساحلی، معایب و مزایای استفاده از آنها و همچنین دینامیک جریان و انتقال شوری در این مخازن ارائه می‌شود. دو چالش مهم مرتبط با بهره‌برداری از یک مخزن ساحلی، نمک‌زدایی از آب مخزن و نفوذ آب دریا است که در تحقیق حاضر با جزئیات بیشتری به آنها پرداخته می‌شود. در ادامه به مطالعات مختلف انجام شده بر روی انتقال شوری در مخزن‌های ساحلی تحت تاثیر عوامل مختلف مانند جریان آب‌های زیرزمینی، جریان‌های ورودی رودخانه‌های متصل به مخزن، تراز سطح آب مخزن و غیره اشاره می‌شود. در نهایت با توجه به نتایج حاصل از تحقیقات گذشته، عناوین تحقیقاتی جدیدی برای آینده معرفی می‌شوند.

کلیدواژگان: مخزن ساحلی، تامین آب، نفوذ شوری، نمک‌زدایی، مطالعه مروری.

۱- مقدمه

بردارند. از سویی آنچه در شرایط کنونی جهان مشاهده می‌شود این است که در بسیاری از کشورهای در حال توسعه چون ایران، دسترسی به آب شیرین با چالش‌های زیادی همراه است. آب موجود در سفره‌های زیرزمینی که آب یک سوم جمعیت جهان را تأمین می‌کند (Yang and Lin, 2011)، بیش از آنکه طبیعت توان بازیابی آن را داشته باشد، در حال مصرف است. از سویی دیگر، تا حدودی همه مخزن‌ها سطحی بزرگ ذخیره آب در مکان‌های مناسب ساخته شدند. بدون این مخزن‌ها، گسترش شهرنشینی کنونی ناممکن می‌نمود و بحران آب

اهمیت تامین آب سالم و بهداشتی به عنوان یکی از اصول رسیدن به توسعه پایدار بر هیچ کسی پوشیده نیست. سازمان ملل متحد در ارائه هدف‌های توسعه پایدار خود که در سال ۲۰۱۵ ارائه شد و مورد توافق سران کشورها قرار گرفت، در چند بخش به مقوله آب توجه کرده است. در هدف ششم این سند با عنوان آب سالم و بهداشت^۱ به طور مستقیم به این موضوع اشاره شد و سران کشورها توافق کردند تا گام‌های مهمی در رسیدن به این هدف

1 SDG 6: Clean water and Sanitation

تحقیقاتی مختلفی که لازم است در آینده توجه و انجام گیرد، اشاره می‌شود.

۲- مفهوم مخزن ساحلی

مخزن ساحلی سازه‌ای است که در مصب رودخانه یا در مجاورت آن ساخته می‌شود تا بخشی از آب اضافی رودخانه را در زمان سیلابی ذخیره کند. این سازه دریایی ممکن است در مصب یک رودخانه اجرا شود (نسل اول) و یا کیلومترها در خط ساحلی (نسل دوم) اجرا شود (Kolathayar et al., 2019). ورودی و خروجی مخزن با کمک دریچه‌های مختلف به گونه‌ای تنظیم می‌شود تا تنها آب با کیفیت خوب در زمان‌های مختلف وارد مخزن شده و ضمن بهبود کیفیت آب موجود، در زمان‌های کم-آبی از آن استفاده شود. می‌توان با استفاده از یک شبکه حسگر هوشمند، طرح‌های نوآورانه‌ای را برای بهره‌برداری کارآمد از این مخزن‌ها در نظر گرفت. شکل ۱ شمای کلی یک مخزن ساحلی را نشان می‌دهد که ذخیره آب شیرین را در هنگام طغیان رودخانه امکان‌پذیر می‌کند. مخزن آب شیرین شامل دیواره دریایی (از نوع خاکی یا بتنی) نفوذ ناپذیر برای مهار آب شیرین و جلوگیری از اختلاط آن با آب دریاست. این مخزن‌ها به طور معمول در آب‌های کم‌عمق و عمق میانگین ۱۰ تا ۲۰ متر و عمیق بیشینه ۳۰ متر ساخته می‌شوند. (Yang, 2010)

Yang and Lin (2011) فناوری نوین ساخت مخزن ساحلی را با استفاده از سدهای انعطاف‌پذیر معرفی کردند. این محققان مسئله اصلی این مخزن‌ها را کاهش کیفیت آب در طول دوره بهره‌برداری به علت نفوذ جریان شور دریا می‌دانند که با این فناوری قابل حل است. شکل ۲ طرح مفهومی از روش ساخت این نوع از مخزن را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل بازدارنده اول یا سد اصلی شامل یک سازه نفوذناپذیر است که باید در مقابل نیروی امواج دریا مقاومت کند. بازدارنده دوم یا سد انعطاف‌پذیر شامل یک پرده لاستیکی است که آب لب‌شور را ما بین آب شیرین مخزن و آب شور دریا محبوس می‌کند. به این ترتیب با تنظیم سطح آب ناحیه لب شور به کمک پمپاژ آب از مخزن و ایجاد هد فشار آب مناسب، می‌توان از نفوذ

باید سال‌ها پیش ظاهر می‌شد. با وجود صرف هزینه‌ها و نوآوری‌های زیاد در عرصه ساخت مخزن‌ها سطحی، بنا بر بررسی‌های سازمان ملل، بیش از یک میلیارد نفر در حال حاضر بدون دسترسی به آب آشامیدنی کافی و تمیز هستند و برآورد می‌شود که دو سوم از ۷/۲ میلیارد نفر در جهان در سال ۲۰۲۵ در شرایط تنش آبی قرار خواهند گرفت (Yang, 2010). از طرفی بعد از سال ۲۰۰۰ شمار کمی سد بزرگ در جهان ساخته شده است زیرا کشورها به مسئله‌های ساخت سدهای بزرگ مخزنی مانند جابه‌جایی مردم و چالش‌های مربوط به رسوبگذاری در مخزن آگاه شدند (Yang, 2010). بنابراین، کمبود آب در آینده نزدیک به یکی از اصلی‌ترین محدودیت‌های توسعه اقتصادی کشورها تبدیل خواهد شد.

با رشد اقتصادی و جمعیتی، کلان شهرهای پیشرفته و امروزی به تدریج در منطقه‌های ساحلی ظاهر می‌شوند. توسعه سریع اقتصادی در این منطقه‌ها، مسئله کمبود آب را تشدید کرده است (Herrera-Leon et al., 2018). این وضعیت با پراکنش نامنظم مکانی و زمانی منابع‌های آب شیرین در این منطقه‌ها پیچیده‌تر می‌شود. میزان رواناب (یا سیلاب) که در میان دشت‌های ساحلی جاری است، به طور معمول زیاد است، اما شبکه رودخانه‌ای ظرفیت کمی برای حفظ این منبع آب شیرین دارد (Ge, 2012). از برتری‌های بارز مخزن‌ها ساحلی، تأمین ظرفیت اضافی ذخیره آب شیرین برای شبکه‌های آبرسانی است (Xu, 2001). در منطقه‌های تحت تنش‌های آبی، مخزن‌های ساحلی که اغلب زیربنای توسعه اقتصادی محلی است، می‌توانند به کاهش کمبود آب کمک کنند (Li and Chen, 2005). بسیاری از مخزن‌های ساحلی در چین، کره جنوبی، هنگ‌کنگ و سنگاپور ساخته شده‌اند (Yuan et al., 2007).

به‌رغم اهمیت مخزن‌ها ساحلی، تحقیقات ناچیزی در مورد این موضوع در مرجع‌ها وجود دارد و هنوز مسئله‌های پیچیده زیادی در این رابطه برطرف نشده است. در این تحقیق و ارزیابی مروری سعی شد به مهم‌ترین مسئله‌ها و نارسایی‌های مربوط به این مخزن‌ها با توجه به تحقیقات انجام شده، اشاره شود. در نهایت نیز به زمینه‌های

Kolathayar et al. (2019) به جنبه‌های مثبت و منفی مخزن‌های ساحلی در مقایسه با دیگر راه‌حل‌ها برای تأمین آب اشاره کردند. با توجه به موارد اشاره شده توسط محققان مختلف، در ادامه به هر یک به صورت جداگانه اشاره می‌شود.

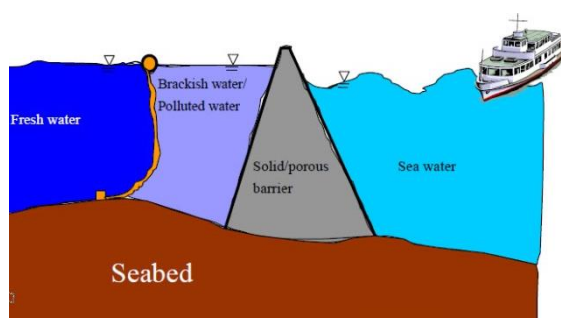


Fig. 2 Typical cross section of a coastal reservoir (Yang and Lin, 2011)

شکل ۲ مقطع جدید یک مخزن ساحلی (Yang and Lin, 2011)



Fig. 3 Coastal reservoirs of Baogang (1) and Chenhang (2) (Yang et al., 2013)

شکل ۳ مخزن‌های ساحلی بائوگانگ (۱) و چنهانگ (۲)
(Yang et al., 2013)

۳-۱- برتری‌ها

مخزن ساحلی می‌تواند تأمین آب را در با صرفه‌ترین روش ممکن نسبت به روش‌های دیگر تضمین کند. برخلاف سدهای مخزنی، رویدادهای طبیعی مانند سیلاب و زلزله تهدیدی بر پایداری این مخزن‌ها نیستند. البته به نظر می‌رسد سونامی‌ها و طوفان‌های استوایی (حاره‌ای) می‌تواند موجب روگذری آب دریا شود که به این موضوع تاکنون در مرجع‌ها اشاره‌ای نشده است. این مخزن‌ها دارای توان بالقوه (پتانسیل) بالایی برای توسعه صنعتی و اقتصادی ساحل‌ها نظیر صنعت ماهیگیری هستند. ساخت این مخزن‌ها نیازمند انحراف مسیر رودخانه و آبگرفتگی زمین‌های مرغوب جنگلی یا آوارگی مردم نیست. به کمک

آب شور به مخزن ساحلی جلوگیری کرد. متأسفانه بعضی از مخزن‌های ساحلی موجود مانند مخزن ساحلی Sihwa، در کشور کره جنوبی که با استفاده از فناوری قدیمی‌تر یعنی ساخت تنها یک سد احداث شدند، نتوانستند کارایی مناسبی داشته باشند که بنابر پیشنهاد این محققان با استفاده از سدهای انعطاف‌پذیر می‌توان از رخداد مسئله‌های همانند جلوگیری کرد. (Yang et al. (2013) اشاره می‌کنند که می‌توان مخزن‌های ساحلی مختلف را به صورت ردیفی در کنار هم احداث کرد و به این ترتیب بر مبنای کیفیت آب خروجی از هر مخزن اقدام به تأمین نیازهای مختلف مانند آب خانگی، کشاورزی و صنعت کرد. به عنوان مثال، مخزن چنهانگ^۱، که در مصب رودخانه یانگ‌تسه چین واقع شده است، به طور عمده آب آشامیدنی منطقه‌های شمالی شهر شانگهای چین را تأمین می‌کند و مخزن بائوگانگ^۲، که در دهانه رودخانه یانگ‌تسه چین واقع شده است، نقش مهمی در تأمین آب صنعت یک کارخانه فولاد ایفا می‌کند (شکل ۳).

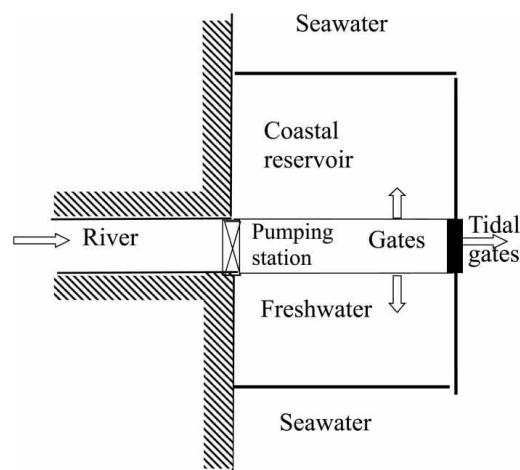


Fig. 1 Schematic of a coastal reservoir that enables storage of freshwater during river floods. (Yang, 2010)
شکل ۱ شمای کلی یک مخزن ساحلی برای ذخیره آب رودخانه در زمان‌های سیلابی (Yang, 2010)

۳-۲ برتری‌ها و کاستی‌های مخزن‌های ساحلی

محققان مختلفی به برتری‌ها و کاستی‌های مخزن‌های ساحلی در مقایسه با روش‌های دیگر ذخیره آب اشاره کردند. همان‌گونه که در جدول ۱ مشخص است،

1 Chenhang
2 Baogang

دریابی شود. ممکن است تجهیزات موجود شیلات در منطقه تحت تأثیر قرار گیرد. جلوگیری از نفوذ آب شور به مخزن می‌تواند چالش برانگیز باشد که می‌توان این کار را با مدیریت بهینه مخزن انجام داد. مجوزهای اداری و زیست‌محیطی از نهادهای قانونی مختلف چالش دیگریست. با توجه به جدید بودن این روش، ممکن است مقاومت فعالان محیط زیست، مقام‌های سیاسی و اتحادیه‌های محلی وجود داشته باشد که باید با آگاهی مناسب از کارکرد مخزن ساحلی بر اساس منطق علمی، این موارد رفع شود.

بررسی‌های مهم دیگری نیز در زمینه اهمیت مخزن‌های ساحلی انجام شده است که در ادامه به آنها به صورت جداگانه اشاره می‌شود. (Sitharam (2017) ضمن اشاره به قابلیت بالای مخزن‌های ساحلی نسبت به سدهای مخزنی، یک تحلیل اقتصادی با توجه به هزینه‌های کار، مواد و اجرا در کشور هند بر روی روش‌های مختلف شامل مخزن‌های ساحلی، سدهای مخزنی و سامانه‌های آب‌شیرین‌کن انجام داد. همان‌گونه که در جدول ۲ مشخص است، هزینه‌های ساخت سازه و تمام شده آب یک مخزن ساحلی بر حسب روپیه (Rs) به مراتب کمتر از روش‌های دیگر است.

Yang (2018) با بررسی روند ساخت سدهای مخزنی در جهان به این نتیجه رسید که این موضوع از سال ۲۰۱۰ به بعد با افول شدیدی همراه شده است که علت آن نبود توپوگرافی مناسب برای ساخت سد مخزنی، اثرگذاری‌های زیست‌محیطی و اجتماعی شدید و مخالفت‌های اتحادیه‌های مدنی می‌باشد. از سویی این محقق با برآورد طول عمر سد برابر با ۱۵۰ سال (با توجه به رسوبگذاری مخزن و عمر مفید مصالح ساخت) به این نتیجه رسید که تا سال ۲۱۵۰ میلادی دیگر سد مخزنی در جهان برای تامین آب شرب باقی نمی‌ماند و یکی از راه‌حل‌های برطرف کردن این مسئله بحرانی را مخزن‌های ساحلی می‌داند.

(Kolathayar et al. (2019) به یک ابرپروژه در دست بررسی که اثرگذاری‌های گسترده‌ای بر مدیریت آب در کشور هند دارد، اشاره می‌کنند. بر مبنای این طرح، مخزن‌های ساحلی مختلف در محل خروجی رودخانه‌های

این مخزن‌ها می‌توان فعالیت‌های کشاورزی در نزدیکی ساحل‌ها را افزایش داد و مردم را در برابر قحطی و گرسنگی بیمه کرد. می‌توان از صفحه‌های خورشیدی بر روی دیواره‌های مخزن و همچنین از صفحه‌های خورشیدی شناور بر روی آب به نسبت کم‌عمق مخزن ساحلی استفاده کرد و به خودکفایی انرژی در مخزن رسید. همچنین استفاده از توان بالقوه و ظرفیت‌های (پتانسیل) جزر و مد و باد گزینه‌های اضافی برای تولید انرژی در امتداد مخزن ساحلی هستند. از این انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توان برای پمپاژ، روشنایی و دیگر انرژی‌های مورد نیاز استفاده کرد. مخزن‌های ساحلی فرصتی برای ارتقای ورزش‌های آبی و گردشگری در منطقه ایجاد می‌کنند. لایروبی کف مخزن به ویژه در محل اتصال جریان رودخانه به مخزن مصالح مناسب برای ساخت و ساز را فراهم می‌کند. در پیرامون مخزن فعالیت‌های صنعتی، تفریحی و ماهیگیری افزایش خواهد یافت. ساخت جاده‌های دسترسی، ماهیگیری آب شیرین، ناوبری و گردشگری باعث می‌شود جایگاه (سایت) مخزن به عنوان یک شهر هوشمند توسعه یابد. وجود مخزن ساحلی زمینه را برای بهبود کیفیت آب‌های زیرزمینی (آب شور به آب شیرین) نزدیک ساحل فراهم می‌کند.

به طور خلاصه، مخزن ساحلی این توان بالقوه و ظرفیت را دارد که یک منطقه ساحلی فراموش شده و آلوده را به یک زیست‌بوم با آب شیرین پایدار تبدیل کند و دارای انرژی خودکفا برای بالا بردن سطح زندگی مردم به همراه تأمین آب شیرین برای همه باشد. مخزن ساحلی مکمل رابطه انرژی آب و غذا خواهد بود زیرا ذخیره آب شیرین را برای آشامیدن و همچنین آبیاری همراه با فرصت‌های کافی برای تولید انرژی تجدیدپذیر آسانگری می‌کند.

۳-۲- کاستی‌ها

اگرچه برتری‌های مرتبط با یک مخزن ساحلی زیاد است، ولی ساخت یک مخزن ساحلی با چالش‌هایی نیز روبه‌رو خواهد شد که باید به روشی مناسب و پایدار رفع شود. ساخت مخزن ساحلی ممکن است منجر به آسیب‌پذیری احتمالی زیست‌بوم‌های ساحلی، از جمله محیط‌زیست

جدول ۱ جنبه‌های مثبت و منفی مخزن‌های ساحلی نسبت به دیگر روش‌های ذخیره آب

Table 1 Pros and cons of different water supply solutions compared with coastal reservoirs (Kolathayar et al., 2019)

Water supply	Pros.	Cons.
Conventional dams	1) Mature technology	1) Limited lifecycle 2) Devastating environmental impact 3) Far from demand – high cost for pipes 4) Ineffective water harvesting
Desalination plant	1) Unlimited water from the sea 2) Ideal for no or very limited rain	1) limited lifestyle 2) Requires enormous amount of energy 3) Large amount of waste (salt) 4) Very expensive
Storm water harvesting	1) Low-cost water harvesting 2) Long lifestyle	1) Land conversion 2) Limited storage capabilities 3) Redundant during drought
Waste water reuse	1) Low-cost water harvesting 2) Long lifestyle 3) Consistent supply	1) Not suitable for human consumption 2) Limited maximum output 3) Expensive
Groundwater	1) High chances of quality water 2) Low-cost water harvesting	1) Ground water depletion 2) Sinking of land 3) Intrusion of salt water 4) Exposed to contamination
Coastal reservoirs	1) No land acquisition 2) Cost effective 3) Sustainable 4) Effective method to harvest water 5) Multi-functional 6) Harvest of energy 7) Free of risk like dam breaching 8) Recreational and urban regeneration 9) New cities would be created	1) Transportation of water can be costly to towns 2) Proper care needs to be taken to allow fish breeding in rivers 3) Regular desilting required 4) Issue of environmental clearance

جدول ۲ هزینه تامین آب و هزینه ساخت یک مخزن ساحلی در مقایسه با روش‌های دیگر

Table 2 Cost of water and cost of construction (Kolathayar et al., 2019)

Water supply	Cost per kiloliter of water	Cost of construction / Billion Cubic Meter
Sea based reservoirs	Rs 2-10 (sea level)	Rs 20,000 Million
Inland reservoirs	Rs 30-100 (above the sea level)	Rs 100,000 Millions
Desalination	Rs 60-80 (sea level)	Rs 80,000 Millions

در قاره آسیا برخوردار است. از مجموع حدود ۵۸۰۰ کیلومتر طول ساحل‌های کشور، حدود ۸۹۰ کیلومتر در شمال و مابقی ۴۹۱۰ کیلومتر در جنوب واقع است. وجود این ساحل‌های طولانی می‌تواند فرصت‌های اقتصادی مناسبی را در اختیار ۷ استان ساحلی و کل کشور قرار دهد. این در حالی است که عقب‌افتادگی زیادی به طور عمده ناشی از کمبود زیرساخت‌ها مانند دسترسی به آب آشامیدنی و بهداشتی در این منطقه‌ها به خصوص ساحل‌های جنوبی کشور وجود دارد (Naseri and Najafi, 2019). از سوی بخش زیادی از رواناب‌های حاصل از بارش در این منطقه‌ها بدون هیچ‌گونه استفاده وارد دریا می‌شود. فولادفر که از سال ۲۰۱۷ به انتقال و ترویج

بزرگ این کشور به اقیانوس به همراه آبراهه‌های ارتباطی مابین احداث می‌شود. هدف اصلی توسعه منطقه‌های ساحلی کشور هند از طریق تامین آب آشامیدنی، کشاورزی و صنعتی است. پیش‌بینی می‌شود با ساخت این مخزن‌ها، فعالیت‌های گسترده صنعتی تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری از ساحل توسعه یابد.

۴- توان بالقوه ساخت مخزن ساحلی در کشور

کشور ایران با گستره‌ی بیش از ۱/۶ میلیون کیلومتر مربع به دلیل دسترسی به دریای خزر در شمال و دریای عمان و خلیج فارس در جنوب دارای موقعیت جغرافیایی خاصی

۵- چالش‌های مدیریت مخزن‌های ساحلی

چالش‌های مختلفی بر روی مدیریت مخزن‌های ساحلی وجود دارد. از آن جمله می‌توان به ورود آلاینده‌های رودخانه‌ای به مخزن و ضرورت پایش برخط آن‌ها در بالادست رودخانه، در دسترس نبودن همیشگی آب مناسب ورودی به مخزن و فصلی بودن رودخانه‌ها، مدیریت رسوب ورودی به مخزن‌ها، مدیریت بهره‌برداری و غیره.

از اصلی‌ترین این چالش‌ها در مدیریت مخزن‌های ساحلی، شیرین‌سازی آب مخزن در دوره آب‌شویی و نمک‌زدایی، جلوگیری از نفوذ شوری به مخزن از طرف دریا است. در مخزن‌های ساحلی، سازوکار انتقال شوری طی دو مرحله آب‌شویی و بهره‌برداری مخزن‌ها متفاوت است. بنابر نظر Jin et al. (2019) به طور کلی دو مرحله اصلی در مدیریت انتقال شوری در یک مخزن ساحلی وجود دارد که در شکل ۴ مشخص است: (۱) بدون فاصله پس از ساخت و قبل از آغاز بهره‌برداری، شیرین‌سازی آب مخزن بسیار ضروری است (شکل ۴-A). (۲) در طول دوره بهره‌برداری از مخزن در شرایط عادی (نرمال)، تهدید نفوذ آب دریا به مخزن پدیده غالب است (شکل ۴-B). هر دو فرایند شیرین‌سازی و جلوگیری از نفوذ آب شور اگر به‌درستی مدیریت نشوند، می‌تواند تأثیر چشمگیری بر کاهش بهره‌بری یک مخزن ساحلی بگذارد.

۵-۱- شیرین‌سازی آب مخزن در دوره آب‌شویی و نمک‌زدایی (پیش از بهره‌برداری)

شیرین‌سازی آب مخزن فرآیندی مهم در آغاز بهره‌برداری از یک مخزن ساحلی است. پس از مرحله ساخت، یک مخزن ساحلی حاوی آب دریاست. افزون بر این، رسوب بستر مخزن می‌تواند شوری بالایی داشته باشد (Jiang and Pei, 2007). همان‌طور که در شکل ۴-A مشخص است، در مرحله‌های آغازین بهره‌برداری و به عبارت بهتر، در مرحله آب‌شویی و نمک‌زدایی از یک مخزن ساحلی، نمک انباشته شده در رسوب‌ها می‌تواند به سرعت به آب مخزن نفوذ کند که نتیجه آن افزایش شایان توجه شوری آب مخزن می‌باشد. متداول‌ترین روش‌ها برای شیرین‌سازی آب در مخزن‌های ساحلی شامل تخلیه آب شور به کمک

فناوری مخزن‌های ساحلی در کشور اهتمام داشته است، مجموعه‌ای از بررسی‌های ظرفیت‌سنجی رودخانه‌های منتهی به دریاها جنوب و شمال کشور انجام داد که مستندات آن در مرکز اسناد شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران موجود است (Fouladfar, 2017). بر پایه این مستندهای در حوضه آبخیز خلیج فارس و دریای عمان با گستره زهکشی معادل 424515 km^2 و میانگین بارش سالیانه 134 میلی‌متر در چابهار تا 1457 میلی‌متر در کوهرنگ، سالیانه در حدود $4/5$ تا 6 میلیارد متر مکعب رواناب به خلیج فارس و دریای عمان تخلیه می‌شود. در حوضه آبخیز دریای خزر نیز با وسعت زهکشی معادل 58253 km^2 و دامنه تغییرپذیری‌های بارندگی از کمینه $260/5$ میلی‌متر در بجنورد تا بیشینه 1863 میلی‌متر در بندر انزلی سالیانه حدود $6/8$ میلیارد مترمکعب رواناب به دریای خزر تخلیه می‌شود. به این ترتیب بدون زمینه‌های مهار و تنظیم کافی رواناب‌ها، هر ساله حجم شایان توجهی آب شیرین و با کیفیت از دسترس خارج شده و به دریا سرازیر می‌شود. مسئله دیگر پراکنش زمانی نامناسب بارش‌های کشور است به گونه‌ای که به دلیل ناکافی بودن بارش‌های بهنگام و نیازهای آبی موجود و آبی ناچار به احداث و توسعه به منظور مهار و تنظیم منابع‌های آب خروجی به دریا خواهیم بود. با توجه به مسئله‌های مطرح شده ساخت مخزن‌های ساحلی در ساحل‌های کشور می‌تواند مطرح باشد و به این ترتیب مشکل کمبود آب در مناطق کم‌آب کشور تا حدی حل شود. همچنین می‌توان با استفاده از آب موجود در این مخزن‌ها و انتقال آنها به سامانه‌های آب‌شیرین‌کن، هزینه تمام شده آب سالم و بهداشتی را کاهش داد. از طرفی به نظر می‌رسد با توجه به مشکلات ساخت سدهای مخزنی نظیر توپوگرافی مناسب در بعضی از منطقه‌های جنوبی استان سیستان و بلوچستان، استفاده از این مخزن‌ها تنها راه توسعه و پیشرفت در این منطقه‌ها باشد. منطقه‌هایی که مسئله تامین آب در آنها تا حدی جدی است که تلاش برای دسترسی به آب ژرف در عمق‌های بسیار زیاد درون زمین و با صرف هزینه‌های زیاد در حال انجام است.

۶- شرایط مرزی جریان و شوری در مخزن

در شکل ۵ فرآیندهای پویا مربوط به مخزن‌های ساحلی نشان داده شده است. به طور معمول، مخزن‌های ساحلی توسط شش مرز محصور می‌شوند که هر مرز تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد (Jin et al., 2019) مانند: (۱) مرز سطح آب، که در آن عامل‌های مهم تأثیرگذار بر شوری شامل بارش و تبخیر است و (۲) مرزهای جانبی، که به طور عمده از تفاوت بین آب مخزن و سطح آب زیرزمینی تحت تأثیر قرار می‌گیرند. این تفاوت‌ها تحت تأثیر شار آب‌های زیرزمینی، جزر و مد، بارش و تبخیر قرار دارد. در شرایط معمول بدون حضور مخزن ساحلی و ...، سطح آب زیرزمینی (در خشکی) بالاتر از سطح دریا است (با اعمال محاسبه‌های مربوط به اختلاف چگالی) که منجر به تخلیه آب‌های زیرزمینی به سمت دریا می‌شود. (۳) ناحیه کرانه‌ای منطقه‌ای است که تحت تأثیر بارش، تبخیر و تراز آب زیرزمینی و سطح آب در مخزن ساحلی است. املاح موجود در این منطقه می‌توانند به وسیله رواناب ساحلی به درون مخزن منتقل شوند. (۴) ورودی رودخانه‌ها و تغییرپذیری‌های مربوط به آنها؛ و (۵) تبادل در کف مخزن، که عمدتاً تحت تأثیر دبی، تراز ایستایی و تراز آب مخزن قرار دارد. (۶) یک سد ساحلی که تحت تأثیر جزر و مد و سطح آب مخزن قرار دارد.

۷- عامل‌های مؤثر بر جریان و انتقال شوری

شوری از مهم‌ترین عامل‌ها در تعیین کیفیت آب مخزن‌های ساحلی است. (Custodio 1987) عامل‌های مؤثر بر نفوذ آب دریا مانند اختلاط پراکنده، جزر و مد، اختلاف چگالی و عامل‌های انسانی را به صورت کیفی ارائه نمود. همانطور که در شکل ۵ مشخص است، عامل‌های پویای مختلفی در تبادل آب/نمک در طول مرزهای مختلف نقش دارند که در ادامه بحث می‌شود.

۷-۱- شرایط اقلیمی

شرایط آب و هوایی تأثیر شایان توجهی در شوری آب

عملیات پمپاژ (Mao et al., 2005) و یا استفاده از جریان شدید سیلابی در رودخانه‌های منتهی به مخزن و خروج آب شور (Karimaei and Foladfar, 2021) است. همچنین می‌توان برای کاهش شوری رسوب‌های زیر مخزن، از سامانه‌های زهکشی زیرسطحی استفاده کرد (Chen et al., 2015).

۵-۲- مدیریت نفوذ آب شور در دوره

بهره‌برداری

همان‌طور که در شکل ۴-B نشان داده شده است، پیش‌بینی می‌شود که پس از چندین سال بهره‌برداری از مخزن ساحلی، بیشتر نمک‌های موجود در رسوب‌ها به درون مخزن رها شده باشد. شارژ دوباره آب و زهکشی مهم‌ترین محرکه مبادله آب مخزن است (Jin et al., 2013). آب مخزن در شرایط بهره‌برداری عادی تا حدودی در حالت ایستا قرار دارد و در نتیجه لایه‌بندی شوری پایدار در عمق آب ایجاد می‌شود. با این وجود، تبادل آب مخزن با آب دریا نه تنها در قسمت زیرین مخزن بلکه در درجه‌هایی که هر از گاهی به دریا باز می‌شوند رخ می‌دهد. افزون بر این، استفاده بیش از حد از آب‌های زیرزمینی می‌تواند منجر به افت سطح آبخوان ساحلی و در پی آن ایجاد تراز هیدرولیکی پایین‌تر آب شیرین موجود در لایه‌های زیرزمینی نسبت به آب دریا شود که نتیجه آن نفوذ آب دریا به سمت لایه‌های آبدار زیرزمینی و مخزن ساحلی شود (Wang and Zhu, 2014). به طور کلی، هر فرآیند منتهی به نبود زمینه تعادل یاد شده در ترازهای هیدرولیکی، باعث نفوذ آب دریا به مخزن و در نتیجه افزایش شوری آب مخزن خواهد شد. در کنار بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی، نفوذ آب دریا می‌تواند به دلیل تغییر کاربری اراضی، تغییرپذیری‌های آب و هوایی و نوسان‌های تراز آب دریا رخ بدهد (Svensson and Theander, 2013 و Vu et al., 2018 و Zhou et al., 2017). همان‌طور که در شکل ۴-B نشان داده شده است هنگامی تراز آب مخزن کم است، نفوذ آب دریا در دوره‌های خشک شدت می‌یابد.

مخزن غلظت نمک بالایی داشته باشد که به طور بالقوه بارهای نمکی را به مخزن تولید کند و باعث شور شدن آب مخزن شود.

۷-۳- رودخانه‌های بالادست

کمیت و کیفیت آب در رودخانه‌های بالادست به عنوان منبع اصلی تغذیه مخزن ساحلی، نقش مهمی در کنترل شوری آب مخزن ایفا می‌کنند. همچنین ممکن است جریان رودخانه حجم زیادی رسوب را به درون مخزن وارد کند. علاوه بر این، مخزن‌های ساحلی که به طور معمول آب‌های تخلیه شده از پایین‌دست رودخانه‌های طولانی را دریافت می‌کنند، به علت ورود فاضلاب به این رودخانه‌ها که حاوی ترکیب‌هایی از نمک‌ها و مواد آلاینده هستند، مستعد آلودگی می‌باشند (Li and Chen, 2005).

مخزن دارد. بارش و تبخیر بر میزان ورود آب به درون و یا خروج آب از مخزن تأثیرگذار است (Berghuijs et al., 2017)، که به نوبه خود بر شوری آب مخزن موثر می‌باشند. شارژ دوباره مخزن با بارندگی منجر به کاهش شوری می‌شود، در حالی که تبخیر منجر به افزایش آن می‌شود (Pan et al., 2004).

۷-۲- رسوب و ناحیه کرانه‌ای

کف مخزن اغلب حاوی رسوب‌هایی با غلظت بالای نمک است (Zhang et al., 2014)، که می‌تواند به شور شدن آب در مخزن به ویژه در مرحله اولیه (پس از ساخت) نسبت به مرحله عادی بهره‌برداری منجر شود. عامل‌های بیرونی می‌تواند باعث تبادل آب بین رسوب‌ها و آب مخزن شده که نتیجه آن ورود نمک به درون مخزن است (Zhu, 2002). همچنین ممکن است ناحیه‌ی کرانه‌ای در پیرامون

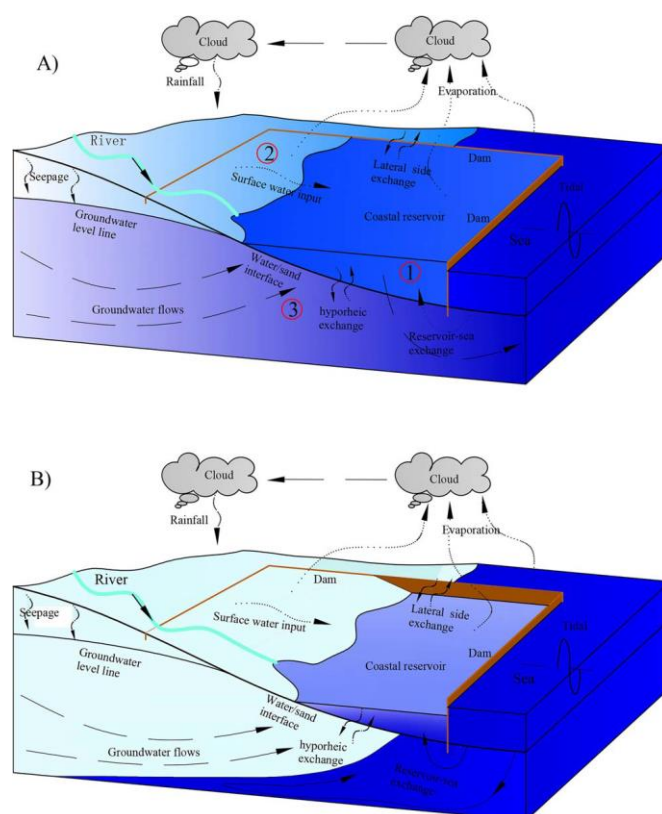


Fig. 4 Coastal reservoirs in the (A) early operation stage, when reservoir water and surrounding soils/sediments contain saltwater with a relatively high salt concentration: (1) reservoir water; (2) reservoir intertidal zone; and (3) reservoir bottom sediment; and (B) during dry periods, when the reservoir water level is low, resulting in intensified seawater intrusion. The darker the blue color, the higher is the salinity. (Jin et al., 2019)

شکل ۴ مخزن‌های ساحلی: (A) در مرحله اولیه بهره‌برداری (دوره آب‌شویی و نمک‌زدایی)، هنگامی که آب مخزن و خاک/رسوب‌های پیرامون آن حاوی آب شور با غلظت نمک به نسبت زیاد است. (۱) آب مخزن (۲) ناحیه کرانه‌ای و (۳) رسوب زیر مخزن و (B) در دوره‌های خشک، هنگامی که سطح آب مخزن کم است و در نتیجه آن نفوذ شدید آب دریا انجام می‌شود. هرچه رنگ آبی تیره‌تر باشد، شوری بالاتر است (Jin et al., 2019).

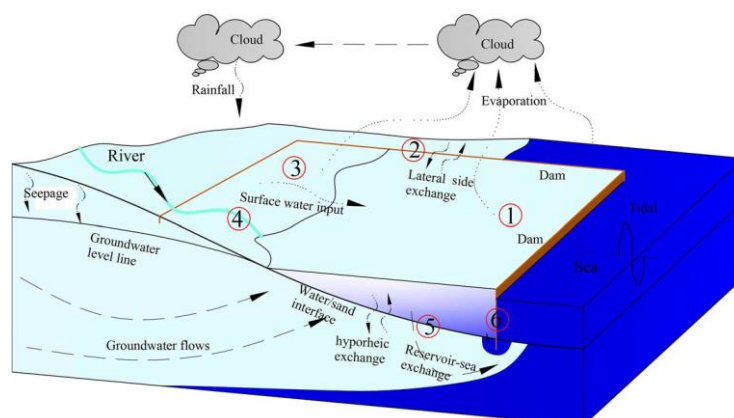


Fig. 5 Schematic diagram of a typical coast reservoir: (1) water surface, (2) lateral side, (3) intertidal zone, (4) inflow rivers, (5) bottom, and (6) dam. (Jin et al. 2019)

شکل ۵ طرحی از نمای کلی یک مخزن ساحلی: (۱) آب، (۲) تبادل جانبی (۳) منطقه بینابینی (۴) رودخانه‌های ورودی (۵) کف مخزن و (۶) سد (Jin et al. 2019)

ارزیابی نشده است. با این حال، بررسی‌های پیشین در مورد تبادل بین تالاب‌های ساحلی و آب‌های زیرزمینی، به دلیل همانندی در شرایط مرزی با مخزن‌های ساحلی می‌تواند اطلاعاتی از چگونگی تبادل بین مخزن ساحلی و آب زیرزمینی به دست دهد (Moran et al., 2014). آب موجود در آبخوان‌های ساحلی در مجاورت یک مخزن ساحلی می‌تواند بسته به اختلاف تراز انرژی در مرز مخزن-آبخوان، به درون مخزن تخلیه شده یا از آن خارج شود. به طور کلی، نوسان تراز هیدرولیکی در آبخوان کمتر از مخزن است. چرا که نوسان‌های موجود در مخزن تحت تاثیر میزان ورود و خروج آب مخزن قرار دارد. در دوره‌هایی که سطح آب مخزن کاهش می‌یابد، و آبخوان به درون مخزن جریان می‌یابد، میزان شوری آب ورودی، کیفیت آب مخزن را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Wu et al., 2010). در واقعیت، ظرفیت تبادل (شار جانبی آب زیرزمینی به درون و یا بیرون مخزن) تا حد زیادی به موقعیت نسبی مخزن و تغییرپذیری‌های فصلی بستگی دارد. Cheng and Anderson (1994) نشان دادند که موقعیت پائین‌تر مخزن، منجر به ایجاد تبادل بیشتر و پایدارتر بین مخزن و آبخوان می‌شود.

تبادل بین آب در مخزن ساحلی و آب زیرزمینی شور در سمت دریا نیز می‌تواند رخ دهد. گرادیان فشار ممکن است در سطح تماس آب-رسوب مخزن توسط امواج (Boano et al., 2011) و همچنین از طریق اندرکنش بین جریان آب مخزن و شکل‌های بستر ایجاد شده و تولید جریان

۷-۴- اختلاط آب شور-آب شیرین در

مخزن

تبادل آب مخزن‌های ساحلی به صورت معمول رخ می‌دهد و میزان آن به میزان آب ورودی، شدت وزش باد و عمق مخزن بستگی دارد. به طور کلی، جریان‌های با سرعت بالا، سرعت باد زیاد، و آب کم‌عمق باعث اختلاط کامل در مخزن و با احتمال بین آب مخزن و رسوب‌های کف می‌شوند (Liu and Jeng, 2007). در دریاچه‌های عمیق‌تر، اختلاط کامل در عمق جریان توسط لایه‌بندی گرمایی پایدار به ویژه در تابستان رخ نمی‌دهد. (Yeates and Imberger, 2003)

۷-۵- نشت آب دریا از دیواره مخزن

نشت آب دریا تا حد زیادی به طراحی مهندسی و کیفیت ساخت دیواره‌های مخزن بستگی دارد (Lee et al., 2005). به عنوان مثال، در یک مخزن ساحلی با یک سد خاکی، اعمال بار جزر و مد و فشار به سد موجب تراوش آب دریا و در پی آن شوری بیشتر آب مخزن می‌شود (Yu, 1996).

۷-۶- تبادل بین مخزن ساحلی و آب

زیرزمینی

تبادل آب/نمک به طور عمده در کناره‌های مخزن، بستر و سمت دریا رخ می‌دهد (شکل ۵). تبادل بین مخزن ساحلی و آب‌های زیرزمینی به اندازه کافی بررسی و

۸-۱- شوری رسوب‌های بستر مخزن

رسوب‌های غنی شده از نمک در بستر مخزن به عنوان یکی از عامل‌های اصلی شور شدن آب مخزن می‌باشند. در مرحله‌های اولیه بهره‌برداری از مخزن‌های ساحلی می‌توان از آب سطحی مخزن برای تولید آب شیرین مناسب برای مصرف‌های انسانی، آبیاری، مصرف‌های صنعتی و انواع مصرف‌های دیگر در فصل‌های بارانی استفاده کرد. Mao et al. (2005) فرایند نمک‌زدایی در یک مخزن ساحلی را شبیه‌سازی کردند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که هجوم رواناب شیرین منجر به کاهش سریع میزان شوری در سطح آب مخزن در طی دوره توقف و نگهداری^۱ می‌شود، در حالی که شوری در ترازهای پایینی مخزن بویژه در مخزن‌ها عمیق، جایی که آب به سختی نمک‌زدایی می‌شود، باقی می‌ماند. این موضوع با توجه به رخنمای (پروفیل) پایدار چگالی آب در عمق مخزن، در صورتی که اختلاطی در مخزن‌های عمیق رخ ندهد، هیچ تاثیری بر شوری لایه‌های بالای آب در مخزن ندارند. از سویی چنانچه سطح آب مخزن پایین باشد، آب با غلظت شوری زیاد در کف مخزن به سمت بالا جریان یافته موجب شور شدن لایه‌های آب سطحی می‌شوند. به عنوان مثال، شوری در مخزن‌های داتانگنگ^۲ و هوچنگنگ^۳ در کشور چین از زمان ساخت مخزن در ۲۰ سال پیش رو به کاهش است (Jin and Xiang, 2015; Wang and Zhu, 1998). با این حال، شوری در این مخزن‌ها در سطح به نسبت بالایی باقی مانده و با گذشت زمان به میزان شایان توجهی نوسان می‌کند. میزان نمکی که از رسوب‌های بستر رها می‌شود تحت تأثیر عامل‌های مختلفی از جمله باد، pH، تراز سطح آب و دما قرار دارد (Zhang et al., 2010). Zhao et al. (2006) نشان دادند که جریان باد موجب تشدید جریان‌های عمودی و افقی در مخزن می‌شود که نتیجه آن انتشار شوری از رسوب‌های کف به آب درون مخزن است. تبادل رسوب و آب ناشی از اختلال خارجی^۴ ممکن است باعث افزایش انتشار نمک شود. Yue et al. (2013)

چرخشی و انتقال شوری در سطح تماس کند (Jin et al., 2010). افزون بر این، هنگامی که شوری یا چگالی آب مخزن ساحلی بیشتر از آب زیرزمینی زیرین باشد، گرادیان‌های چگالی ایجاد جریان می‌کند، که به نوبه خود منجر به تبادل می‌شود (Jin et al., 2011). همچنین هدررفت‌های تبخیر می‌تواند منجر به افزایش شوری در سطح آب مخزن ساحلی شود که نتیجه آن ایجاد همرفت رو به پایین به سوی کف مخزن ساحلی و نفوذ بیشتر به آبخوان زیرزمینی می‌شود. مشاهده‌ها نشان می‌دهد که این موضوع منجر به افزایش چشمگیر شوری آب زیرزمینی شده است (Yang and Ferguson, 2010). جریان چگال موجب تشدید انتقال شوری از رسوب‌ها به آب‌های زیرزمینی زیرین می‌شود و بازدارنده از انتشار نمک به آب در مخزن ساحلی می‌شود (Jin et al., 2015).

۷-۷- کارکردهای فرعی مخزن‌های ساحلی

از مخزن‌های ساحلی برای هدف‌های مختلفی غیر از تأمین آب، مانند آبی‌زی پروری، حمل و نقل دریایی، آبیاری و زهکشی استفاده می‌شود (Parthasarathy et al., 2018)، که ممکن است منجر به افزایش شوری آب مخزن شود (Ge, 2012). به عنوان مثال، خوراک آبی‌زی پروری اغلب حاوی میزان‌های زیادی مواد مغذی است. همچنین وجود دریچه‌های تخلیه زیرین در مخزن ساحلی برای خروج آب اضافی مخزن، می‌تواند منجر به نشست متمرکز به سوی مخزن شود.

۸- بررسی‌های انجام شده روی جریان و

انتقال شوری در مخزن‌های ساحلی

شوری یکی از عامل‌های اصلی تأثیر بر روی کیفیت آب در مخزن‌های ساحلی است. در این بخش بررسی‌های انجام شده روی انتقال شوری در مخزن‌های ساحلی یا تالاب در سه بخش (۱) نمک‌زدایی بستر مخزن (۲) نفوذ شوری آب دریا و (۳) شبیه‌سازی عددی ارائه می‌شود.

1 Impounding period
2 Datanggang
3 Huchenggang
4 external disturbance

(2013).

رخداد نفوذ آب دریا بستگی به شرایط آب‌زمین‌شناسی (هیدروژئولوژی) ورودی رودخانه به مخزن ساحلی دارد (Lin and Liu, 2014). سطح آب مخزن، شار جریان ورودی، جریان آب زیرزمینی و تغییرپذیری‌های فصلی بر نفوذ آب دریا تأثیر می‌گذارد (Pham and Lee, 2015). هنگامی که آب سطح مخزن در دوره‌های خشک کم است، نفوذ آب دریا به مخزن رخ می‌دهد (Song, 2014).

Sun et al., (2008) نشان دادند که نفوذ آب دریا به مخزن ساحلی کوئینگ کایوشا^۱ واقع در مصب رودخانه یانگ‌تسه چین با حجم زیادی آب شیرین تخلیه شده از سد سه دره، کاهش می‌یابد. بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی منجر به کاهش شدیدتر تراز آب زیرزمینی شده و در نتیجه به دلیل گرادیان هیدرولیکی، میزان نفوذ آب دریا افزایش می‌یابد. Rimmer (2003) دریافت که نفوذ آب زیرزمینی در زیر بستر دریا باعث ورود آب شور به دریاچه کینرت^۲ در فلسطین اشغالی می‌شود. نفوذ آب دریا با افزایش تراز سطح دریا و یا با کاهش سطح آب مخزن افزایش می‌یابد (Fujinawa et al., 2009). در یک مطالعه افزایش (2012) Hong and Shen با ساخت مدل از خلیج چیسپایک^۳ (بزرگ‌ترین خور در آمریکای شمالی)، در مورد تأثیر افزایش بالقوه تراز آب دریا تحقیق کردند. آنان دریافتند که شدت و محدوده نفوذ و لایه‌بندی شوری با افزایش سطح تراز دریا روند رو به رشدی نشان می‌دهند. افزون بر این، لایه‌بندی در بهار (به دنبال دوره‌های پر جریان) و در سال‌های مرطوب نسبت به فصل پاییز (به دنبال دوره‌های با جریان کم) و در سال‌های خشک برجسته‌تر است.

Franco et al. (2009) در نتایج بررسی‌های خود دریافتند که تغییرپذیری‌های فصلی در نفوذ آب دریا در تالاب جنوبی ونیز موثر است. در فصل پاییز-زمستان، جبهه نفوذ به سوی ساحل و در فصل بهار-تابستان به طرف دریا حرکت می‌کند. (Hussain and Javadi (2016) نشان دادند

سازوکار شور شدن ناگهانی در مخزن‌های ساخته شده در مصب را با ارزیابی تبادل غلظت شوری و میزان شوری در ستون آب در شرایط آشفتگی سریع در آب بررسی کردند. نتایج نشان داد که اختلاط آب شور در لایه مرزی بستر دریا با آب شیرین منجر به شور شدن لایه بالایی ستون آب می‌شود. از طریق آزمایش‌های آزمایشگاهی، Xiang et al. (2008) نشان دادند که میزان نمک رها شده از رسوب در مرحله اولیه به نسبت زیاد بوده و با گذشت زمان کاهش می‌یابد. ایشان نشان دادند که یک رابطه نمایی بین میزان نمک آزاد شده و غلظت شوری رسوب وجود دارد. Li et al. (2014) نشان دادند که یک ناحیه با گرادیان شدید شوری در ۱۰ سانتی‌متری بالای فصل مشترک آب-رسوب بستر در آب وجود دارد.

پس از ساخت مخزن‌های ساحلی، نرخ نمک‌زدایی که مقیاس متوسطی از مدت زمان شستشوی مخزن است، کنترل‌کننده نزدیک‌ترین زمان برای بهره‌برداری از مخزن ساحلی است. بررسی‌های لی (2016) نشان داد که دوره جزر و مدی بر روی فرآیند شیرین‌شدن آب مخزن ساحلی موثر است. دوره‌های درازمدت‌تر منجر به افزایش شوری آب و همچنین نفوذ بیشتر آب شور از طریق بستر مخزن می‌شود که در پی آن نرخ شیرین‌شدن آب را کاهش می‌دهد. تاکنون بررسی‌های تجربی کمی بر روی انتقال شوری در شرایط آب‌پویایی (هیدرودینامیکی) پیچیده انجام شده است و در نتیجه مقیاس زمانی برای شستشوی مخزن در عمل ناشناخته بوده و برآوردهای کاربردی دقت مناسبی ندارند (Jin et al., 2019).

۸-۲- نفوذ شوری آب دریا به مخزن‌های ساحلی

با وجود پیشرفت چشمگیر در درک نفوذ آب دریا، بسیاری از پرسش‌ها هنوز پاسخ داده نشده است. بررسی‌های قبلی در این زمینه بیشتر بر روی مدل مفهومی و پایدار از آب-های زیرزمینی ساحلی تمرکز دارند (Ge, 2012). در نتیجه، نیاز به درک، اندازه‌گیری و شبیه‌سازی مخزن‌های ساحلی احساس می‌شود (Svensson and Theander,)

1 Qingcaosha

2 Kinneret

3 Chesapeake Bay

بود. (Spanoudaki et al. (2009) یک مدل جدید از آب سطحی-زیرزمینی را با استفاده از ترکیب سه معادله جریان آب زیرزمینی اشباع شده و معادله‌های ناویر-استوکس برای جریان آب‌های سطحی پیشنهاد نمودند. ایشان برای حل معادله‌های حاکم از یک روش تفاضل محدود استفاده کردند در نتیجه گزینش نوع شبکه‌های محاسبه‌ای و گام‌های زمانی محدود بود. علاوه بر این، انتقال شوری در این مدل به صورت یکپارچه در نظر گرفته نشد که این موضوع استفاده از این مدل در تحلیل انتقال شوری مرتبط با آب‌پویایی (هیدرودینامیک) موجود در مخزن‌های ساحلی را دچار مسئله می‌کند.

(Karimaei and Fouladfar (2021) از مدل عددی MIKE3 برای شبیه‌سازی جریان و شوری یک مخزن ساحلی فرضی در کناره دریای خزر که از خروجی رودخانه تجن آگیری می‌شد، استفاده کردند. در این تحقیق برای شیرین‌سازی مخزن از دبی میانگین ماهیانه رودخانه تجن در مدت زمان یک سال (مدل اول) و یک آب‌نگار (هیدروگراف) سیل با دوره بازگشت حدود ۱۰۰۰ سال و زمان تداوم ۸ روز (مدل دوم) استفاده شد. نتایج نشان داد که بر خلاف مدل اول، لایه‌بندی چگالی شدیدی در شرایط ورود آب آب‌نگار سیل به درون مخزن (مدل دوم) رخ می‌دهد. همچنین در پایان دوره شبیه‌سازی بیشینه میزان شوری در کل مخزن از میزان اولیه ۱۲ گرم بر لیتر (که مربوط به شوری پایه دریای خزر است) به کمتر از دو گرم بر لیتر در مدل اول و یک گرم بر لیتر در مدل دوم کاهش می‌یابد.

۹- جهت‌دهی برای تحقیقات آتی

تحقیقات در مورد مخزن‌های ساحلی هنوز در مرحله‌های اولیه خود است. برای بهبود درک و استفاده از مخزن‌های ساحلی، کارهای زیادی باید انجام شود، از جمله موارد زیر: (۱) هیدرودینامیک آب مخزن و آب زیرزمینی مجاور نیاز به بررسی بیشتر دارد، به ویژه هیدرودینامیک در نزدیکی شش مرزی که در این تحقیق بحث شد. آگاهی از هیدرودینامیک برای درک بهتر روند انتقال فراسنجه‌های مختلف مانند شوری و دما در مخزن‌های ساحلی ضروری

که میزان نفوذ آب دریا در سفره‌های با کف مسطح بیشتر از سفره‌های با کف شیب‌دار است. افزون بر این، سفره‌های آبدار با کف مسطح نیاز به دوره زمانی کوتاه‌تری نسبت به سفره‌های شیب‌دار برای رسیدن به حالت پایدار دارند. این امر به این دلیل رخ می‌دهد که گردش آب شیرین-آب دریا و نوسان‌های سطح آب زیرزمینی در چنین سفره‌های آبی پایدارتر از سفره‌های شیب‌دار است. (Mahmoodzadeh and Karamouz (2017) نیز در نتایج بررسی‌های خود اظهار داشتند که میزان نفوذ آب دریا به دلیل طوفان‌های ساحلی و نیز فروافتادگی عوارض زمین به طور شایان توجهی شدت می‌یابد.

۸-۳- شبیه‌سازی عددی انتقال و نفوذ

شوری

(Mao et al. (2005) فرایند نمک‌زدایی آب از یک مخزن آب در نزدیکی ساحل^۱ را با استفاده از عملیات پمپاژ از نزدیکی کف مخزن به کمک مدل عددی DelftSD شبیه‌سازی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که این روش کاهش شوری بازدهی مناسبی دارد به گونه‌ای که بعد از ۳ سال شبیه‌سازی در شرایط آب‌شناختی (هیدرولوژیکی) منطقه، شوری آب مخزن ۶۰ درصد کاهش یافت. (Chen (2014) با استفاده از یک مدل عددی سه‌بعدی، زمان ماندگاری آب شور در مخزن کویینگ‌کاووشا در مصب رودخانه یانگ‌تسه را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. نتایج نشان داد که جریان موجود در مخزن به طور عمده توسط جریان تولید شده توسط باد کنترل می‌شود و به میزان کمتری با جریان‌های ورودی/خروجی کنترل می‌شود.

بین مدل‌های آب‌های سطحی و زیرزمینی از نظر مقیاس زمانی اختلاف وجود دارد. مقیاس زمانی مدل‌های آب‌های زیرزمینی با ضریب انتقال آبخوان متناسب است و اغلب چندین مرتبه بزرگتر از مدل‌های سطحی است. (Liang et al. (2007) با حل همزمان معادله‌های آب سطحی و زیرزمینی، تغییرپذیری‌های تالاب‌ها را شبیه‌سازی کردند. از آنجا که گام زمانی توسط مدل آب سطحی کنترل می‌شود، شبیه‌سازی بسیار زمان‌بر

1 Polder reservoir

(مورفولوژی) و رسوب کرانه‌های ساحل دریا در مجاورت مخزن‌های ساحلی نیاز به بررسی دارد.
(۱۰) لازم است تحقیقات مختلف بر روی مدل‌های یکپارچه رودخانه، آبراهه دسترسی و مخزن ساحلی انجام شود تا جزئیات بیشتری از مرحله‌های شستشو و بهره‌برداری مخزن حاصل شود.

۱۰- نتیجه‌گیری

مخزن‌های ساحلی راه حلی جدید در پروژه‌های مدیریت و ذخیره آب در سراسر جهان هستند که می‌تواند مسئله کمبود آب شیرین را در منطقه‌های ساحلی به میزان شایان توجهی کاهش دهند. با توجه به تجربه چندین ساله‌ای که در جهان در مورد این روش تامین آب وجود دارد، نیاز به توجه بیشتر در داخل کشور به این سازه‌ها احساس می‌شود. به طور کلی شمار تحقیقات علمی بر روی این سازه‌ها و اثرگذاری‌های عامل‌های مختلف بر روی آنها اندک است و با توجه به کارایی مثبت آنها نیاز به توجه بیشتر جامعه علمی است.
در این تحقیق یک ارزیابی مروری بر روی تحقیقات انجام شده بر روی این مخزن‌ها انجام شد تا یک دید کلی در مورد عملکرد این مخزن‌ها به دست آید. بر این مبنا ضمن معرفی مخزن‌های ساحلی، برتری‌ها و کاستی‌های آنها، توان بالقوه مناسبی که کشور برای ساخت این مخزن‌ها دارد، بررسی شد. در ادامه به بررسی‌های انجام شده بر روی دینامیک مخزن و مهم‌ترین عامل بهره‌برداری از آن یعنی مکانیزم انتقال و انتشار شوری اشاره شد. مهم‌ترین نگرانی در زمینه کارکرد این روش تامین آب کنترل ورود شوری به داخل مخزن است که این موضوع نیازمند اتخاذ تدابیر ویژه در سیاست‌های بهره‌برداری از مخزن است. در بررسی مرجع‌های مختلف ضمن معرفی این چالش مهم در دو دوره آب‌شویی - نمک‌زدایی و بهره‌برداری از مخزن به شش شرط مرزی کنترل‌کننده کارکرد مخزن شامل سطح آب، سمت جانبی، منطقه بینابینی، رودخانه‌های ورودی، کف مخزن و دیواره سد ارائه شد. همچنین عامل‌های موثر بر آب‌پویایی (هیدرودینامیک) و انتقال شوری در مخزن‌های ساحلی مانند شرایط اقلیمی منطقه، تبادل با

است.

(۲) روش‌های آب‌شویی و نمک‌زدایی مخزن و بستر آن نیاز به بررسی و ارزیابی بیشتری دارد. سازوکارها و فرایندهای مربوط به این روش‌ها می‌تواند بر کنترل کیفیت آب مخزن به ویژه شتاب در رسیدن به مرحله بهره‌برداری موثر باشد.

(۳) مدل‌های یکپارچه سه‌بعدی آب مخزن، آب دریا و آب‌های زیرزمینی تحت شرایط پیچیده پویایی (یعنی تغییرپذیری‌های فصلی یا طوفان‌های دریایی) باید برای شبیه‌سازی یکپارچه رفتار مخزن ساحلی تهیه شوند.

(۴) چگونگی انتقال و انتشار آلودگی مانند فلزهای سنگین به درون مخزن نیاز به بررسی و مدل‌سازی دارد. همچنین لازم است روش‌های کنترل (پایش و تیمار) آلاینده‌های ورودی به مخزن بیشتر بررسی شود.

(۵) تأثیر مخزن‌های ساحلی بر محیط پیرامون نیاز به بررسی بیشتر دارد. آلاینده‌های تولید شده به علت فعالیت‌های مختلف بهره‌برداری از مخزن مانند آبی‌پروری ممکن است وارد آب‌های زیرزمینی پیرامون شوند و محیط آبی منطقه ساحلی را تحت تأثیر قرار دهند.

(۶) تأثیر مخزن‌های ساحلی بر بوم‌شناسی (اکولوژی) آبی ناشناخته است و به تحقیقات نیاز دارد. موجودهای آبی، به ویژه آنهایی که در ساحل زندگی می‌کنند، به دلیل وجود یک مخزن ساحلی می‌توانند به میزان شایان توجهی تحت تأثیر قرار گیرند.

(۷) کارکرد دریاچه‌ها و سازه‌های جنبی به تحقیقات بیشتری نیاز دارد. همچنین ممکن است نشأت آب دریا از محل دریاچه‌ها و سدها به طرف مخزن ساحلی رخ داده و در نتیجه منجر به تغییر در شوری آب مخزن شود.

(۸) انتقال رسوب و تغییرپذیری‌های بستر در درون مخزن ساحلی موضوعی ناشناخته است و این موضوع مهم نیاز به تحقیق

در آینده دارد. وجود رسوب به ویژه در خروجی آبراهه‌های دسترسی از رودخانه به مخزن، می‌تواند تأثیر زیادی بر میزان و کیفیت آب ورودی به مخزن داشته باشد.

(۹) بررسی تغییرپذیری‌های ریخت‌شناسی

Chen, J. (2014). Current Field, Residence Time and Sources of Saltwater Intrusion at the Water Intake of Qingcaosha Reservoir. Shanghai, China: East China Normal University, Master's thesis, 128p.

Custodio, E. (1987). Salt-fresh water interrelationships under natural conditions. In: Custodio, E. and Bruggeman, G.A. (eds.), Ground Problems in Coastal Areas. Paris: UNESCO, 14-96.

Franco, R.D., Biella, G., Tosi, L., Teatini, P., Lozej, A., Chiozzotto, B., Giada, M., Rizzetto, F., Claude, C. and Mayer, A. (2009). Monitoring the saltwater intrusion by time lapse electrical resistivity tomography: The Chioggia test site (Venice Lagoon, Italy). *Journal of Applied Geophysics*, 69(3), 117-130.

Fujinawa, K., Iba, T., Fujihara, Y. and Watanabe, T. (2009). Modeling interaction of fluid and salt in an aquifer/lagoon system. *Ground Water*, 47(1), 35-48.

Ge, X.P. (2012). Layout optimization of freshwater-storage projects in coastal reclamation areas. *Journal of Economics of Water Resources*, 03(8), 51-53.

Herrera-León, S., Lucay, F., Kraslawski, A., Cisternas, L.A. and Gálvez, E.D., (2018). Optimization approach to designing water supply systems in non-coastal areas suffering from water scarcity. *Water Resources Management*, 32(7), 2457-2473.

Hong, B. and Shen, J. (2012). Responses of estuarine salinity and transport processes to potential future sea-level rise in the Chesapeake Bay. *Estuarine Coastal & Shelf Science*, 104-105, 33-45.

Hussain, M.S. and Javadi, A.A. (2016). Assessing impacts of sea level rise on seawater intrusion in a coastal aquifer with sloped shoreline boundary. *Journal of Hydro-environment Research*, 11, 29-41.

Ji, T., Du, J., Moore, W.S., Zhang, G., Su, N. and Zhang, J. (2013). Nutrient inputs to a lagoon through submarine groundwater discharge: The case of Laoye Lagoon, Hainan, China. *Journal of Marine Systems*, 111-112(2), 253-262.

Jiang, C.L. and Pei, H.F. (2007). Reasons of water salinization and its prevention measures in Beitang Reservoir, Tianjin City. *Journal of Lake Sciences*, 19(4), 428-433.

آب زیرزمینی، رسوب و ناحیه‌ی کرانه‌ای و غیره بررسی شد. در ادامه نیز به مشخصه شوری به عنوان عامل اصلی موثر بر کیفیت آب در مخزن‌ها توجه ویژه شد و بررسی‌های انجام شده بر روی انتقال شوری در مخزن‌های ساحلی یا تالاب‌ها در سه بخش نمک‌زدایی، شور شدن یا نفوذ آب دریا و شبیه‌سازی عددی انتقال و نفوذ بررسی شد. در نهایت زمینه‌های تحقیقاتی ضروری چندی که می‌تواند در آینده توسط محققان انجام شود، پیشنهاد و مطرح شد.

۱۱- سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی بر اساس قرارداد شماره ۱۳۲۳۹ به تاریخ ۱۴۰۰/۸/۱۲ انجام شده است. نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از مسئولان پژوهش دانشگاه قدرانی کنند.

۱۲- منابع‌ها

Fooladfar, H. (2017). Feasibility Studies for the Establishment of Coastal Reservoirs on the North and South Coasts of the Country. Iran Water and Power Resources Development Company. (In Persian).

Berghuijs, W.R., Larsen, J.R., Van Emmerik, T.H.M. and Woods, R.A., (2017). A global assessment of runoff sensitivity to changes in precipitation, potential evaporation, and other factors. *Water Resources Research*, 53(10), 8475-8486.

Boano, F., Revelli, R. and Ridolfi, L. (2011). Water and solute exchange through flat streambeds induced by large turbulent eddies. *Journal of Hydrology*, 402(3-4), 290-296.

Chen, L., Yang, X., Guo, X.P. and Huang, D., (2015). The design and application of subsurface drainage pipe system for coastal zones. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 43(9), 464-467.

Cheng, X. and Anderson, M.P. (1994). Simulating the influence of lake position on groundwater fluxes. *Water Resources Research*, 30(7), 2041-2049.

- Lin, G.H. and Liu, J.P. (2014). Present situation and treatment of seawater intrusion in Dalian City. *Water Resources and Hydropower of Northeast China*, 32(07), 32–34.
- Liu, H. and Jeng, D.S. (2007). A semi-analytical solution for random wave-induced soil response and seabed liquefaction in marine sediments. *Ocean Engineering*, 34(08), 1211–1224.
- Mao, X.Z., Zhu, X.A., Chen, F.Y., Yu, Q.W. and Weng, B.Z. (2005). Study on accelerating water desalination in a polder reservoir for storage of fresh water along the coast. *Advances in Water Science*, 16(6), 773–776.
- Moran, S.B., Stachelhaus, S.L., Kelly, R.P. and Brush, M.J. (2014). Submarine groundwater discharge as a source of dissolved inorganic nitrogen and phosphorus to coastal ponds of southern Rhode Island. *Estuaries & Coasts*, 37(1), 104–118.
- Mahmoodzadeh, D. and Karamouz, M. (2017). Influence of coastal flooding on seawater intrusion in coastal aquifers. In: Dunn, C.N. and Van Weele, B. (eds.), *World Environmental and Water Resources Congress*. Sacramento, California, 66–79.
- Naseri, M. and Najafi, A. (2019). Investigating the existing problems in relation to the coasts of Iran. 3rd International Conference on Applied Research in Structural Engineering and Construction Management., Tehran. (In Persian)
- Pan, G.E., Huang, L.C., Jin, L.J. and Zhu, X.A. (2004). Study on technology of fresh water storage of reservoirs on coastal areas. *Water Conservancy Planning and Design*, 2, 51–55.
- Parthasarathy, C.R., Sitharam, T.G. and Kolathayar, S. (2018). Geotechnical considerations for the concept of coastal reservoir at Mangaluru to impound the flood waters of Netravati River. *Marine Georesources & Geotechnology*, 2, 1–9.
- Pham, H.V. and Lee, S.I. (2015). Assessment of seawater intrusion potential from sea-level rise and groundwater extraction in a coastal aquifer. *Desalination and Water Treatment*, 53(9), 2324–2338.
- Rimmer, A. (2003). The mechanism of Lake Kinneret salinization as a linear reservoir. *Journal of Hydrology*, 281(3), 173–186. doi:10.1016/S0022-1694(03)00238-5
- Jin, G.Q., Tang, H.W., Gibbes, B., Li, L. and Barry, D.A. (2010). Transport of nonsorbing solutes in a streambed with periodic bedforms. *Advances in Water Resources*, 33(11), 1402–1416.
- Jin, G.Q., Tang, H.W., Li, L., and Barry, D.A., (2011). Hyporheic flow under periodic bed forms influenced by low-density gradients. *Geophysical Research Letters*, 38(22), L22401.1–L22401.6.
- Jin, D.G., Sun, Y. and Xia, S.S. (2013). Study on the accelerating desalination methods in coastal reservoir. *Zhejiang Hydrotechnics*, 41(1), 17–19.
- Jin, G.Q., Xie, T.Y. and Kuan, W. (2015). Effects of tide on salt intrusion: Experimental setup and methods. *Research and Exploration in Laboratory*, 34(02), 57–61.
- Jin, R.H. and Xiang, Q.F. (2015). Design of the pump stations in Huchenggang reservoirs. *China Water Transport*, 15(01), 311–312.
- Jin, G., Mo, Y., Li, M., Tang, H., Qi, Y., Li, L. and Barry, D.A. (2019). Desalination and salinization: A review of major challenges for coastal reservoirs. *Journal of Coastal Research*, 35(3), 664–672.
- Karimaei, M. and Foadfar, H. (2021). Numerical modeling of salinity changes in the desalination stage of a coastal reservoir. *Journal of Hydraulic*, In press. (In Persian)
- Kolathayar, S., Sitharam, T.G. and Yang, Sh.-Q. (2019). Coastal reservoir strategy to enhance India's freshwater storage by impounding river flood waters: a detailed overview. *Water Supply*, IWA Publishing, 19(3), 703-717.
- Lee, J.Y., Choi, Y.K., Kim, H.S. and Yun, S.T. (2005). Hydrologic characteristics of a large rockfill dam: Implications for water leakage. *Engineering Geology*, 80(1–2), 43–59.
- Li, H.N. and Chen, F.X. (2005). Analysis of water desalting influence factor in tidal land reservoir. *Water Resource & Hydropower of Northeast China*, 23(10), 42–44.
- Li, H.M., Chen, J.J., Li, Y. and Li, Q. (2014). Law of salt release at soil-water interface in Beidagang reservoir. *South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology*, 12(3), 47–50.
- Liang, D.F., Falconer, R.A. and Lin, B.L. (2007). Coupling surface and subsurface flows in a depth averaged flood wave model. *Journal of Hydrology*, 337(1), 147–158.

- Yang, Sh.-Q., and Lin, P. (2011). Coastal reservoir by soft-dam and its possible applications, *Recent Patents on Engineering*, 5, 45-56.
- Yang, Sh.-Q., Liu, J., Lin, P. and Jiang, C. (2013). Coastal Reservoir Strategy and Its Applications. *Water Resources Planning, Development and Management*, Chapter, 5, 95-115.
- Yang, Sh.-Q. (2018). Coastal Reservoir—How to develop freshwater from the sea without desalination. Springer Nature Singapore Pte Ltd. *Water Resources Management, Water Science and Technology Library*, 78, 121-139.
- Yeates, P.S. and Imberger, J. (2003). Pseudo two-dimensional simulations of internal and boundary fluxes in stratified lakes and reservoirs. *International Journal of River Basin Management*, 1(4), 297-319.
- Yuan, W.X., Yang, S.T. and Zhuang, M. (2007). Arguments of the coastal reservoir in RuDong JiangSu Province. *Yangtze River*, 38(6), 35-37.
- Zhang, P., Jiang, C.L., Zhu, X.Q., Li, D.M., Cao, C., Zhu, L.Q., Xing, X.G. and Shen, X.J. (2014). Analysis of sediment salinization degree of the proposed reservoir in the coastal area of Tianjin. *Yellow River*, 36(1), 67-70.
- Yue, D.W., Gao, Z.W., Zhao, Q.S. and Peng, Y.C. (2013). Experimental study of abrupt salinization in estuary reservoirs. *Water Resources Protection*, 29(4), 40-44.
- Zhang, X.L., Zhu, M.H. and Zheng, X.L. (2010). Test investigation for salt release from sediments in a polder reservoir under effects of environmental factors. *Marine Science Bulletin*, 29(2), 135-142.
- Zhao, W.Y., Wang, Q.S., Ting, W.U., Li-Bo, W.U., Wang, X.Y. and Zhang, Y. (2006). Reservoir water salinization and mechanism analysis in Tianjin Binhai area. *Haihe Water Resources*, 3, 33-35.
- Zhou, X., Yang, T., Shi, P., Yu, Z., Wang, X. and Li, Z. (2017). Prospective scenarios of the saltwater intrusion in an estuary under climate change context using Bayesian neural networks. *Stochastic Environmental Research & Risk Assessment*, 31(4), 981-991.
- Zhu, J. (2002). Analysis on the causes of salty water quality in Huchengang Reservoir and its control measures. *Zhejiang Water Conservancy Science and Technology*, 4, 50-51.
- Sappa, G., Ergul, S., Ferranti, F., Sweya, L.N. and Luciani, G. (2015). Effects of seasonal change and seawater intrusion on water quality for drinking and irrigation purposes, in coastal aquifers of Dar es Salaam, Tanzania. *Journal of African Earth Sciences*, 105, 64-84.
- Sitharam T.G. (2017). Efficacy of coastal reservoirs to address India's water shortage by impounding excess river flood waters near the coast. *Journal of Sustainable Urbanization, Planning and Progress*, 2(2), 50-55.
- Song, Q. (2014). Groundwater resources protection and sea water intrusion in Ganjingzi District of Dalian City. *Groundwater*, 36(1), 98-100.
- Spanoudaki, K., Stamou, A.I. and Nanougiannarou, A. (2009). Development and verification of a 3-D integrated surface water ground water model. *Journal of Hydrology*, 375(3-4), 410-427.
- Svensson, A. and Theander, J. (2013). Seawater intrusion processes, investigation and management: Recent advances and future challenges. *Advances in Water Resources*, 51(1), 3-26.
- Vu, D.T., Yamada, T. and Ishidaira, H. (2018). Assessing the impact of sea level rise due to climate change on seawater intrusion in Mekong Delta, Vietnam. *Water Science & Technology*, 77(6), 1632-1639.
- Xiang, J., Peng, J.P., Pang, Y., Zhou, B.L. and Chen, G.J. (2008). Study on sediment salinity release in estuaries and lagoons. *Journal of China Hydrology*, 28(4), 12-15.
- Xu, L.Z. (2001). Discussion about the struction of coastal reservoir in Northern Jiangsu Province. *Jiangsu Water Resources*, 11, 34-35.
- Wang, L.Q. and Zhu, M. (2014). Seawater intrusion in the eastern coastal area of Changli County and the prevention measures. *Journal of Hebei Engineering & Technical College*, 3, 30-32.
- Wu, G.H., Li, J.Z. and Li, X.J. (2010). Cause and prevention countermeasures of water salinization of city water supply reservoir in the coastal region of Tianjin. *Water Resources Protection*, 26(1), 29-31.
- Yu, K. (1996). Analysis and prediction of water desalination in Zhejiang Haitu reservoir. *Environmental Pollution and Prevention*, 8(2), 27-29.
- Yang, S.Q. and Ferguson, S. (2010). Coastal reservoirs can harness stormwater. *Water Engineering Australia*, 8, 25-27.