بررسی آزمایشگاهی تاثیر هم‌زمان چاه برداشت و دیوار آب‌بند برکاهش هجوم آب شور در آبخوان ساحلی

پوریا مقری[۱] ، مهدی رضاپور[۲*] ، عباسعلی رضاپور[۳]

[۱] دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، pezhvaofficial2018@gmail.com
[۲*] استادیار دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، rezapour@cmu.ac.ir
[3] استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی بیرجند، abbas.rezapoor@birjandut.ac.ir

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۱۷
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۲

کلمات کلیدی:
هجوم آب شور
آبخوان‌های ساحلی
دیوار آب‌بند
چاه برداشت
مدل‌سازی آزمایشگاهی

چکیده

امروزه بالا آمدن آب دریاها و برداشت بی رویه از آبخوان های ساحلی باعث هجوم آب شور به سوی منابع آ زیرزمینی گردیده است. بطوریکه محققان را بر آن داشته تا در دهه های اخیر پژوهش هایی را در این خصوص آغاز کنند. در این مطالعه، عملکرد استفاده از دیوار آب بند، چاه برداشت و استفاده همزمان آنها در جلوگیری از هجوم آب شور در یک مدل آزمایشگاهی و تحت سناریوهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان می دهد که استفاده مناسب از دیوار آب بند به میزان ۱۵ درصد باعث کاهش نفوذ آب شور خواهد شد. بعلاوه استفاده از چاه برداشت با دبی های ۰/۰۶۵، ۰/۱۳ و ۰/۲ لیتر بر دقیقه، به ترتیب به میزان ۵، ۳۰ و ۳۷ درصد باعث بازگشت گوه آب شور می شوند. نتایج استفاده همزمان از چاه برداشت با دبی های ۰/۱۳ و ۰/۲ لیتر بر دقیقه و دیوار آب بند نشان داد که گوه آب شور به ترتیب ۳۸ و ۴۱ درصد عقب نشینی کرده است.

Laboratory study of the simultaneous effect of discharge well and cut of wall on reducing saltwater intrusion in coastal aquifers.

Pouria Moghri[1], Mehdi Rezapour[2*], Abbasali Rezapour[3]

[1] MSc student, Chabahar Maritime University; pezhvaofficial2018@gmail.com
[2] Assistant Professor, Chabahar Maritime University; rezapour@cmu.ac.ir*
[3]Assistant Professor, Birjand University of Technology; abbas.rezapoor@birjandut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 9 Oct 2022
Accepted: 23 Dec 2023

Keywords:
Salt water intrusion
Coastal aquifers
Cut of wall
Discharge well
Laboratory modeling

ABSTRACT

These days, the sea level rising and excessive harvesting of coastal aquifers has caused the intrusion of saltwater to underground water sources. In this study, the performance of the use of cut of wall, discharge well and their simultaneous use in preventing saltwater intrusion has been evaluated in a laboratory model and under different scenarios. The results show that the appropriate use of the wall will reduce salt water penetration by 15%. In addition, the use of discharge well with flow rates of 0.065, 0.13 and 0.2 liters per minute will cause the return of salt water wedge by 5, 30 and 37%, respectively. The results of the simultaneous use of the discharge well with flow rates of 0.13 and 0.2 liters per minute and the cut of wall showed that the salt water wedge has retreated by 38 and 41%, respectively.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.37.7.2]
[DOI: 10.52547/marineeng.18.37.79]

۱ - مقدمه

آبخوان‌ها یکی از مهم‌ترین منابع تامین آب مصرفی در جوامع بشری می‌باشند. متاسفانه مجاورت این آبخوان‌ها با دریاها باعث نفوذ آب دریا به درون آبخوان‌های ساحلی شده است. در حالت طبیعی سطح تراز آب شیرین بالاتر از تراز آب دریا می‌باشد و آب شیرین به درون دریا تخلیه می‌گردد و آب دریا به دلیل داشتن چگالی بیشتر از اعماق آبخوان به سمت آب شیرین نفوذ می‌کند و ناحیه اختلاطی را به وجود می‌آورد [۱]. با گسترش شهرنشینی و وابستگی بشر به صنعت، نیاز انسان به آب شیرین در این نواحی بیشتر شده و با برداشت بی‌رویه از حوضه آبخوان‌ها شاهد هجوم آب شور دریاها در آبخوان‌های ساحلی می‌باشیم. پدیده هجوم آب دریا برای نخستین بار توسط گی‌بن در زمان برداشت آب شیرین در آمستردام مشاهده شد. پس از آن نیز هرزبرگ در جزایر آلمانی دریای شمال به تحلیل و تشریح پدیده هجوم آب شور پرداخت و این دو نفر به صورت انفرادی به بیان معادله‌ای بر پایه تعادل استاتیکی بین آب شور و شیرین پرداختند که چندین سال بعد به معادله گی‌بن-هرزبرگ معرف شد [۲].

امروزه به علت مهم بودن نواحی ساحلی از نظر سیاسی، اقتصادی و تفریحی حجم گسترده‌ای از جمعیت جهان در این مناطق سکونت دارند [3,4]. پیش‌بینی می‌شود که حدود دوسوم از جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ در این مناطق ساکن شوند [5]. از طرفی گرمایش زمین و بالاآمدن سطح آب دریاها و اقیانوس‌ها همچنین کمبود نزولات جوی و به طبع کاهش تغذیه طبیعی از علل تاثیرگذار بر هجوم آب دریا در آبخوان‌های ساحلی می‌باشد [۸,۷,۶]. باتوجه به اینکه ناحیه اختلاطی آب شور و شیرین به سمت آبخوان حرکت کرده و عرض آن به سمت آبخوان پیشروی می‌کند و خود را به چاه احداث شده برداشت آب شیرین می‌رساند باعث غیرفعال شدن چاه می‌شود [۹]. در بررسی واکنش هجوم آب شور از طریق مدل آزمایشگاهی، مدل‌سازی عددی و تحلیل معادلاتی در آبخوان‌های ساحلی می‌توان به پژوهش‌های ژانگ و همکاران ۲۰۰۲ [۱۰]، تورن و همکاران ۲۰۰۲ [۱۱]، گاسورامی و کلمنت ۲۰۰۷ [۱۲]، عبدالهی‌نسب و همکاران ۲۰۱۰ [۱۳]، چانگ و کلمنت ۲۰۱۲ [۱۴]،مهدی‌زاده و همکاران ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ [۱۶,۱۵] و همچنین مهدی‌زاده و وفایی ۲۰۱۶ [۵] اشاره کرد.

جهت کنترل و جلوگیری از هجوم آب شور در آبخوان‌های ساحلی شیوه‌های مختلفی موجود می‌باشد که میتوان به اصلاح الگو پمپاژ آب شیرین، تغذیه طبیعی، مانع هیدرولیکی مثبت (چاه تغذیه)، مانع هیدرولیکی منفی(چاه برداشت) و موانع فیزیکی اشاره داشت[۲۰,۱۹,۱۸,۱۷].

با توجه به کاهش نزولات جوی و کمبود باران به منظور تغذیه طبیعی و نیز کارآمدی پایین و هزینه بر بودن تغذیه مصنوعی روشی کم کارآمد و هزینه بر می‌باشد. با وجود مشکلات اجرایی فراوان استفاده از موانع فیزیکی و چاه برداشت گزینه‌های کارآمد و معقول‌تری می‌باشند[۲۲,۲۱].

در روش جلوگیری از هجوم آب دریا با ایجاد مانع فیزیکی با سه دسته از موانع روبه‌رو هستیم: ۱- موانع فیزیکی نیمه نفوذپذیر که از بالا تا پایین ضخامت آبخوان را در بر می‌گیرند. ۲- مانع فیزیکی از کف(سد زیرزمینی) که از نفوذپذیری بسیار کمی برخوردار می‌باشد و در کف آبخوان احداث می‌گردد و از پیشروی پنجه گوه آب شور جلوگیری می‌کند. ۳- مانع فیزیکی از بالا(دیوار آب‌بند) که از نفوذپذیری کمی برخوردار می‌باشد و از بالای لایه‌آبدار به درون آبخوان نفوذ می‌کند و تنها ناحیه فوقانی آبخوان را در مقابل هجوم آب شور مسدود می‌نماید[۲۲].

ماهشاه در سال ۲۰۰۹ [۲۳] در یک پژوهش و همچنین با همکارانش در سال ۲۰۱۴ [۲۴] به بررسی اثر مانع فیزیکی نیمه نفوذپذیر برروی برداشت آب شیرین از سطح آبخوان پرداختند. بررسی آنان حاکی از آن بود که مانع فیزیکی نیمه نفوذپذیر باعث کاهش سرعت هجوم آب شور در آبخوان در زمان‌های خشکسالی با شرایط برداشت پیوسته آب شیرین می‌شود. او نیز با شبیه‌سازی عددی توانست نزدیک‌ترین فاصله جهت احداث مانع فیزیکی نیمه نفوذپذیر با مرز آب شور را تشخیص دهد. همچنین نیز با پژوهش‌های خود توانستند نرخ پمپاژ ایمن جهت برداشت آب شیرین با حضور مانع فیزیکی را بدست آورند.

آژانس سبز ژاپن در سال ۲۰۰۴ در پروژه میدانی خود جهت کنترل و جلوگیری از هجوم آب شور پانزده سد زیرزمینی را راه‌اندازی کرد که در بررسی عملکرد این موانع مشخص گردید هفت تا از پانزده سد زیرزمینی موثر واقع شده‌اند[۲۵].

لیون و همکاران در سال ۲۰۰۹ با بررسی آزمایشگاهی و شبیه‌سازی عددی به اثر استفاده از سد زیرزمینی در جلوگیری از هجوم آب دریا در آبخوان ساحلی پرداختند. آنان دریافتند پس از ساخت مانع فیزیکی از کف نخست قسمتی از گوه آب شور در پشت سد گیر می‌کند و مقداری رو به جلو حرکت می‌کند و پهن می‌شود و پس از مدتی کاملا محو می‌گردد[۱۹].

انور در سال ۱۹۸۳ [۲۶] به پژوهشی در رابطه با تاثیر دیوار آب‌بند بر هجوم آب شور پرداخت و به یک رابطه تحلیلی جهت تعیین ناحیه اختلاط با وجود دیوار آب‌بند رسید. لیون و همکاران در سال ۲۰۱۱ [۲۷] به تاثیر استفاده از چاه تزریق آب شیرین و دیوار آب‌بند جهت کنترل هجوم آب شور در یک مدل آزمایشگاهی و شبیه‌سازی عددی پرداختند. عبدالهلیک و همکاران در سال ۲۰۱۷ [۲۹,۲۸] به تاثیر آزمایشگاهی و عددی استفاده از دیوار آب‌بند در آبخوان‌های ساحلی ناهمگن و همچنین به تاثیر استفاده از دیوار آب‌بند با حضور سد زیرزمینی بر جلوگیری از هجوم آب دریا پرداختند.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.37.7.2]
[DOI: 10.52547/marineeng.18.37.79]

نورآبادی و همکاران در سال ۲۰۱۷ [۳۰]، به بررسی آزمایشگاهی و عددی تاثیر سد زیرزمینی در جلوگیری از هجوم آب شور دریا در آبخوان‌های ساحلی پرداختند. آن‌ها از یک مدل آزمایشگاهی کارا و همچنین مدل عددی Seawat برای شبیه‌سازی سناریوهای آزمایشی استفاده کردند. نتایج پژوهش نشان داد استفاده از یک محیط متخلخل با نفوذپذیری کم به عنوان یک مانع زیرزمینی تاثیر بسیار قابل توجهی در جلوگیری از هجوم آب شور به سمت آبخوان دارد. استفاده از این نوع موانع حتی در شرایط برداشت آب از آبخوان و تحت شرایط گرادیان هیدرولیکی مختلف نیز بسیار موثر است. در این تحقیق علاوه بر نتایج تصویری حاصل از داده های آزمایشگاهی، اطلاعات دقیقتری نیز با استفاده از مدل عددی از نحوه حرکت جبهه آب شور به دست آمد.

ظهرابی مطلق و همکاران در سال ۲۰۱۹ [۳۱]، به بررسی آزمایشگاهی نفوذ آب شور و کنترل آن با استفاده از دیوار آب‌بند در آبخوان‌های ساحلی پرداختند. آن‌ها برای برداشت نتایج دقیق‌تر از فن پردازش تصویر استفاده نمودند. در دو سناریوی پیشروی آب شور در محیط همسان و ناهمسان نتایج نشان‌گر آن بود که هر چه محیط متخلخل ناهمسان‌تر باشد نفوذ آب شور در مدل آزمایشگاهی بیشتر است و حضور دیوار آب‌بند جهت جلوگیری از هجوم آب شور در این محیط همسان مؤثرتر از محیط غیر همسان می‌باشد. ضمنا پیشروی گوه آب شور با حضور دیوار آب‌بند در شرایط محیط ناهمسان کمتر است به‌طوری‌که استفاده از دیوار آب‌بند در نفوذ آب شور در محیط همسان ۱۰۰ ٪ تأثیرگذار بوده و تأثیرگذاری حضور دیوار آب‌بند در محیط ناهمسان تقریباً حدود ۹۲ ٪ باعث کاهش جلوگیری از هجوم آب شور در مدل فیزیکی آنان است. پس از انجام آزمایش‌های مختلف با تغییر سناریوهای استفاده از دیوار آب‌بند با عمق‌های متفاوت در دو محیط همسان و ناهمگن بهترین حالت اجرای مانع فیزیکی از بالا به ترتیب در شرایط همسان وجود دیوار آب‌بند در عمق ۸۰ سانتی‌متری از ضخامت آبخوان و فاصله ۲۰ سانتی‌متری از مرز آب است.

باتوجه به پژوهش‌های گسترده در مسئله نفوذ آب شور و شیوه‌های جلوگیری و کنترل هجوم آب شور هنوز شکاف‌های علمی در این زمینه وجود دارد. از این رو در این تحقیق به بررسی اثر چاه برداشت آب شور و دیوار آب‌بند به عنوان یک مانع هیدرولیکی و یک مانع فیزیکی و همچنین اثر توام چاه برداشت و دیوار آب‌بند در یک مدل آزمایشگاهی جهت جلوگیری از هجوم آب شور در آبخوان ساحلی پرداخته می‌شود [۱۵,۱۴,۱۲].

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ تجهیزات آزمایشگاهی

آزمایش‌ها در یک مدل دو بعدی شیشه‌ای با ابعاد ۵×۶۰×۱۶۰ (عرض×ارتفاع×طول) سانتی‌متر انجام گرفت که ۱۴۰ سانتی‌تر از فلوم آزمایشگاهی را ناحیه متخلخل که شامل دانه‌های شیشه‌ای است تشکیل می‌دهد(شکل ۱). در سمت راست و چپ محیط متخلخل محفظه‌هایی جهت کنترل ورود و خروج آب شیرین و شور تعبیه گردید تا حضور بشکه‌های آب در جوانب محفظه آزمایشگاهی وظیفه تامین آب و ثابت نگه‌داشتن هد آب شور و شیرین را انجام دهد. شیرهایی از جنس پلاستیک با ارتفاع‌های ۴۷/۵ و ۴۳ سانتی‌متری در سمت راست محفظه و با ارتفاع‌های ۴۵/۷ و ۴۱ سانتی‌متری در سمت چپ محفظه تعبیه گشتند تا امکان تغییر هد آب شیرین و شور را فراهم آورند. برای جلوگیری از ورود دانه‌های شیشه‌ای به درون محفظه‌های جانبی از ورق‌های آلومینومی مشبک شده(به حالت زیگزاگی) استفاده و پس از آن دورتادور صفحات مشبک توسط لایه‌ای پارچه‌ای گرفته شد.

برای ایجاد محیط متخلخل و نمایش واضح نفوذ آب شور در آب شیرین از دانه‌های شیشه‌ای با قطر بین ۵۹۵ تا ۱۱۹۰ میکرون و وزن مخصوص ۲۴۰۰ کیلوگرم بر متر معکب استفاده گردید. آب شیرین مورد نیاز آزمایشات با جرم حجمی ۹۹۶ کیلوگرم بر متر مکعب در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تامین شد. جهت تفاوت و تشخیص آب شور نسبت به آب شیرین طبق تحقیقات پیشین از رنگ خوراکی قرمز استفاده گردید. برای هر آزمایش آب شور مورد نیاز با افزودن ۳۵ گرم نمک دریا در هر لیتر آب شیرین و ۱ سی‌سی رنگ قرمز در آن درون بشکه‌های ۶۰ لیتری آماده گردید. چگالی آب شور اندازه‌گیری شده به طور میانگین ۱۰۲۴ کیلوگرم بر متر مکعب بود.

در آزمایشات از ورق آلومینومی غیر قابل نفوذ به عنوان دیوار آب‌بند استفاده گردید(شکل۲). جهت برداشت آب شور نیاز به استفاده از یک چاه برداشت(مانع هیدرولیکی منفی) بود. چاه برداشت استفاده شده در این پژوهش از چنس پی.وی.سی(P.V.C) بود که انتهای آن پلمپ شده و از قسمت انتهایی به ارتفاع ۵ سانتی‌متر با مته شماره ۵ سوراخ گردید. دورتادور لوله مورد نظر با لایه‌ای ایزوله شد تا مانع ورود دانه‌های شیشه‌ای به داخل چاه شود(شکل ۳). برای برداشت آب از چاه از روش آب‌شویه(سیفون) استفاده گردید. جهت ثابت ماندن دبی استخراج از یک شیر تقسیم هوای دو قفله مخصوص از جنس استیل استفاده شد.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.37.7.2]
[DOI: 10.52547/marineeng.18.37.79]



شکل ۱- نمایی از فلوم آزمایشگاهی و مخازن(بشکه‌های) هد ثابت.



شکل ۲- ورق آلومینومی استفاده شده به عنوان مانع فیزیکی.



شکل ۳- تصویری از چاه برداشت از جنس لوله پی.وی.سی.

۲-۲ اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی در آزمایشگاه

برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی از روش برداشت در محل آزمایش همراه با فلوم ماسه‌ای(نمونه آزمایشگاهی) استفاده گردید. ابتدا یک جریان دائمی با گرادیان هیدرولیکی مشخص در نمونه آزمایشگاهی ایجاد شد پس از آن با تکیه بر قانون دارسی هدایت هیدرولیکی محیط متخلخل محاسبه گردید. روند برداشت بدین صورت بود که ابتدا محیط متخلخل از آب اشباع و سپس شیرهای خروجی جریان آب در محفظه‌های جانبی به صورتی تنظیم گشتند که گرادیان هیدرولیکی مورد نظر را درون آبخوان اعمال کنند. جهت ایجاد گرادیان هیدرولیکی، آب شیرین از پایین محفظه سمت راست وارد شده و از ارتفاع مشخص شده ۴۷/۵ سانتی‌متری محفظه سمت راست و از ارتفاع ۴۵/۷ سانتی‌متری سمت چپ سرریز می‌گردید. پس از پایداری جریان آب دبی تخلیه آب از محفظه سمت چپ اندازه‌گیری شد. با بدست آمدن دبی جریان و داشتن مقادیر گرادیان هیدرولیکی و سطح مقطع جریان آب با استفاده از قانون دارسی، هدایت هیدرولیکی محیط متخلخل اندازه‌گیری شد. این عمل تحت گرادیان‌های متفاوتی تکرار و میانگین‌گیری شد تا در نهایت مقدار هدایت هیدرولیکی از این روش در محدوده ۰/۸ تا ۰/۸۶ سانتی‌متر بر ثانیه بدست آمد.

۲-۳ فرآیند آزمایش

۲-۳-۱ هجوم آب شور

پیش از وارد نمودن دانه‌های شیشه‌ای به محفظه مرکزی مدل، مدل آزمایشگاهی از آب شیرین پر گردید. آنگاه دانه‌ها در لایه‌های ۸ سانتی‌متری به درون محفظه مرکزی مدل ریخته و به‌صورت یکنواخت متراکم و فشرده شدند. با این کار ضمن توزیع یک‌جور دانه‌ها، حباب‌های هوای گیر افتاده مابین دانه‌های شیشه‌ای در قسمت محیط متخلخل حذف گشتند. در شرایطی که محیط متخلخل از آب شیرین اشباع بود، شیرهای تخلیه آب در محفظه-های جانبی سمت راست و سمت چپ به ترتیب در ترازهای ۴۷/۵ سانتی‌متری و ۴۵/۷ سانتی‌متری باز گردیدند. آب شیرین از پایین به محفظه سمت راست وارد شد تا ضمن ثابت کردن آب در تراز ۴۷/۵ سانتی‌متری محفظه، جریان آب از داخل محیط متخلخل گذر کند و از ارتفاع ۴۵/۷ سانتی‌متری محفظه سمت چپ بیرون ریخته شود. بعد از رسیدن جریان آب به شرایط پایدار، آب شور قرمز رنگ از پایین به محفظه سمت چپ وارد گردید. آب شور، با چگالی بالاتر نسبت به آب شیرین به‌سرعت جایگزین آب شیرین در محیط متخلخل شد و فرآیند پیشروی آب شور با تشکیل گوه آب شور درون محیط متخلخل آغاز گردید. باگذشت زمان گوه آب شور نفوذ کرد تا اینکه سرانجام سیستم به شرایط پایدار رسید.

۲-۳-۲ حضور چاه برداشت بر کاهش هجوم آب شور

فرآیند ابتدایی همه آزمایش‌ها باهم شباهت داشتند و در همه آن‌ها مراحل زیر انجام پذیرفت: الف) نخست سطح تراز آب شیرین در محفظه‌های سمت راست و چپ به ترتیب در ترازهای ۴۷/۵ سانتی-متری و ۴۵/۷ سانتی‌متری تنظیم گشتند. سپس مشابه روش توصیف‌شده قسمت قبل یک جریان دائمی از سمت راست به سمت چپ محفظه میانی ایجاد گردید. ب) آب شور قرمزرنگ از پایین به محفظه سمت چپ وارد شد تا جانشین آب شیرین در محفظه

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.37.7.2]
[DOI: 10.52547/marineeng.18.37.79]

مستقر گردد. سپس به سیستم اجازه داده شد که آب شور، از عمق به داخل آبخوان نفوذ کند. ج) به سیستم اجازه داده شد تا جریان به شرایط پایدار برسد و پیشروی گوه آب شور در آبخوان متوقف گردد. جهت بررسی تاثیر چاه برداشت سه دبی برداشت مختلف با مقادیر ۰/۰۶۵، ۰/۱۳ و ۰/۲ لیتر بر دقیقه در نظر گرفته شد(جدول۱).

جدول ۱- سناریوهای انجام آزمایش جهت بررسی تاثیر چاه

ردیف	دبی برداشت چاه ($litr/min$)
۱	Q=۰/۰۶۵
۲	Q=۰/۱۳
۳	Q=۰/۲

۳-۳-۲ حضور دیوار آب‌بند بر کاهش هجوم آب شور

از دیوار آب‌بند به عنوان یک مانع فیزیکی استفاده گردید. مراحل انجام شده برای پیشروی گوه آب شور و رسیدن آن به شرایط پایدار که در قسمت قبل (اثر چاه برداشت بر کاهش هجوم آب شور) توصیف گردید در این قسمت نیز تکرار شد. در این قسمت با استفاده از یک ورق آلومینیومی به عنوان دیوار آب‌بند که در فاصله ۲۷ سانتی‌متری از مرز آب شور تا عمق ۵۴ سانتی‌متری(۸۹ ٪ از ضخامت آبخوان) را در برمی‌گیرد تعبیه شده بود.

۴-۳-۲ حضور هم‌زمان چاه برداشت و دیوار آب‌بند بر کاهش هجوم آب شور

فرآیند هجوم آب شور به آبخوان با تراز آب شیرین ۴۷/۵ سانتی‌متر و تراز آب شور ۴۵/۷ سانتی‌متری بود و آب شور به رنگ قرمز از کف فلوم آزمایشگاهی از محفظه سمت چپ شروع به نفوذ در محیط متخلخل آب شیرین شد. در این قسمت به تاثیر هم‌زمان استفاده از چاه برداشت و دیوار آب‌بند در آبخوان ساحلی پرداخته می‌شود. دیوار آب‌بند در فاصله ۲۹ سانتی‌متری از مرز دریا و در عمق ۵۴ سانتی‌متری از ضخامت آبخوان تعبیه و انتخاب شد. استفاده از چاه برداشت با مقادیر استخراج ۰/۰۶۵، ۰/۱۳ و ۰/۲ لیتر بر دقیقه در نظر گرفته شد. سناریوهای انجام آزمایش جهت تاثیر هم‌زمان استفاده از چاه برداشت و دیوار آب‌بند به شرح جدول ۱ است.

۳-نتایج و بحث

۳-۱ نتایج هجوم آب شور

آب شیرین در محفظه سمت راست در تراز ۴۷/۵ سانتی‌متری قرار گرفت و آب شور در محفظه سمت چپ در تراز ۴۵/۷ سانتی‌متری با رنگ قرمز قرار گرفت. آب شور به علت چگالی بالاتر نسبت به آب شیرین در محیط متخلخل نفوذ کرد و پس از رسیدن به شرایط پایدار پنجه گوه آب شور به فاصله ۵۳ سانتی‌متری از مرز آب شور رسید(شکل۴).

۳-۲ نتایج تاثیر چاه برداشت برکاهش هجوم آب شور

نتیجه شرایط پایدار هجوم گوه آب شور در آبخوان با در نظر گرفتن اثرات چاه برداشت با نرخ‌های استخراج ۰/۰۶۵، ۰/۱۳ و ۰/۲ لیتر بر دقیقه. همان‌طور که در اشکال ۵، ۶ و ۷ مشاهده می‌شود بعد از فعال‌سازی چاه برداشت، پنجه گوه آب شور به ترتیب به میزان‌های ۳، ۱۶ و ۲۰ سانتی‌متر به عقب بازگشت می کند. اثر وجود چاه برداشت با این دبی‌ها بر کاهش نفوذ آب شور در مدل آزمایشگاهی تقریباً به ترتیب حدود ۵ ٪، ۳۰ ٪ و ۳۷ ٪ است. شکل ۸ تصویری از تغییرات طول پنجه گوه آب شور و بازگشت طول پنجه گوه آب شور بعد از فعال‌سازی چاه برداشت با سه دبی ۰/۰۶۵، ۰/۱۳ و ۰/۲ لیتر بر دقیقه را نشان می‌دهد.

۳-۳ نتایج تاثیر دیوار آب‌بند برکاهش هجوم آب شور

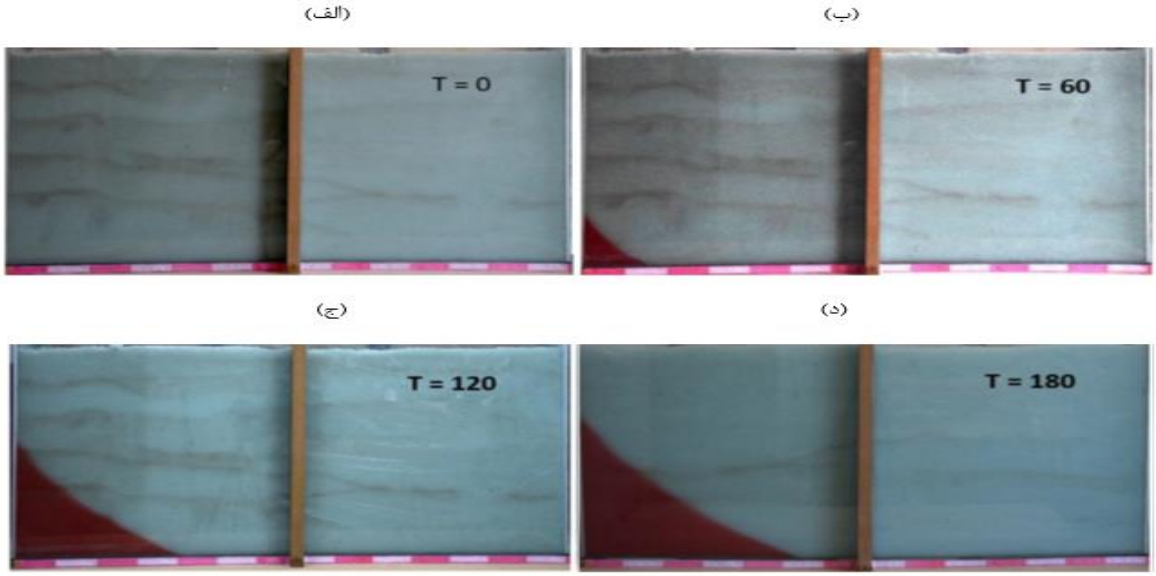
همان‌طور که در فصل قبل بیان شد، پس از مطالعه تحقیقات گذشته، دیوار آب‌بند در فاصله ۲۹ سانتی‌متری مرز آب شور و از سطح آب تا عمق ۵۴ سانتی‌متری از بالای فلوم آزمایشگاهی تعبیه شد. در این آزمایش دیوار آب‌بند حدود ۸۹ ٪ از ضخامت آبخوان را پوشش داد. پس از نصب دیوار آب‌بند گوه آب شور شروع به بازگشت به مرز آب شور کرد و سر انجام در فاصله ۴۵ سانتی‌متر متوقف گردید (شکل ۹). تأثیر استفاده از دیوار آب‌بند با شرایط اشاره شده باعث کاهش ۱۵ ٪ طول پنجه گوه آب شور در مدل آزمایشگاهی شد. شکل ۱۰ تغییرات پنجه گوه آب شور در آبخوان نسبت به زمان بعد از حضور دیوار آب‌بند را نشان می‌دهد.

۴-۳ نتایج تاثیر هم‌زمان چاه برداشت و دیوار آب‌بند برکاهش هجوم آب شور

در این بخش به بررسی و اثر وجود دیوار آب‌بند و چاه برداشت پرداخته می‌شود. همان‌طور که بیان گردید محل قرارگیری دیوار آب‌بند در ۲۹ سانتی‌متری مرز آب شور و عمق نفوذ آن ۵۴ سانتی-متری می‌باشد که حدود ۸۹ ٪ ضخامت آبخوان را در بر می‌گیرد. محل جای‌گذاری چاه برداشت نیز مانند قبل در فاصله ۲۲ سانتی-متری مرز آب شور و عمق ۵۲ سانتی‌متری از بالای فلوم

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.37.7.2]
[DOI: 10.52547/marineeng.18.37.79]

آزمایشگاهی می‌باشد که تقریباً تا عمق ۸۰ ٪ ضخامت آبخوان نفوذ کرده است. نتایج بدست آمده بیانگر آن است که اثر حضور دیوار آب‌بند موجب کاهش پنجه گوه می‌شود و در شرایط پایدار در فاصله ۴۵ سانتی‌متری از مرز آب شور قرار می‌گیرد. از طرفی فعال‌سازی چاه با نرخ‌های استخراج ۰/۰۶۵ لیتر بر دقیقه، تغییری در طول گوه آب شور ایجاد نمی‌کند. بنابراین دبی ۰/۰۶۵ لیتر بر دقیقه با حضور دیوار آب‌بند تاثیری در کاهش گوه آب شور ندارد و تاثیر استفاده هم‌زمان چاه برداشت و دیوار آب‌بند برکاهش هجوم آب شور با دبی‌های ۰/۱۳ و ۰/۲ لیتر بر دقیقه پنجه گوه آب شور به ترتیب به میزان‌های ۲۰ و ۲۲ سانتی‌متر به عقب بازگشت کرد(شکل ۱۱، ۱۲). اثر وجود هم‌زمان چاه برداشت و دیوار آب‌بند با این دبی‌ها بر کاهش نفوذ آب شور در مدل آزمایشگاهی تقریباً به ترتیب حدود ۳۸ ٪ و ۴۱ ٪ نسبت به طول اولیه هجوم آب شور و حدود ۲۷ ٪ و ۳۱ ٪ نسبت به حضور چاه برداشت موثر بوده است. (شکل ۱۳ تغییرات طول پنجه گوه آب شور و بازگشت طول پنجه گوه آب شور بعد از فعال‌سازی چاه برداشت با سه دبی ۰/۰۶۵، ۰/۱۳ و ۰/۲ لیتر بر دقیقه را نشان می‌دهد).

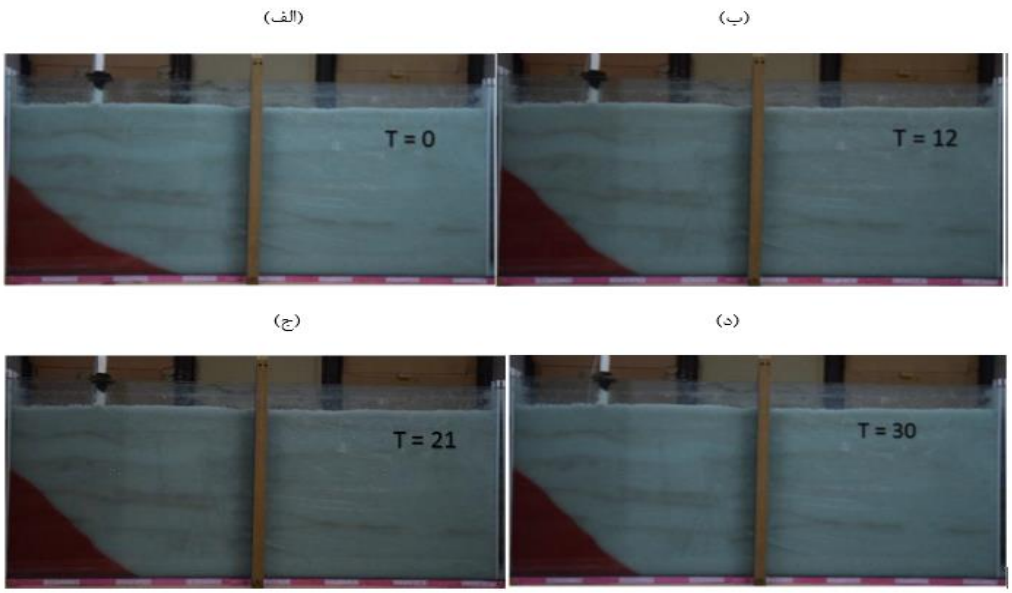


شکل۴- روند پیشروی آب شور در فلوم آزمایشگاهی در زمان‌های ۰، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه.

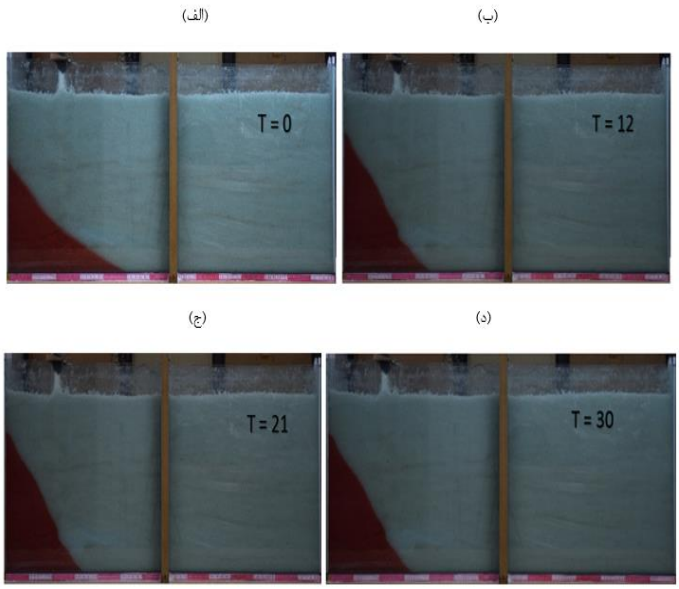


شکل ۵- گوه آب شور در مدل آزمایشگاهی هنگام استفاده هم‌زمان دیوار آب‌بند و چاه برداشت با دبی استخراج ۰/۰۶۵ لیتر بر دقیقه در شرایط پایدار.

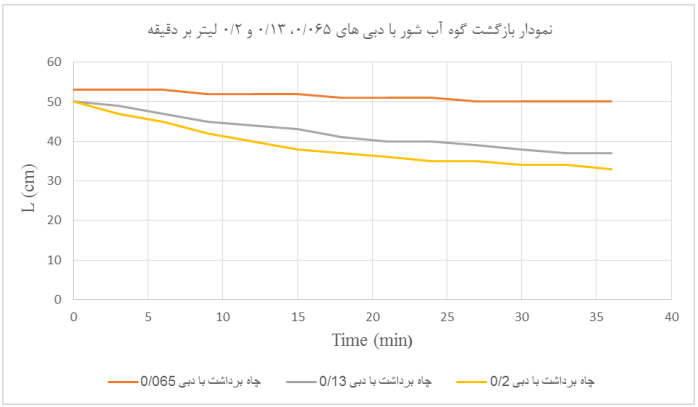
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.37.7.2]
[DOI: 10.52547/marineeng.18.37.79]



شکل ۶- تصاویر از روند بازگشت طول پنجه گوه آب شور در مدل فیزیکی با استفاده هم‌زمان دیوار آب‌بند و چاه برداشت با نرخ استخراج ۰/۱۳ لیتر بر دقیقه در زمان‌های ۰، ۱۲، ۲۱ و ۳۰ دقیقه.



شکل ۷- تصاویر از روند بازگشت طول پنجه گوه آب شور در مدل فیزیکی با استفاده از چاه برداشت با نرخ استخراج ۰/۲ لیتر بر دقیقه در زمان‌های ۰، ۱۲، ۲۱ و ۳۰ دقیقه.

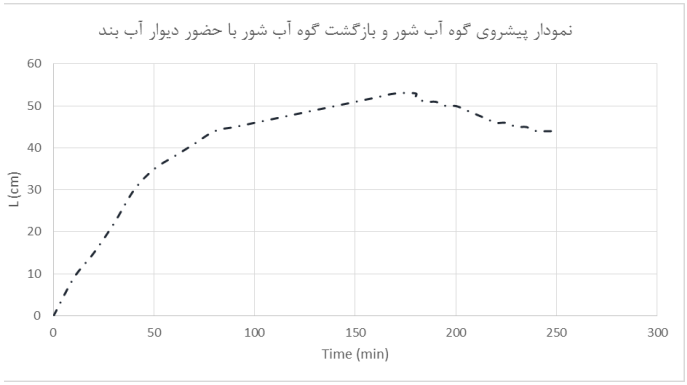


شکل ۸- تغییرات طول پنجه گوه آب شور و بازگشت طول پنجه گوه آب شور بعد از فعال‌سازی چاه برداشت با سه دبی ۰/۰۶۵، ۰/۱۳ و ۰/۲ لیتر بر دقیقه.

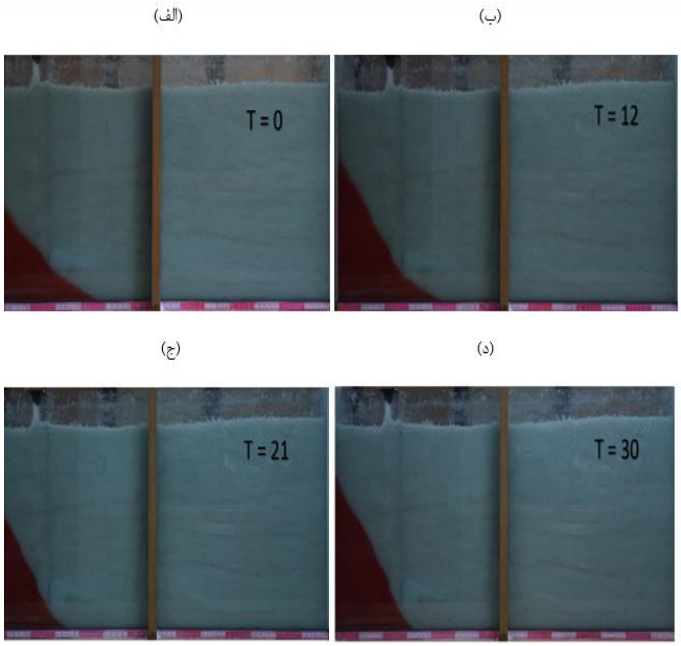


[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.37.7.2]
[DOI: 10.52547/marineeng.18.37.79]

شکل ۹- تاثیر دیوار آب‌بند را در فاصله ۲۹ سانتی‌متری از مرز آب شور.



شکل ۱۰- تغییرات پنجه گوه آب شور در آبخوان نسبت به زمان بعد از حضور دیوار آب‌بند.

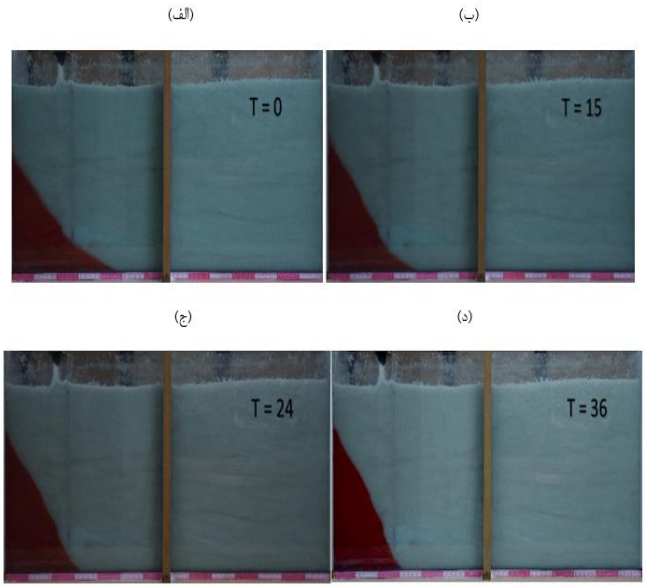


شکل ۱۱- روند بازگشت گوه آب شور در استفاده هم‌زمان دیوار و چاه برداشت با نرخ استخراج ۰/۱۳ لیتر بر دقیقه در زمان‌های ۰، ۱۲، ۲۱ و ۳۰ دقیقه.

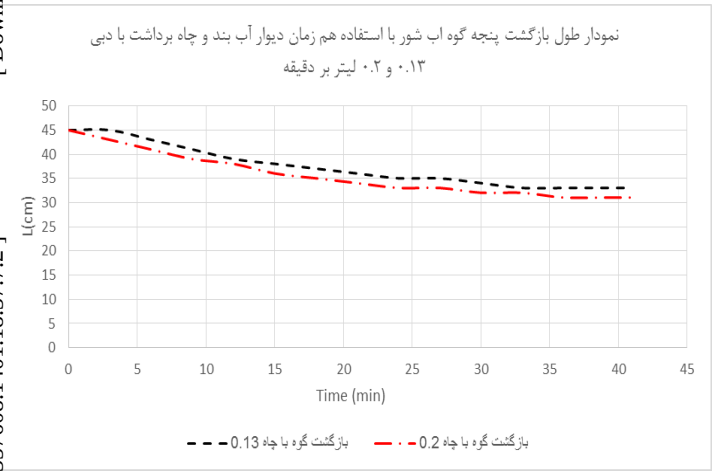
۴-نتیجه‌گیری

استفاده از چاه برداشت و دیوار آب‌بند به تنهایی و به صورت هم‌زمان در کاهش هجوم آب شور در آبخوان‌های ساحلی موثر است.

در چاه برداشت با افزایش دبی برداشت، گوه آب شور به مقدار قابل توجهی عقب نشینی خواهد کرد به صورتی که چاه برداشت در فاصله ۲۲ سانتی‌متری از مرز آب شور و عمق ۸۰٪ ضخامت آبخوان قرار گیرد با دبی های برداشت ۰/۰۶۵، ۰/۱۳ و ۰/۲ لیتر بر دقیقه گوه



شکل ۱۲ - روند بازگشت گوه آب شور با استفاده هم‌زمان دیوار و چاه برداشت با نرخ استخراج ۰/۲ لیتر بر دقیقه در زمان‌های ۰، ۱۵، ۲۴ و ۳۶ دقیقه.



شکل ۱۳- تغییرات طول پنجه گوه آب شور در هنگام استفاده هم‌زمان از دیوار آب‌بند و چاه برداشت با دبی ۰/۱۳ و ۰/۲ لیتر بر دقیقه.

آب شور از فاصله ۵۳ سانتی‌متری به ترتیب به فواصل ۵۲، ۳۷ و ۳۳ سانتی‌متری بازگشت داشته و به میزان ۵، ۳۰ و ۳۷ ٪ بر کاهش طول پنجه گوه موثر است.

استفاده از دیوار آب‌بند در فاصله ۲۷ سانتی‌متری از مرز آب شور با عمق ۸۹ ٪ ضخامت آبخوان، گوه آب شور از فاصله ۵۳ سانتی‌متری به فاصله ۴۵ سانتی‌متری از مرز آب شور پسروی کرده و ۱۵ ٪ باعث بازگشت گوه آب شور خواهد شد.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.37.7.2]
[DOI: 10.52547/marineeng.18.37.79]

استفاده هم‌زمان دیوار آب‌بند در فاصله ۲۷ سانتی‌متری از مرز دریا و عمق ۸۹ ٪ ضخامت آبخوان و چاه برداشت آب شور با دبی‌های برداشت ۰/۰۶۵، ۰/۱۲ و ۰/۲ لیتر بر دقیقه در فاصله ۲۲ سانتی‌متری از مرز آب شور و عمق ۸۰ ٪ ضخامت آبخوان گوه آب شور از فاصله ۵۳ سانتی‌متری به ترتیب به فواصل ۴۵، ۳۲ و ۳۱ سانتی‌متری از مرز آب شور بازگشت کرده و به میزان ۱۵، ۳۸ و ۴۱ ٪ بر کاهش طول پنجه گوه آب موثر بوده که عملکرد بهتری در جلوگیری از پیشروی آب شور در آبخوان‌های ساحلی نسبت به استفاده مجزای هر کدام از روش‌ها خواهد داشت.

5 – مراجع

1- Todd, D.K. and Mays, L.W., 2004. *Groundwater hydrology*. John Wiley & Sons.

2- Feseker, T., 2007. Numerical studies on saltwater intrusion in a coastal aquifer in northwestern Germany. *Hydrogeology Journal*, *15*(2), pp.267-279.

3- Jakovovic, D., Werner, A.D. and Simmons, C.T., 2011. Numerical modelling of saltwater up-coning: comparison with experimental laboratory observations. *Journal of hydrology*, *402*(3-4), pp.261-273.

4- MEHDIZADEH, M.S.S. and VAFAEI, F., 2016. *Experimental and Numerical Investigation on Saltwater Intrusion into Unconfined Coastal Aquifers*.

5- Băhnăreanu, C., 2019. World economic forum 2019: *globalization 4.0–A better version. Strategic Impact, (1-2), pp.79-82*.

6- Mahmoodzadeh, D., Ketabchi, H. and Ataie-Ashtiani, B., 2016. *Effects of sea level rise and recharge rate variations on seawater intrusion in confined aquifer. Journal of Hydraulics, 10(4), pp.1-*

7- Mahmoodzadeh, D., Ketabchi, H., Ataie-Ashtiani, B. and Simmons, C.T., 2014. *Conceptualization of a fresh groundwater lens influenced by climate change: A modeling study of an arid-region island in the Persian Gulf, Iran. Journal of Hydrology, 519, pp.399-413.*

8- Mahmoodzadeh, D., Ketabchi, H. and Ataie-Ashtiani, B., 2016. *Effects of sea level rise and recharge rate variations on seawater intrusion in confined aquifer. Journal of Hydraulics, 10(4), pp.1-*

9- Abd-Elhamid, H.F. and Javadi, A.A., 2011. *A density-dependant finite element model for analysis of saltwater intrusion in coastal aquifers. Journal of Hydrology, 401(3-4), pp.259-271*.

10- Zhang, Q., Volker, R.E. and Lockington, D.A., 2002. *Experimental investigation of contaminant transport in coastal groundwater. Advances in Environmental Research, 6(3), pp.229-237*.

11- Thorenz, C., Kosakowski, G., Kolditz, O. and Berkowitz, B., 2002. *An experimental and numerical investigation of saltwater movement in coupled saturated–partially saturated systems. Water Resources Research, 38(6), pp.5-1*.

12- Goswami, R.R., Ambale, B. and Clement, T.P., 2009. *Estimating errors in concentration measurements obtained from image analysis. Vadose Zone Journal, 8(1), pp.108-118*.

13- Abdollahi-Nasab, A., Boufadel, M.C., Li, H. and Weaver, J.W., 2010. *Saltwater flushing by freshwater in a laboratory beach. Journal of Hydrology, 386(1-4), pp.1-12.*

14- Chang, S.W. and Clement, T.P., 2012. *Experimental and numerical investigation of saltwater intrusion dynamics in flux-controlled groundwater systems. Water Resources Research, 48(9).*

15- Mehdizadeh, S.S., Werner, A.D., Vafaie, F. and Badaruddin, S., 2014. *Vertical leakage in sharp-interface seawater intrusion models of layered coastal aquifers. Journal of Hydrology, 519, pp.1097-1107.*

16- Mehdizadeh, S.S., Vafaie, F. and Abolghasemi, H., 2015. *Assessment of sharp-interface approach for saltwater intrusion prediction in an unconfined coastal aquifer exposed to pumping. Environmental Earth Sciences, 73(12), pp.8345-8355.*

17- Mahmoodain Shooshtari, M. 2019. *Hydraulics of Groundwater. 2nd ed. Chamran martyr (Shahid) of Ahwaz University. (In Persian)*

18- Abarca, E., Vázquez-Suñé, E., Carrera, J., Capino, B., Gámez, D. and Batlle, F., 2006. *Optimal design of measures to correct seawater intrusion. Water resources research, 42(9).*

19- Luyun Jr, R., Momii, K. and Nakagawa, K., 2009. *Laboratory-scale saltwater behavior due to subsurface cutoff wall. Journal of Hydrology, 377(3-4), pp.227-236*.

20- Pool, M. and Carrera, J., 2010. *Dynamics of negative hydraulic barriers to prevent seawater intrusion. Hydrogeology Journal, 18(1), pp.95-105.*

21- Abd-Elhamid, H.F. and Javadi, A.A., 2011. *A density-dependant finite element model for analysis of saltwater intrusion in coastal aquifers. Journal of Hydrology, 401(3-4), pp.259-271*.

22- Kaleris, V.K. and Ziogas, A.I., 2013. *The effect of cutoff walls on saltwater intrusion and groundwater extraction in coastal aquifers. Journal of Hydrology, 476, pp.370-383.*

23- Mahesha, A., 2009. *Conceptual model for the safe withdrawal of freshwater from coastal aquifers. Journal of Environmental Engineering, 135(10), pp.980-988.*

24- Mahesha, A. and Lakshmikant, P., 2014. *Saltwater intrusion in coastal aquifers subjected to freshwater pumping. Journal of Hydrologic Engineering, 19(2), pp.448-456.*

25- Hudak, P.F., 2004. *Principles of hydrogeology. CRC Press.*

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.37.7.2]
[DOI: 10.52547/marineeng.18.37.79]

26- Anwar, H.O., 1983. *The effect of a subsurface barrier on the conservation of freshwater in coastal aquifers. Water Research, 17(10), pp.1257-1265.*
27- Luyun Jr, R., Momii, K. and Nakagawa, K., 2011. *Effects of recharge wells and flow barriers on seawater intrusion. Groundwater, 49(2), pp.239-249.*
28- Abdoulhalik, A., Ahmed, A. and Hamill, G.A., 2017. *A new physical barrier system for seawater intrusion control. Journal of Hydrology, 549, pp.416-427.*
29- Abdoulhalik, A. and Ahmed, A.A., 2017. *The effectiveness of cutoff walls to control saltwater intrusion in multi-layered coastal aquifers: Experimental and numerical study. Journal of Environmental Management, 199, pp.62-73.*
30- *Noorabadi, Saeed and Ashraf Sadraldini, Seyed Ali and Nazimi, Amir Hossein and Delir Hasannia, Reza, 2016, experimental and numerical investigation of the effect of underground dam to prevent the inflow of sea salt water into coastal aquifers, the second national conference on water resources management in coastal areas, Sari, https://civilica.com/doc/941908* (In Persian)
31- Ali Zohrabi Motlagh, Mehrdad Shahrbanouzadeh, S. Sadjad Mehdizadeh, (2022). *'Experimental Investigation on the Impact of Cutoff Wall on Seawater Recession in Coastal Aquifers Using Image Processing Technique', Iran Water Resources Research, 17(3), pp.302-316. magiran.com/p2372634.* (In Persian).

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1401.18.37.7.2]
[DOI: 10.52547/marineeng.18.37.79]