

# راهنمای بررسی پیشروی آب‌های شور در آبخوان‌های ساحلی و روش‌های کنترل

نشریه شماره ۲۷۷

وزارت نیرو  
سازمان مدیریت منابع آب ایران  
دفتر استانداردها و معیارهای فنی  
<http://www.wrm.or.ir/standard>

سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور  
معاونت امور فنی  
دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی  
<http://www.mporg.ir/fanni/s.htm>

جمهوری اسلامی ایران  
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

# راهنمای بررسی پیشروی آب‌های شور در آبخوان‌های ساحلی و روش‌های کنترل آن

نشریه شماره ۲۷۲

وزارت نیرو  
سازمان مدیریت منابع آب ایران  
دفتر استانداردها و معیارهای فنی

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور  
معاونت امور فنی  
دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی

## فهرست برگه

سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور. دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی راهنمای بررسی پیشروی آبهای شور در آبخوانهای ساحلی و روشهای کنترل آن/ معاونت امور فنی، دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی؛ وزارت نیرو، سازمان مدیریت منابع آب ایران، دفتر استانداردها و معیارهای فنی. - تهران: سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، معاونت امور پشتیبانی، مرکز مدارک علمی و انتشارات، ۱۳۸۳.

۲۷ص: مصور. - (سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور. دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی؛

نشریه شماره ۲۷۷) انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور؛ ۸۳/۰۰/۱۷

ISBN 964-425-493-7

مربوط به بخشنامه شماره ۱۰۱/۲۲۸۵۴۹ مورخ ۱۳۸۲/۱۲/۵

کتابنامه: ص. ۲۷

۱. آبهای شور. الف. سازمان مدیریت منابع آب ایران. دفتر استانداردها و معیارهای فنی.

ب. سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور. مرکز مدارک علمی و انتشارات. ج. عنوان. د. فروست.

۱۳۸۳ ش. ۲۷۷. س ۲۴/ ۳۶۸/ TA

ISBN 964-425-493-7

شابک ۹۶۴-۴۲۵-۴۹۳-۷

راهنمای بررسی پیشروی آبهای شور در آبخوانهای ساحلی و روشهای کنترل آن

ناشر: سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور. معاونت امور پشتیبانی. مرکز مدارک علمی و انتشارات

چاپ اول: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۵۰۰۰ ریال

تاریخ انتشار: سال ۱۳۸۳

لیتوگرافی: قاسملو

چاپ و صحافی: چاپ زحل

همه حقوق برای ناشر محفوظ است.



شماره: ۱۰۱/۲۲۸۵۴۹	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ: ۱۳۸۲/۱۲/۵	
<b>موضوع: راهنمای بررسی پیشروی آبهای شور در آبخوان‌های ساحلی و روش‌های کنترل آن</b>	
<p>به استناد آیین نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی موضوع ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و در چهارچوب نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور (مصوبه شماره ۲۴۵۲۵/ت/۱۴۸۹۸ هـ مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیأت وزیران) به پیوست نشریه شماره ۲۷۷ دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی این سازمان، با عنوان "راهنمای بررسی پیشروی آب‌های شور در آبخوان‌های ساحلی و روش‌های کنترل آن" از نوع گروه سوم ابلاغ می‌گردد.</p> <p>دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده نمایند و در صورتی که روشها، دستورالعمل‌ها و راهنماهای بهتر در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این نشریه الزامی نیست.</p> <p>عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها، روش‌ها یا راهنماهای جایگزین را برای دفتر امور فنی و تدوین معیارهای این سازمان، ارسال دارند.</p>	
<p style="text-align: center;">من ... التوفیق محمد ستاری فر معاون رییس جمهور و رییس سازمان</p>	

## اصلاح مدارک فنی

### خواننده گرامی :

دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این دستورالعمل نموده و آنرا برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را بصورت زیر گزارش فرمایید:

۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

۲- ایراد مورد نظر را بصورت خلاصه بیان دارید.

۳- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.

۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.

کارشناسان این دفتر نظرات در یافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، خیابان شیخ بهائی، بالاتر از ملاصدرا، کوچه لادن، شماره ۲۴ سازمان

مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی

[www.mporg.ir/fanni/S.htm](http://www.mporg.ir/fanni/S.htm)

صندوق پستی ۴۵۴۸۱ - ۱۹۹۱۷

## پیشگفتار

استفاده از ضوابط، معیارها و استانداردها در مراحل تهیه (مطالعات امکان سنجی) مطالعه و طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرحهای عمرانی بلحاظ توجیه فنی و اقتصادی طرحها، کیفیت طراحی و اجرا (عمر مفید) و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری از اهمیتی ویژه برخوردار می‌باشد.

نظام فنی و اجرایی طرحهای عمرانی کشور (مصوبه مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیأت محترم وزیران) بکارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام‌شده طرحها را مورد تأکید جدی قرار داده است.

با توجه به مراتب یاد شده و شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، امور آب وزارت نیرو (طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور) با همکاری معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (دفتر امور فنی و تدوین معیارها) براساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه اقدام به تهیه استانداردهای مهندسی آب نموده است.

استانداردهای مهندسی آب با در نظر داشتن موارد زیر تهیه و تدوین شده است:

- استفاده از تخصصها و تجربه‌های کارشناسان و صاحبانظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی
  - استفاده از منابع و مآخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی
  - بهره‌گیری از تجارب دستگاههای اجرایی، سازمانها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت
  - پرهیز از دوباره‌کاریها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور
  - توجه به اصول و موازین مورد عمل مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و سایر مؤسسات تهیه‌کننده استاندارد
- ضمن تشکر از کارشناسان محترم برای بررسی و اظهار نظر در مورد این استاندارد، امید است مجریان و دست‌اندرکاران بخش آب، با بکارگیری استانداردهای یاد شده، برای پیشرفت و خودکفایی این بخش از فعالیتهای کشور تلاش نموده و صاحبانظران و متخصصان نیز با اظهار نظرهای سازنده در تکامل این استانداردها مشارکت کنند.

معاون امور فنی

زمستان ۱۳۸۲

## ترکیب اعضای کمیته

ترکیب اعضای کمیته فنی شماره ۱۲ گروه کیفیت که در تهیه و تدوین این استاندارد مشارکت داشته‌اند به شرح زیر هستند:

کارشناس زمین‌شناسی	خانم فیروزه امامی
کارشناس آبیاری و آبادانی	خانم زهرا ایزدپناه
کارشناس زمین‌شناسی و آب‌شناسی	آقای رحمتعلی براتعلی
کارشناس مهندسی عمران آب	آقای ماشاله تابع‌جماعت
کارشناس شیمی و مهندسی بهداشت	آقای علی‌اکبر علوی
کارشناس زمین‌شناسی و آب‌شناسی	خانم فاطمه فروغی‌زاده
لیسانس مهندسی زمین‌شناسی و آب‌شناسی	آقای شهرام کریمی
کارشناس آبهای زیرزمینی	آقای بیژن مهرسا
کارشناس زمین‌شناسی و آب‌شناسی	آقای مهدی هاشمی

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۲	۱- پدیده پیشروی آبهای شور
۶	۱-۱ بررسی ضخامت سطح مشترک آب شور و شیرین
۷	۱-۱-۱ تعیین ضخامت حد آب شور و شیرین
۷	۲-۱-۱ شیب مرز مشترک آبهای شور و شیرین
۸	۳-۱-۱ طول ناحیه آغشته به آب شور
۹	۲-۱ تعیین سطح تماس آب شور و شیرین با استفاده از رابطه ورویج
۱۴	۳-۱ جلوگیری از نفوذ آب دریا و کنترل آن
۱۴	۱-۳-۱ بهینه‌سازی عملیات پمپاژ
۱۵	۲-۳-۱ تغذیه مصنوعی
۱۶	۳-۳-۱ ایجاد خط افت موازی با ساحل (لاوک پمپاژ)
۱۶	۴-۳-۱ افزایش ارتفاع سطح آب زیرزمینی در امتداد ساحل
۱۸	۵-۳-۱ ایجاد سدهای زیرزمینی
۱۸	۴-۱ شناخت املاح موجود در آبهای نفوذی دریا در سفره آب شیرین
۲۴	۲- تعیین حداکثر بده بهره‌برداری از آب شیرین
۲۶	۳- هجوم آب شور در دشتهای ساحلی و حاشیه‌های کویر ایران
۲۷	منابع و مآخذ



سرزمین ایران ۱۶۰ میلیون هکتار وسعت دارد و حدود  $\frac{۳}{۴}$  آن در مرکز و شرق قرار گرفته که ۳۲ میلیون هکتار آنرا کویر تشکیل می‌دهد. در این نواحی میانگین میزان بارندگی سالیانه کمتر از ۲۰۰ میلیمتر بوده و جزء مناطق خشک جهان محسوب می‌گردد. منابع آبی این کشور غنی نبوده، بیشترین بهره‌برداری از ذخایر آبهای زیرزمینی صورت می‌گیرد و از این رو این ماده حیاتی عامل محدود کننده مهمی در اجرای طرح‌های عمرانی بشمار می‌رود.

در برنامه پروژه‌های اجرایی کشور علاوه بر کمیت، کیفیت منابع آب نیز مدنظر می‌باشد. از اهم عواملی که باعث تغییر کیفیت و شوری آبها می‌گردند. وضعیت آب و هوایی، ساختار زمین شناسی ناحیه‌ای، هیدرولوژی و بالاخره اثر آب و دریاها بر آبخوانهای دشتهای ساحلی قابل ذکر هستند.

آبخوانهای دشتهای ساحلی در شمال و جنوب ایران و نیز آبخوانهای اطراف دریاچه‌های داخلی و باتلاقها در طولی حدود ۳۰۰۰ کیلومتر با آبهای شور در تماس بوده و آبهای زیرزمینی جزایر موجود بوسیله آبهای شور احاطه گشته و در معرض نفوذ آب دریا و شورشدگی قرار گرفته‌اند.

با بهره‌برداریهای بی‌رویه و کاهش فشار پیزومتريک، تعادل هیدرولیکی آبخوانهای ساحلی آب دریا برهم خورده و آب شور با شروع به پیشروی، این منابع را در معرض خطر آلودگی قرار داده است. در این نشریه، روشهای علمی و عملی بررسی و تعیین سرحد آبهای زیرزمینی شیرین و شور و برنامه‌های کنترل و تثبیت آنها ارائه شده است تا در مراحل بعد با بکارگیری مدل‌های بهره‌برداری و برداشت از آبهای زیرزمینی بتوان با افزایش فشار هیدرولیکی از نفوذ بیشتر آبهای شور جلوگیری نموده و اثر مخرب آنرا کاهش داد.

## ۱- پدیده پیشروی آبهای شور

در شرایط طبیعی آبهای زیرزمینی شیرین موجود در سفره های آبدار آزاد و یا تحت فشار ساحلی به دریاها یا دریاچه ها تخلیه می شوند و خط تماس متحرکی بین آبهای شیرین و شور ایجاد می شود. بهره برداری سنگین از آبخوانهای ساحلی بر روی گرادیان هیدرولیک تأثیر نموده و سبب می گردد تا آب دریا در فواصل بسیار دوری از ساحل در سفره های آبهای زیرزمینی پیشروی نماید، چنین پدیده ای به نام پیشروی آب شور<sup>۱</sup> مورد مطالعه قرار می گیرد. در بررسیهای مذکور فرض می شود آب شور و شیرین دو مایع مخلوط نشدنی با سطح تماس مشخص باشند که این تماس توسط تعادل هیدرودینامیکی مشخص می گردد.

گزارش اولیه درباره نفوذ آب شور در سال ۱۸۵۵ توسط آقای بردوایت<sup>۲</sup> منتشر گردید که در آن توضیحاتی درباره ازدیاد شوری آبهای پمپاژ شده از چاههای نواحی لندن و لیورپول انگلستان داده شده است.

بطور کلی هیدروژئولوژیست ها پذیرفته اند که حد بین آب شور و شیرین در سفره های ساحلی بستگی به تعادل نیروها بر سیستم دینامیک دارد. بطور طبیعی آب شیرین بطور غیر منقطع و با سرعتی که بستگی به بار فشار سفره آب نسبت به سطح دریا دارد به سمت دریا حرکت می نماید.

همانطور که هوبرت<sup>۳</sup> خاطر نشان ساخته نتیجه این حرکت این است که در یک سفره آب آزاد، آب شیرین به سمت دریا از طریق منطقه اشباع و از خط موج مد در فواصلی دور از ساحل به سمت دریا تخلیه می شود.

کوپر<sup>۴</sup> در سال ۱۹۵۹ توضیح داد که چگونه حرکت آب شور و شیرین در طول ناحیه تماس بیشتر به صورت باند قرار دارد تا یک خط راست.

در یک سفره تحت فشار و یا نیمه تحت فشار که بسوی دریا و در فاصله دور از ساحل باز است می توان یک جریان هیدرولیکی مشابه جریان فوق را انتظار داشت.

تازمانی که بار فشاری آب شیرین در سفره واقع در خشکی حفظ شود آب شیرین در محل رخنمون بسوی اقیانوس تخلیه شده و ناحیه تماس با آب شور در فاصله مجاور ساحل برقرار خواهد ماند.

---

1- Salt Water Intrusion

2 - Braith waite

3- Houbert

4 - Cooper

عملیات پمپاژ در خشکی بار فشاری آب شیرین را کاهش داده و بر اثر تغییر ارتفاع حرکت آب شیرین به سمت دریا کاهش می‌یابد. اگر شیب این ارتفاع بحد لازم برسد جریان آب شیرین به سمت مرز مشترک<sup>۱</sup> بطور کامل قطع خواهد شد.

با کاهش جریان آب شیرین سیستم ناپایدار گردیده و آب شور به سمت سفره هجوم خواهد برد در این حالت جبهه آب شور به سمت خشکی حرکت کرده و تا نقطه‌ای که بار فشار به تعادل برسد جریان خواهد یافت.

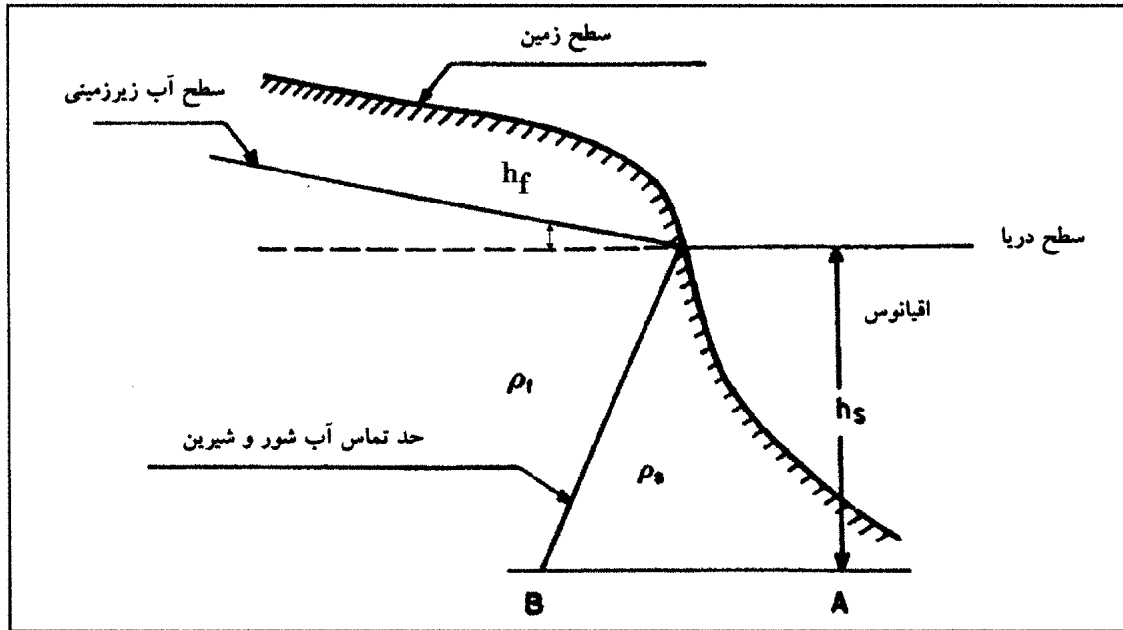
برداشت بیش از حد در سفره‌های ساحلی می‌تواند بطور وسیعی بار فشار آب شیرین را کاهش داده و شرایط مطلوب را برای مهاجرت آب شور فراهم آورد. مهاجرت جبهه آب شور نسبتاً آهسته بوده، بطوری که حرکت حقیقی آب را در سیستم تحت شیب کم و مقاومت بالا ایجاد می‌نماید.

در سفره‌های مناطق ساحلی که برداشت بی‌رویه از آن صورت گرفته، تهاجم آب شور مسئله‌ای جدی بوده و ممکن است این تهاجم همگام با کاهش ارتفاع هیدرولیکی در سایر مناطقی که در آنها آب شور غیر اقیانوسی به سوی سفره تراوش می‌نماید اتفاق افتد.

سرعت حرکت بعضی از یونها در جبهه آب شور تحت تأثیر تبادل یونی قرار گرفته و باعث می‌گردد که تغییرات بار فشار و انتشار آب مرز مشترک به صورت عبوری باشد تا یک جبهه معلوم و مشخص.

دو محقق به نامهای گبین و هرزبرگ بطور جداگانه جریان آبهای شیرین زیرزمینی خشکی را به طرف اقیانوسها در امتداد سواحل اروپا مورد مطالعه قرار دادند و متوجه شدند که در هر نقطه از یک آبخوان ساحلی، عمق سطح مشترک بین آب شور و شیرین، در صورتی که از سطح دریا اندازه‌گیری شود، ۴۰ برابر اختلاف سطح آب سفره زیرزمینی و سطح دریا از آن نقطه است. با توجه به اینکه این مطالعات توسط دو دانشمند مذکور آغاز شده از این رو این پدیده با رابطه "گبین - هرزبرگ" توضیح داده می‌شود.

مقطعی عمود بر ساحل دریا در یک سفره آبدار آزاد در نظر می‌گیریم (شکل ۱).



شکل ۱- حد تماس آب شور و شیرین در سفره‌های ساحلی براساس نظریه گیبین - هرزبرگ

فشار هیدرواستاتیک در نقطه A برابر است :

$$P_A = \rho_s g h_s$$

که در آن :

$$\rho_s = \text{چگالی آب شور}$$

$$h_s = \text{ارتفاع نقطه A تا سطح آب دریا}$$

$$g = \text{شتاب ثقل}$$

به همین ترتیب فشار هیدرواستاتیک در نقطه B که همان عمق نقطه A را دارد برابر است با :

$$P_B = \rho_f g h_f + \rho_f g h_s$$

که در آن :

$$\rho_f = \text{چگالی آب شیرین}$$

$$g = \text{شتاب ثقل}$$

$$h_f = \text{ارتفاع آب شیرین موجود در لایه آبدار بالای سطح دریا}$$

اکنون اگر دو معادله فوق را مساوی قرار دهیم رابطه گیبین - هرزبرگ بدست می آید که عبارتست از:

$$h_s = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_f$$

در رابطه فوق اگر چگالی آب شور برابر  $1/0.25$  گرم بر سانتی متر مکعب و چگالی آب شیرین برابر یک گرم بر سانتی متر مکعب باشد معادله زیر بدست می آید:

$$h_s = 40 h_f$$

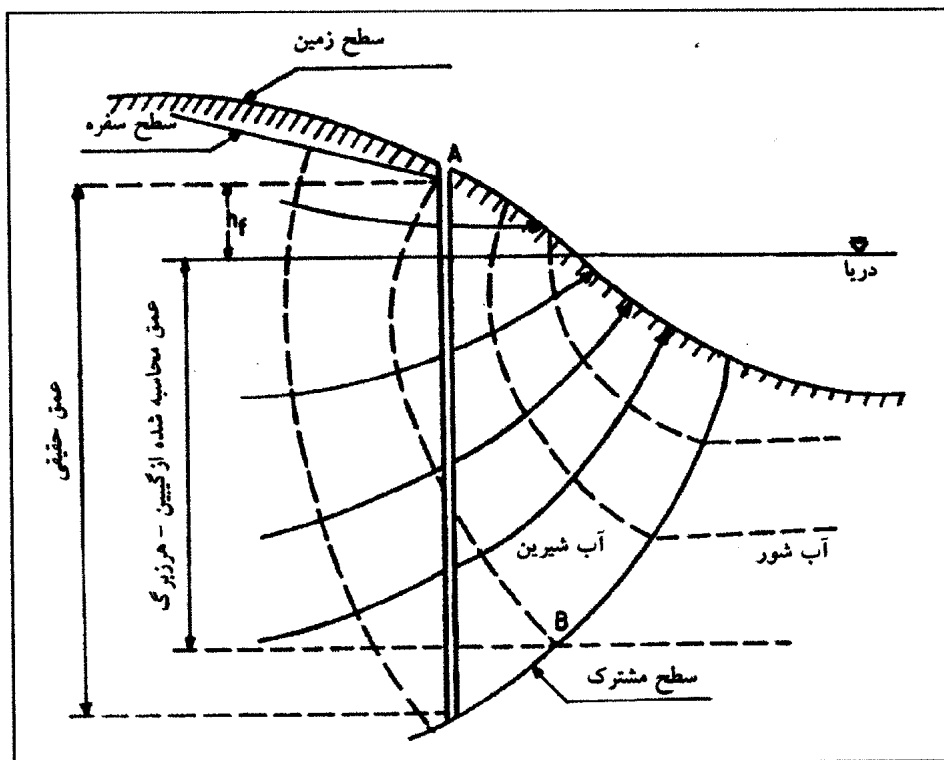
به این ترتیب ملاحظه می شود که نفوذ آبهای شور به سفره های آب شیرین ساحلی بستگی به ارتفاع آب در آبخوان زیرزمینی نسبت به سطح دریا دارد ( $h_s$ ). بطورمثال اگر ارتفاع سطح آب در آبخوان ساحلی نسبت به سطح دریا ۵ متر باشد، سطح مشترک آب شور و شیرین ( اینترفیس ) در عمق ۲۰۰ متری زیر سطح دریا و در امتداد قائم نقطه موردنظر قرار خواهد گرفت.

اندازه گیریهای متعدد در نواحی ساحلی این موضوع را ثابت نموده است. مطالعات فوق براین اساس فرض شده است که تعادل هیدرواستاتیک برقرار باشد یعنی هیچگونه جریانی صورت نگیرد ولی در حقیقت همواره در نزدیک خطوط ساحلی جریان آب زیرزمینی وجود دارد. در این حالت چنانچه فقط چگالی آب شیرین و شور در نظر گرفته شود و از جریان فوق صرف نظر گردد، سطح مشترک مسطحی بوجود می آید که طبق آن آب شیرین در بالا و آب شور در پائین آن سطح قرار خواهد گرفت.

تصویری حقیقی تر از چگونگی نفوذ آب دریا در شکل ۲ به کمک خطوط جریان و خطوط هم پتانسیل نشان داده شده است.

از آنجاییکه بارکل در امتداد یک خط هم پتانسیل ثابت است و خطوط جریان رو به بالا هستند، عمق سطح مشترکی که از رابطه گیبین - هرزبرگ بدست می آید از عمق اصلی یا واقعی کمتر است. این اختلاف برای شبیهای خیلی ملایم، کم بوده حال آنکه برای شبیهای تند ممکن است اختلاف قابل توجهی را نمایان سازد.

لازم به یادآوری است که برای سفره های آبدار تحت فشار در نواحی ساحلی می توان بجای سطح آب سفره، تراز پیزومتریک آنرا بکاربرد.



شکل ۲- اختلاف فشار بین عمق حقیقی آب شور و عمقی که از رابطه گیبین - هرزبرگ محاسبه می شود

### ۱-۱) بررسی ضخامت سطح مشترک آب شور و شیرین

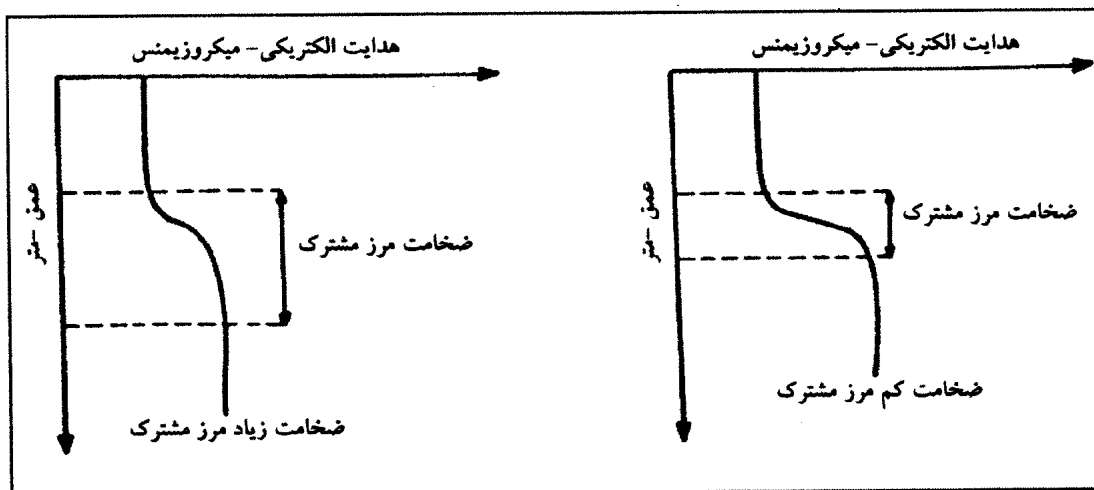
- ضخامت فصل مشترک آب شور و شیرین به عواملی چند بشرح زیر بستگی دارد:
- پدیده انتشار<sup>۱</sup> - انتشار عبارت است از حرکت یک ملکول از یک مکان مایع به محل دیگر و این درحالی اتفاق می افتد که دو مایع با چگالی متفاوت در مجاورت یکدیگر قرار گیرند. در سرحد آب شیرین و شور در صورت عدم دخالت پدیده انتشار این سرحد بصورت یک سطح بدون ضخامت است ولی در اثر این پدیده و نفوذ و حرکت ملکولها از آب شور به طرف آب شیرین ضخامت پیدا می نماید.
  - وجود جریانهای آب شیرین - چون همیشه جریان آب شیرین از طرف ساحل به طرف دریا وجود دارد و از طرفی آب شور دریا نیز بدلیل وزن مخصوص بیشتر از عمق به طرف سفره نفوذ می نماید و این دو هیچگاه به تعادل شیمیایی نمی رسند لذا ضخامت مرز مشترک آب شور و شیرین متغیر خواهد بود.
  - بهره برداری از سفره آبدار - بهره برداری آبخوان آب زیرزمینی نیز عامل تغییر دهنده ضخامت مرز مشترک آب

شور و شیرین باشد. هنگام پمپاژ، بخش فوقانی فصل مشترک تغییرات زیادتری نسبت به بخش زیرین خود داشته و بهمین جهت ضخامت سرحد آب شور و شیرین در زیر چاه بیشتر از سایر مناطق می‌گردد.

- جزر و مد و نوسانات سطح آب زیرزمینی - جزر و مد دریاها و همچنین نوسانات سطح آب زیرزمینی در تغییر ضخامت مرز مشترک آب شور و شیرین مؤثر می‌باشند زیرا این عوامل سبب تغییر محل مرز مشترک و در نتیجه تغییر ضخامت آن می‌گردد.

### ۱-۱-۱ تعیین ضخامت حد آب شور و شیرین

با نمونه برداری از اعماق مختلف چاهی که در نزدیک ساحل دریا حفر می‌شود و تجزیه شیمیائی آنها می‌توان میزان هدایت الکتریکی آنها را بر حسب عمق روی دستگاه مختصات ترسیم نمود و عمق مرز مشترک آب شور و شیرین و ضخامت آنرا مشخص نمود (شکل ۳).



شکل ۳- تعیین ضخامت سرحد آب شور و شیرین بوسیله منحنی هدایت الکتریکی بر حسب عمق

### ۲-۱-۱ شیب مرز مشترک آبهای شور و شیرین

در رابطه گین - هرزبرگ تلویحاً فرض شد که سطح مشترک آبهای شور و شیرین شیبی بطرف خشکی دارد. شیب سطح مشترک را فقط می‌توان برای حالتی که جریان تنها در منطقه آب شیرین صورت می‌پذیرد تعیین نمود. اگر شیب سفره آب زیرزمینی برابر  $\alpha$  باشد (شکل ۴) با استفاده از قانون دارسی خواهیم داشت :

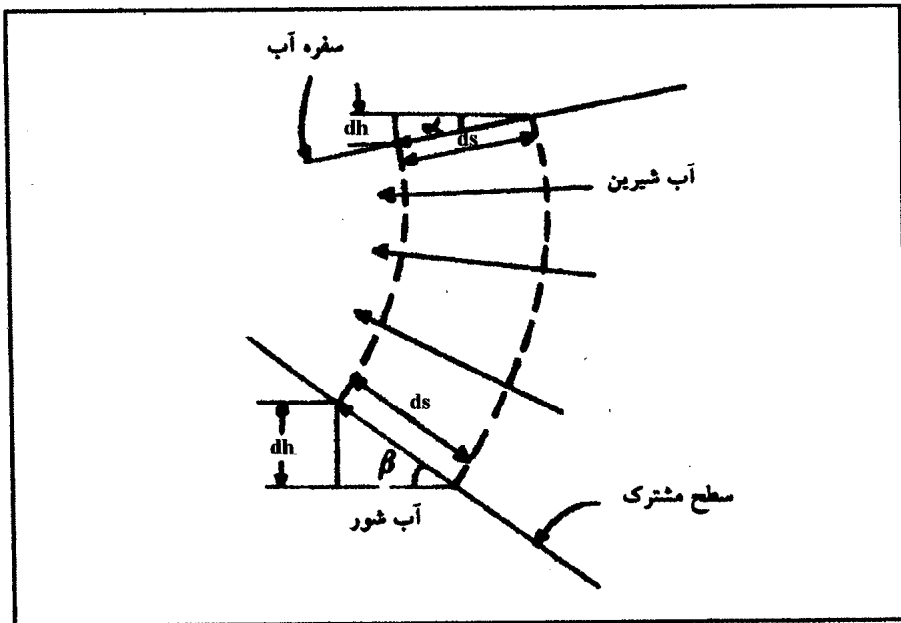
$$\sin \alpha = \frac{dh}{ds} = \frac{V}{K}$$

که در آن  $V$  سرعت و  $K$  نفوذپذیری است.

در امتداد شیب، ارتفاع سفره آب در جهت جریان کم می‌شود، و در نتیجه مرز بین آبهای شور و شیرین بطرف بالا می‌رود. شیب این مرز از طریق معادله زیر بدست می‌آید:

$$\sin\beta = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} \cdot \frac{V}{K}$$

در رابطه فوق  $\beta$  شیب فصل مشترک آب شور و شیرین می‌باشد.



شکل ۴- رابطه بین شیب سفره آب و سطح تماس آبهای شور و شیرین

### ۳-۱-۱ طول ناحیه آغشته به آب شور

با توجه به رابطه گیبین - هرزبرگ در محل تقاطع سفره آب شیرین با دریا یک منطقه آغشته به آب شور بشکل گوه<sup>۱</sup> وجود دارد. اگر فرض شود که جریان آب شیرین از آبخوان به طرف دریا وجود نداشته باشد و مقدار آن در واحد طول سفره برابر  $q$  باشد به کمک قانون دارسی برای یک آبخوان محصور رابطه تقریبی زیر بدست می‌آید:

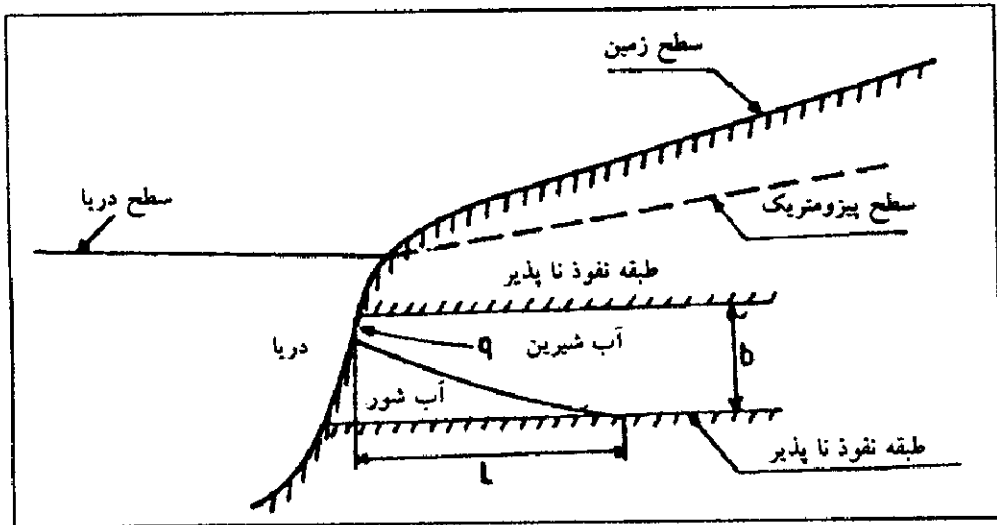
$$q = \frac{1}{\gamma} \left( \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f} \right) \frac{Kb^2}{L}$$

$$L = \frac{1}{\gamma} \left( \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f} \right) \frac{kb^2}{q}$$

1 - Wedge



که در آن  $\rho_s$  و  $\rho_f$  به ترتیب چگالی آبهای شیرین و شور هستند ابعاد  $L$  و  $b$  نیز در شکل ۵ نشان داده شده‌اند و  $K$  ضریب نفوذپذیری است.



شکل ۵- گوه آب شور در یک آبخوان محصور

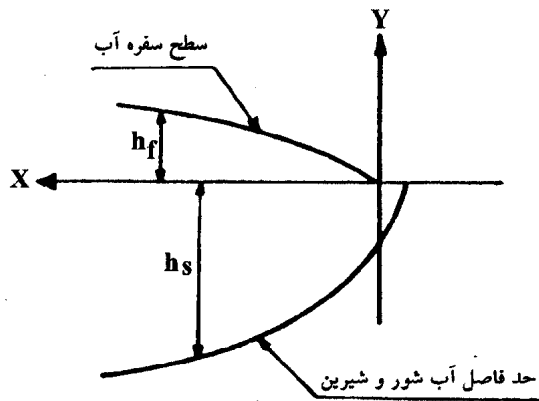
معادله فوق را می‌توان برای آبخوان‌های آزاد نیز بکار برد. در این حالت باید بجای  $b$  ضخامت منطقه اشباع را بکار برد. ضمناً باید توجه داشت که در این حالت شیب جریان آب نباید از حالت افقی زیاد منحرف شود. حالت فوق براین اصل پایه‌گذاری شده که آبهای شور بی حرکت و ثابت باشند.

## ۲-۱ تعیین سطح تماس آب شور و شیرین با استفاده از رابطه ورویج<sup>۱</sup>

ورویج نشان داد که در سفره آبهای زیرزمینی هموژن، سطح سفره آب و حدفاصل آب شور و شیرین بصورت زیر حالت سهمی دارند.

$$h_f = \sqrt{\frac{\gamma \beta q}{K(1+\beta)}} x \quad \text{برای سطح سفره}$$

$$h_s = - \sqrt{\frac{q^2}{\beta^2 k^2} \cdot \frac{1-\beta}{1+\beta} + \frac{\gamma q x \beta k}{\beta k(1+\beta)}} \quad \text{برای حدفاصل آب شور و شیرین}$$



شکل ۶- سطح سفره آب و حدفاصل آب شور و شیرین در سفره همگن

که در آن  $x$  فاصله نقطه موردنظر تا ساحل دریا است و در جهت خشکی مثبت است (شکل ۶).

$h_s$  = فاصله مرز مشترک آب شور و شیرین تا سطح دریا که بطرف بالا مثبت است.

$h_f$  = ارتفاع سطح سفره آب زیرزمینی نسبت به سطح دریا

$q$  = مقدار جریان آب شیرین که در واحد طول به سمت دریا جریان دارد.

$\beta$  = عبارت است از  $\beta = \rho_s - \rho_f / \rho_f = 0.025$

$K$  = ضریب نفوذپذیری سفره می باشد.

مثال عملی شماره ۱- مشخصات زیر از سفره ای در دست است :

$b$  = ضخامت سفره معادل ۲۰ متر

$i$  = شیب سطح سفره معادل ۲ درصد

$T$  = ضریب قابلیت انتقال اندازه گیری شده معادل  $10^{-2}$  متر مربع بر ثانیه و جریان در جهت دریا می باشد :

$$q = T \cdot i = 2 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{m/s}}$$

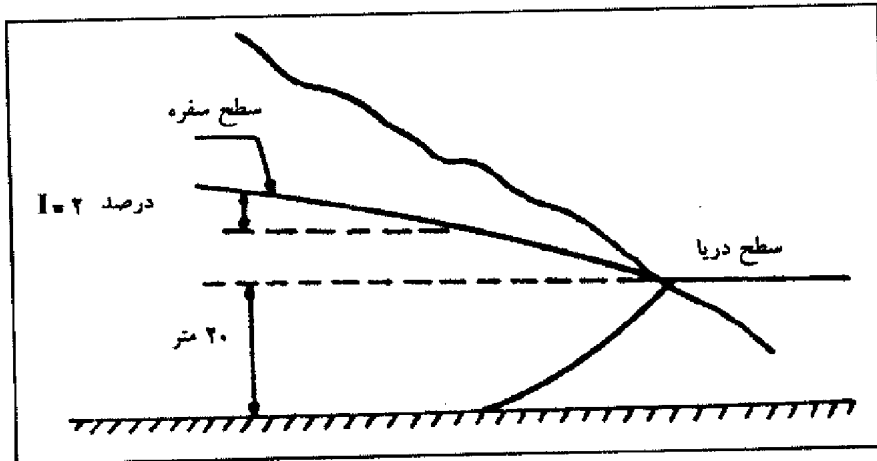
$$K = T/b = 5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$h_f = \sqrt{0.0195x}$$

$$h_s = -\sqrt{243/5 + 31/2x}$$

جدول زیر برای مقادیر مختلف  $x$  بدست می آید.

$x$	-۷/۸	۰/۰۰	۲	۵	۱۰
$h_f$	-	۰/۰۰	۰/۲	۰/۳۱	۰/۴۴
$h_s$	۰/۰۰	-۱۵/۶	-۱۷/۵	-۲۰	-۲۳/۶



شکل ۷- نمایشی از مثال عملی

جدول فوق و شکل شماره ۷ نمایانگر آن هستند که در این مثال مرز مشترک آب شور و شیرین در فاصله ۸ متری ساحل دریا (داخل دریا)، سطح آب دریا را قطع می نماید. ضمناً مرز مشترک آب شور و شیرین در فاصله ۵ متری ساحل، سنگ کف سفره آب زیرزمینی را قطع می نماید.

مثال عملی شماره ۲- در سفره ای با مشخصات سفره قبلی، تعدادی چاه بر روی خطی به فاصله ۵۰ متری و به موازات ساحل دریا حفر گردیده است. تعیین کنید چه مقدار آب می توان از این چاهها پمپاژ نمود بطوریکه عمق پیشروی آب شور بیش از ۱۰۰ متر بطرف ساحل نباشد.

براساس معادله ورویچ می توان مقدار  $q$  را با توجه به اطلاعات موجود بشرح زیر محاسبه نمود:

$$x = 100 \text{ m} \quad h_s = -20 \text{ m} \quad k = 5 \times 10^{-4} \text{ m/s} \quad \beta = 0.025$$

$$h_s = - \sqrt{\frac{q^2}{\beta^2 K^2} \cdot \frac{1-\beta}{1+\beta} + \frac{2px}{\beta k (1+\beta)}}$$

$$q^2 \left( \frac{1-\beta}{\beta k} \right) + 2xq - h_s \beta k (1 + \beta) = 0$$

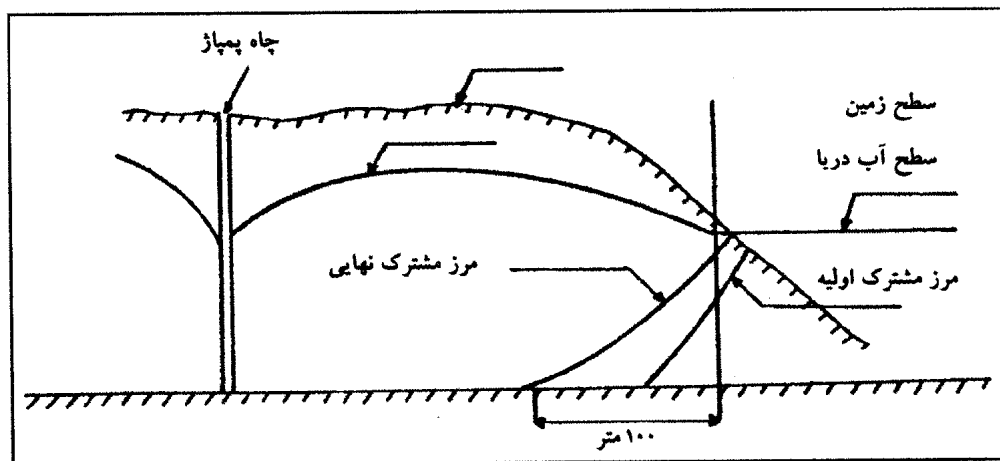
$$7/8 \times 10^{-4} q^2 + 2 \times 10^{-2} q - 5/125 \times 10^{-3} = 0$$

$$q = 2/5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}/\text{sec}$$

مقدار بده حاصله معادل ۱۲/۵ درصد جریان اصلی سفره آب بوده و لذا می توان ۸۷/۵ درصد جریان اصلی را پمپاژ نمود که برابر است با:

$$1/75 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}/\text{sec}$$

اگر چاههای حفر شده به فاصله ۵۰ متر از یکدیگر و موازی خط ساحلی (در فاصله ۵۰۰ متری از آن) حفر شوند، هر چاه می تواند ۸ لیتر بر ثانیه یا ۳۰ مترمکعب بر ساعت آبدهی داشته باشد (شکل ۸).

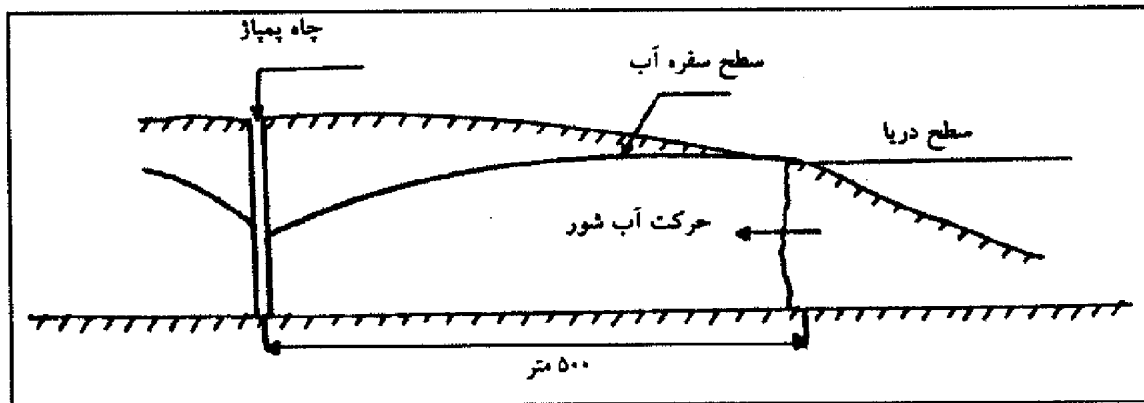


شکل ۸- جابجایی حد آب شور و شیرین ناشی از پمپاژ

در این مثال چنانچه از هر چاه ۵۰ مترمکعب بر ساعت بهره برداری صورت گیرد مسلماً مقداری از آب شور دریا بطرف سفره حرکت خواهد نمود، از آنجا که ۳۰ متر مکعب بر ساعت نشان دهنده ۸۷/۵ درصد کل جریان طبیعی سفره بوده است پس ۵۰ مترمکعب بر ساعت معادل ۱۴۶ درصد کل جریان خواهد بود. لذا مقدار آبی که از دریا به سمت سفره هجوم می آورد معادل است با:

$$q = 2 \times 10^{-4} \times 0/46 = 0/92 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}/\text{sec}$$

زمان لازم جهت رسیدن آب شور تداخل یافته به هریک از چاهها را نیز می توان بطور تقریب برآورد نمود. در این محاسبه از مقدار آب شیرینی که در اثر افت سطح آب زیرزمینی توسط پمپاژ آزاد شده و در زمان کوتاهی بطرف مرز مشترک آب شور و شیرین جریان می یابد، صرف نظر می شود. ضمناً حرکت آب را یکنواخت در نظر گرفته و فرض شود که آب شور دریا در تمامی ضخامت سفره بین ساحل و چاهها به یک صورت وارد شده است (شکل ۹).



شکل ۹- نمائی از مثال عملی

در حالیکه میزان جریان آب شور معادل  $q = 0.92 \times 10^{-4}$  مترمکعب بر متر بر ثانیه باشد، مقدار سرعت جریان طبق قانون دارسی برابر است با:

$$V = Ki = \frac{Ti}{b} \frac{q}{b} = \frac{0.92 \times 10^{-4}}{20} = 0.46 \times 10^{-4} \text{ m/sec} = 4 \text{ m/day}$$

سرعت متوسط جریان آب در خلل و فرج در صورتیکه تخلخل حدود ۲۰ درصد باشد معادل ۲۰ متر بر روز خواهد بود. لذا حدود ۴۰۰ متر از سفره در طول مدت ۲۰ روز توسط آب شور اشغال خواهد شد و چون سرعت حرکت بخش پائینی فصل مشترک آب شور و شیرین بیش از سرعت متوسط بخش بالایی است بنابراین چاههای قبل از ۲۰ روز آلوده (شور) خواهند شد.

جهت تعیین ناحیه انتقال بطور تقریبی، به ویژه زمانی که مرز مشترک آب شور و شیرین به طرف ساحل در حرکت است می توان از رابطه زیر استفاده نمود:

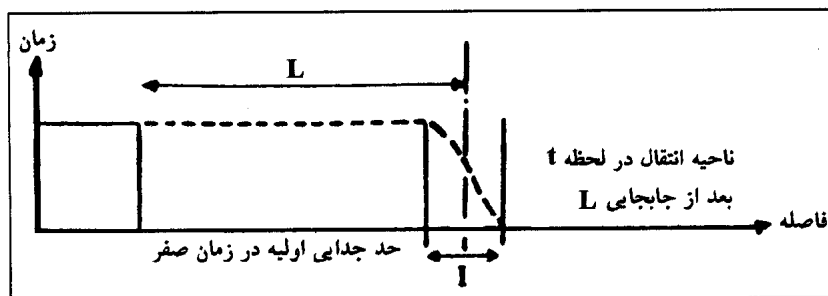
$$I = \sqrt{aL}$$

که در آن :

$a$  = قابلیت انتشار در سفره آب زیرزمینی

$L$  = فاصله حرکت مرز مشترک آب شور و شیرین از مبدأ (زمان  $t_0$ ) تا نقطه میانی آن در زمان  $t$

$I$  = ضخامت ناحیه انتقال فرض شده است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- ضخامت ناحیه قابل انتقال

اگر میزان قابلیت انتشار در سفره آب معادل ۵ متر و جابجایی مرز مشترک معادل ۴۰۰ متر فرض شود، ضخامت ناحیه انتقال معادل ۴۴ متر خواهد بود. به این ترتیب در مثال قبلی املاح آب شور ۲۲ متر جلوتر از میزان متوسط محاسبه شده به چاهها خواهد رسید به عبارت دیگر در مدت ۲۰ روز این میزان به ۴۲۲ متر خواهد رسید.

### ۳-۱- جلوگیری از نفوذ آب دریا و کنترل آن

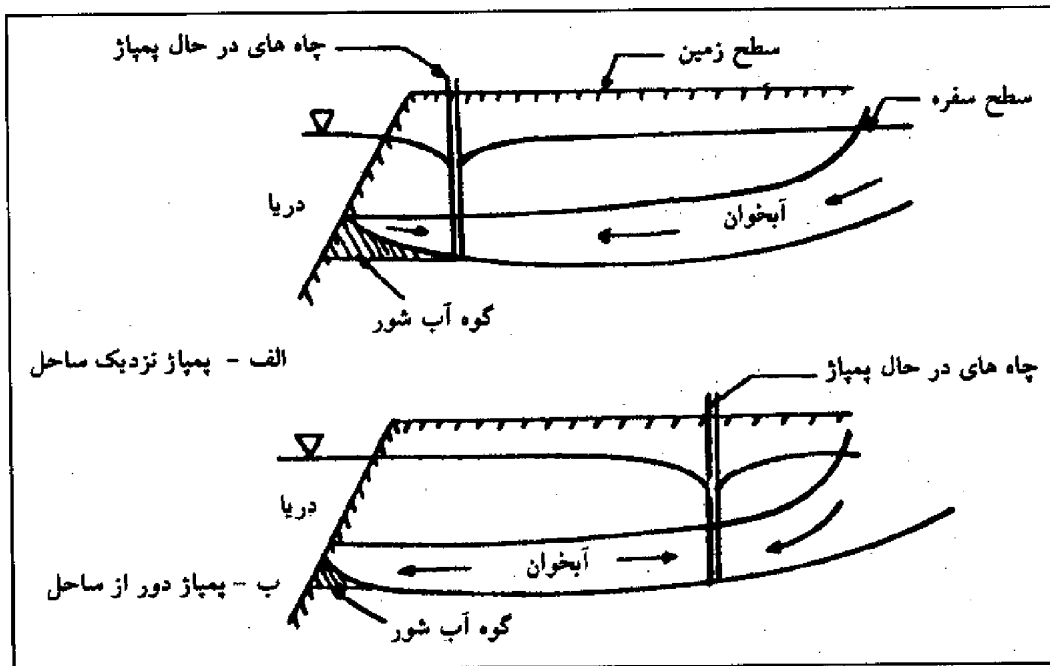
بهره‌برداری درازمدت از آب شیرین سفره‌های ساحلی و مجاور کویرها سبب تغییر میزان تخلیه آب شیرین به دریاها و یا کویرها شده است. و این تغییر باعث پیشروی مرز مشترک آب شور و شیرین به طرف لایه آبدار و در نتیجه منجر به آلوده شدن سفره آب شیرین گردیده است به منظور جلوگیری از نفوذ آب شور و کنترل آن در چنین نواحی روشهایی وجود دارد که با توجه به وضعیت بهره‌برداری، ساختمان زمین شناسی، نوع سفره و... متفاوت می‌باشد. در اینجا چند روش پیشنهادی تشریح می‌گردد:

#### ۱-۳-۱- بهینه‌سازی عملیات پمپاژ

آسان‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش جهت مبارزه با پیشروی آب شور، کاهش میزان پمپاژ تا به حدی است که سطح آب زیرزمینی بالاتر از سطح آب دریا قرار گرفته و منجر به ابقاء شیب ملایمی به سمت دریا گردد. ولی در اغلب نواحی به دلیل نیاز شدید به آب و عدم امکان تأمین آن از منابع دیگر استفاده از روش‌های دیگر با هزینه‌های سنگین

اجتناب ناپذیر می‌نماید. در برخی نواحی نیز با تغییر در محل پمپاژ و برنامه آن می‌توان به نتایج مشابه رسید. چنانچه بهره‌برداری از آب سفره شیرین در منطقه ورود جریان صورت پذیرد، در بعضی شرایط شیب تند حاصله، باعث افزایش حجم جریان ورودی خواهد شد.

در چنین شرایطی می‌توان با کاهش حجم برداشت در نزدیکی ساحل به بالا آمدن سطح آب در عقب راندن آب شور کمک نمود. شکل ۱۱ تفاوت بین دو سطح پیژومتری را در دو حالت پمپاژ زیاد در نزدیک و دور از ساحل بطور شماتیک در یک سفره محصور نشان می‌دهد.



شکل ۱۱- تأثیر محل پمپاژ بر روی نفوذ آب دریا در آبخوانهای ساحلی

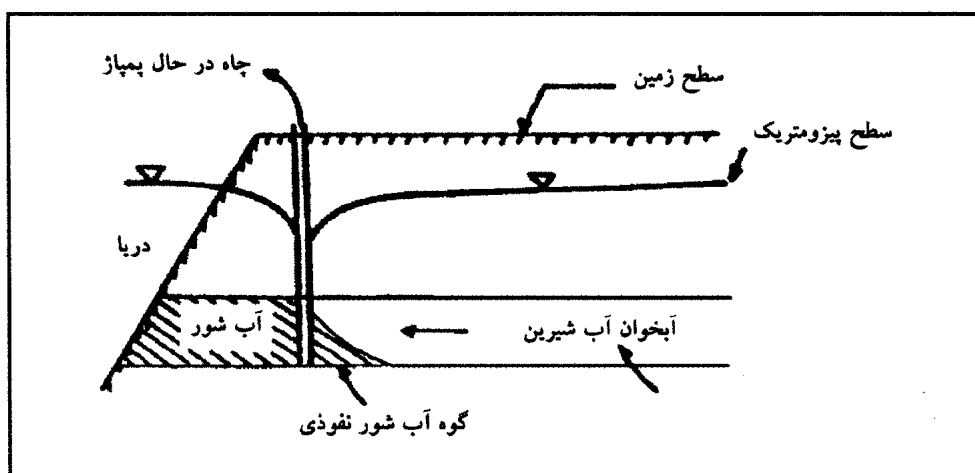
### ۲-۳-۱ تغذیه مصنوعی

در شرایطی که تأمین منبع آبی در فصولی از سال میسر باشد می‌توان از طریق تغذیه مصنوعی سطح آب سفره آب زیرزمینی را بالا آورده و از پیشروی آب شور جلوگیری نمود. در بسیاری از مناطق جهان از این روش برای ثابت نگهداشتن مرز مشترک آب شور و شیرین استفاده نموده‌اند. باین ترتیب که برای سفره های آزاد از روشهای تغذیه سطحی مانند پخش آب استفاده نموده و برای سفره های تحت فشار از چاههای تزریقی استفاده شده است.

باید توجه داشت که در تغذیه مصنوعی ممکن است استفاده از یک سیستم تزریق بدون کاهش میزان بهره‌برداری اقتصادی نباشد، زیرا آب تزریقی با کیفیت مناسب که بخشی از آن پمپاژ و بخش دیگری از آن به دریا هرز می‌رود به افزایش و گرانی آب کمک می‌کند.

### ۳-۳-۱ ایجاد خط موازی با ساحل (لاوک پمپاژ)

در این روش، روی یک خط موازی و نزدیک ساحل تعدادی چاه حفر نموده و با پمپاژ همزمان در این چاهها و ایجاد مخروط افت، خط افقی در سطح آب زیرزمینی (لاوک) به موازات ساحل ایجاد می‌کنند. بنابراین آب شیرین سفره با آب شور منطقه نفوذی (گوه آب شور) مخلوط شده و پمپاژ می‌شود. این عمل سبب تثبیت گوه آب شور در طرف روبه خشکی لاوک و در نتیجه باعث ثابت ماندن مرز مشترک آب شور و شیرین در فاصله معینی از دریا می‌گردد. شکل ۱۲ نمایانگر یک سفره تحت فشار است.



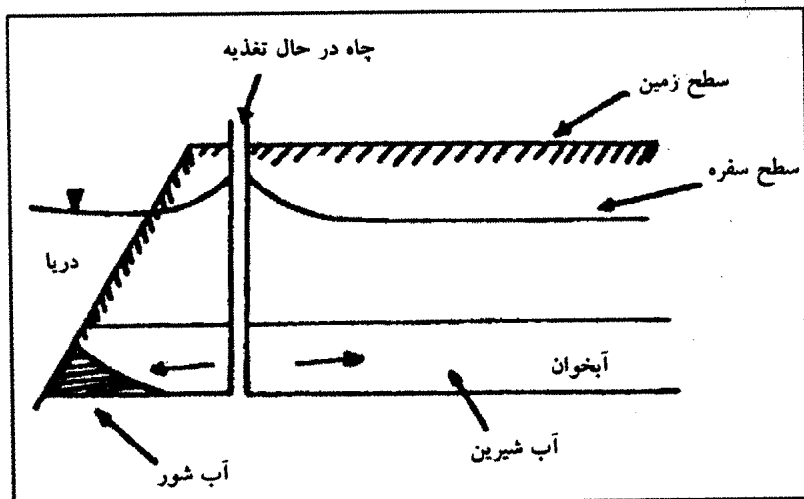
شکل ۱۲- کنترل نفوذ آب دریا بوسله پمپاژ چاههایی که با ساحل موازی است

اشکال این روش در از بین رفتن حجمی از آب سفره زیرزمینی است که در زمان پمپاژ با آب شور دریا مخلوط شده و بدلیل کیفیت نامناسب از دست می‌رود. همین عامل سبب بالا رفتن هزینه آب مصرفی خواهد شد، لذا استفاده از این روش برای مبارزه سریع علیه هجوم آب شور توصیه شده لیکن استفاده از آن برای مدت طولانی معمولاً از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نمی باشد.

### ۴-۳-۱ افزایش ارتفاع سطح آب زیرزمینی در امتداد ساحل

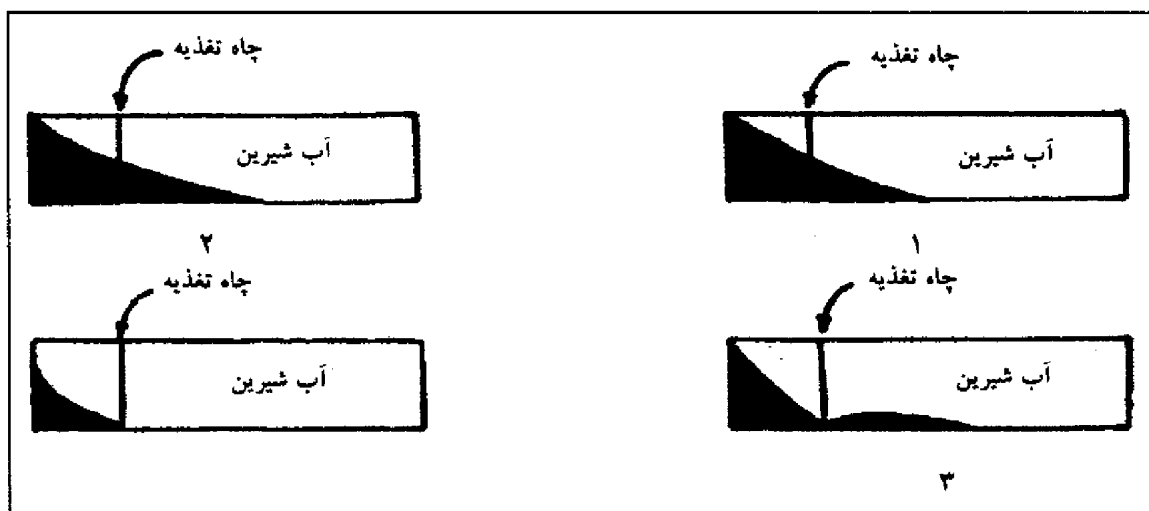
ایجاد تیغه فشار برای کنترل نفوذ آب شور، درست عکس روش قبلی است باین ترتیب که در این روش به جای لاوک، ایجاد و ابقاء یک تیغه فشار آب شیرین در نزدیک و به موازات ساحل مورد نظر است (شکل ۱۳)





شکل ۱۳- کنترل نفوذ آب دریا بوسیله تیغه فشاری که با ساحل موازی است

در سفره های آزاد می توان از طریق پخش آب، یک تیغه در سطح سفره آب زیرزمینی ایجاد نمود و در آبخوانهای تحت فشار، چندین چاه تغذیه واقع بر روی یک خط موازی با ساحل، تیغه فشاری را در سطح پیزومتری ایجاد نمایند. برای پس راندن آب دریا تیغه ایجاد شده باید به اندازه کافی بالاتر از سطح دریا قرار گیرد. در این روش نیز قسمت کمی از آب تغذیه شده وارد دریا شده و به هدر می رود و باقیمانده آن بخشی از آب پمپاژ را تأمین می نماید. چنانچه از چاههای تغذیه استفاده شود ارتفاع سطح پیزومتری در اطراف چاهها بالاتر از دیگر جاها بوده و بین چاهها نوعی زین تشکیل می شود. ارتفاع زینها بستگی به فاصله بین چاهها، میزان تغذیه و سرعت آنها دارد. محل چاه تغذیه و مقدار تغذیه حائز اهمیت شایانی است. محل ایجاد این چاه باید در طرف رو به خشکی جبهه شور باشد در غیر اینصورت، آب دریا در طرف رو به خشکی چاه باقیمانده و در اثر تغذیه بیشتر داخل خشکی گردد. حجم کم تغذیه نیز قادر به پس راندن آب شور نخواهد شد (شکل ۱۴)



شکل ۱۴- نتایج حاصل از تغذیه آب شیرین در یک آبخوان محصور

### ۱-۳-۵ ایجاد سدهای زیرزمینی

احداث سدهای زیرزمینی، نفوذپذیری یک آبخوان را تا به آن اندازه که از نفوذ آب دریا جلوگیری نماید کم می‌کند. در آبخوان‌های نسبتاً کم عمق، دیواره‌هایی از صفحات فلزی، اسفالت، بتون و گل رس همراه با ماسه می‌تواند انجام این عمل را امکان‌پذیر سازد. برای جلوگیری از حفاری تمام طول موردنظر می‌توان غشاء نفوذناپذیری را از طریق تزریق اسفالت امولسیون شده، ساروج، سیمان، دوغاب بنتونیت، ژل سیلیتی و اکریلات کلسیم را در جاهای کم عمق واقع بر روی یک خط پدید آورد. علاوه بر موارد فوق در بعضی از شرایط می‌توان از طریق تزریق هوا نیز از پیشروی آب شور جلوگیری نمود. مسلماً استفاده از هر یک از موارد فوق بستگی به شرایط منطقه و ساختار زمین شناسی سفره آب زیرزمینی دارد.

از آنجاییکه هزینه اولیه احداث سد زیرزمینی زیاد است، چنین دیواره‌ای باید دائمی باشد و در صورتی که دیواره از نوع ساختمانی باشد باید آثار زلزله در منطقه را نیز در نظر گرفت.

مناسبتین محل برای ساختمان سد زیرزمینی، دره های باریک و کم عمق واریزه‌ای است که به آبخوان بزرگتری متصل می‌شوند. اگرچه هزینه اولیه احداث سد زیرزمینی قابل توجه است ولی هزینه نگهداری آن ناچیز می‌باشد. علاوه بر آن در این روش می‌توان از ظرفیت ذخیره آبخوان نیز بطور کامل استفاده نمود.

### ۱-۴ شناخت املاح موجود در آبهای نفوذی دریا در سفره آب شیرین

تجزیه نمونه های آب زیرزمینی نفوذی از دریا، نمایانگر آن است که ترکیب شیمیایی این گونه آبها با ترکیب شیمیایی مخلوطهای آب دریا و آبهای زیرزمینی متفاوت است. این تفاوت در ترکیبات شیمیایی حاصل سه فرآیند بشرح زیر می‌باشد:

- تبادل بازی بین آب و عناصر معدنی آبخوان.
- احیای سولفاتنها و جانشین شدن ریشه های گاز کربنیک یا سایر اسیدهای ضعیف
- انحلال و رسوب

فقط سومین فرآیند می‌تواند موجب تغییرات غلظت کل نمک گردد، لیکن این امکان وجود دارد که دو فرآیند دیگر که در آنها ابقای تعادل یونی ضروری است، موجب تغییر درصد وزنی نمکهای مختلف متشکله گردیده و تغییر کل مواد جامد محلول را موجب شوند.

از آنجایی که احتمالاً زیاد شدن موقتی مقدار کل نمکهای محلول موجب تشخیص غلط نفوذ آب دریا می‌شود، رول<sup>۱</sup>، نسبت کلراید به بیکربنات را به عنوان معیاری جهت تشخیص نفوذ آب دریا پیشنهاد نمود. کلرور که در آب دریا بیش

از سایر یونها دیده می‌شود، تحت تأثیر فرایندهای فوق‌قرار نمی‌گیرد و معمولاً در آبهای زیرزمینی نیز به مقدار بسیار کم وجود دارد. از طرف دیگر، بیکربنات که معمولاً فراوان‌ترین یون منفی آبهای زیرزمینی است به مقدار بسیار کم در آب دریا دیده می‌شود. گرچه به جز آب دریا ممکن است عوامل دیگری نیز این نسبت را تغییر دهند، در نمونه‌های یک چاه آلوده به آب شور دریا، تأثیر این عوامل بندرت اهمیت پیدا می‌نمایند.

شکل ۱۵ نمونه‌های تجزیه شده آب چاههای واقع در دره سالیانس، کالیفرنیا را در امتداد خطی که از آبخوان شروع شده و از منطقه موردنقوذ آب دریا گذشته تا به ساحل رسیده است نشان می‌دهد. همانطور که در شکل دیده می‌شود با نزدیک شدن به ساحل بر نسبت کلراید به بیکربنات و همچنین شوری کلی افزوده می‌گردد.

اگر مقادیر قابل ملاحظه‌ای کلر بتواند از سایر منابع وارد آب شور شود تعیین اینکه منشأ آن مربوط به آب دریا یا منابع دیگر می‌باشد امری مشکل است لذا می‌توان از اجزاء تشکیل دهنده آب شور بجز کلر نیز در تشخیص آلودگی استفاده نمود، اما شکل بکارگیری آنها مشکلاتی را بهمراه دارد.

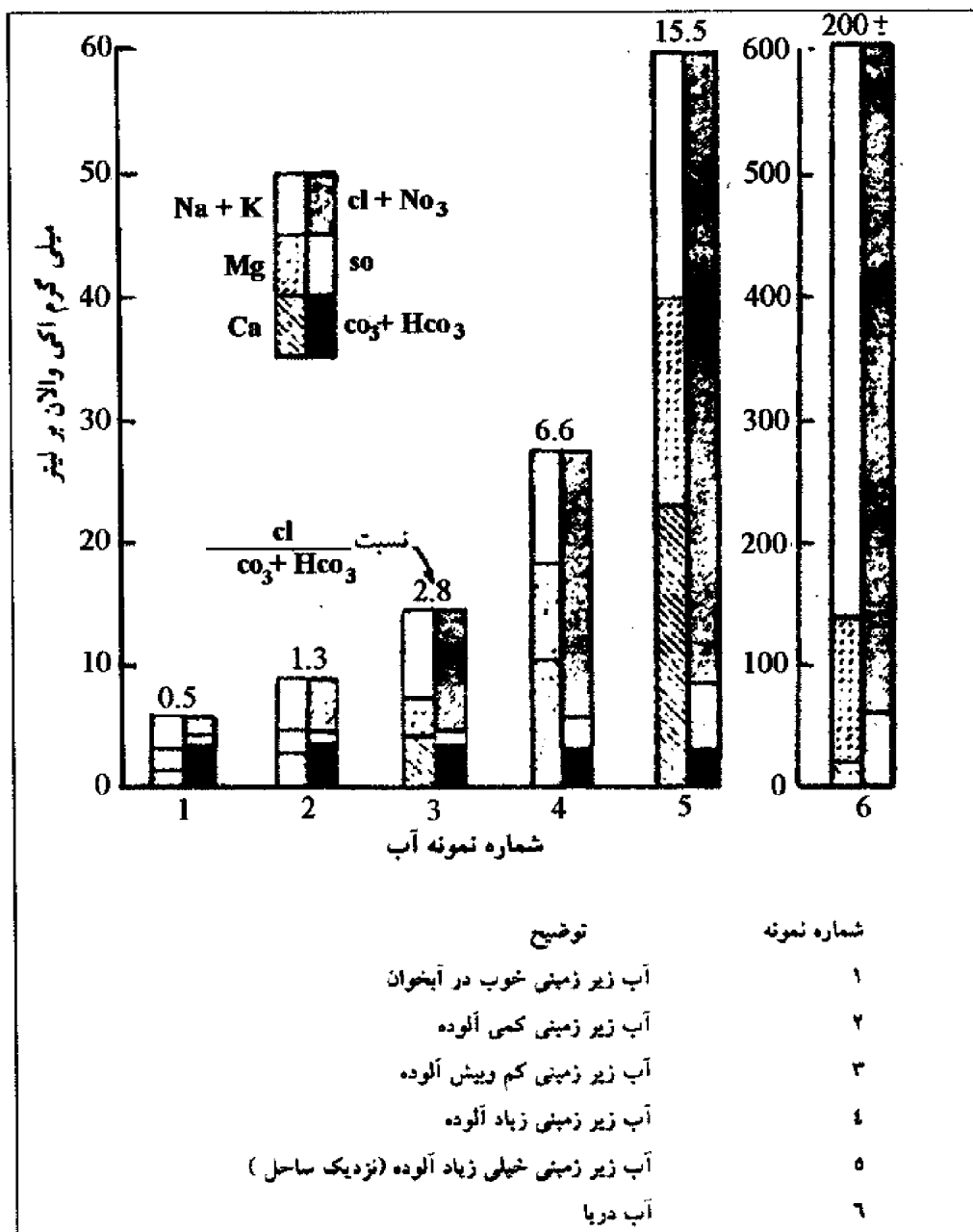
مقدار منیزیم موجود در آب دریا خیلی بیش از غلظت کلسیم می‌باشد. لذا نسبت پایین کلسیم به منیزیم ممکن است گاهی اوقات نشانه‌ای بر آلودگی آب دریا باشد.

وجود سولفات به نسبت آنیونی شبیه آب دریا نیز می‌تواند نشانه دیگری بر آب دریا باشد. بعلاوه واکنشهای تبادل کاتیونی و احیای سولفات در سفره‌های آب زیرزمینی موردنظر و به هنگام هجوم آب شور، نباید یکسان بودن نسبت‌های آنیونها و کاتیونها موجود در اولین آب آلوده که به نقطه نمونه برداری می‌رسد را با نسبت‌های فوق در ترکیب ساده آب شور و شیرین انتظار داشت.

در صورتیکه آب شور فاصله کوتاهی را در سفره طی نموده باشد و اثر آب سطحی شور نیز بر سفره آب زیرزمینی کم باشد، به هنگام رسیدن ظرفیت تبادل یونی سفره به حدی مطلوب و برقراری مجدد حالت تعادلی آب، آبی که به سمت خشکی حرکت کرده همان آب دست نخورده دریا می‌باشد، هر چند مقادیر قابل ملاحظه‌ای از آن قبل از رسیدن به این مرحله پمپاژ شده باشد.

بعلاوه آثار تبادل کاتیونی از طریق برقراری مجدد حرکت آب دریا به سمت آب شیرین، حذف یونهاییکه باعث آلودگی شده‌اند بکندی صورت می‌گیرد.

مواد کمیاب آب دریا نیز ممکن است در بعضی موارد به تشخیص آلودگی سفره توسط آب دریا کمک نمایند ولی مراحل اولیه آلودگی را نمی‌توان از این طریق معین نمود. پایپر<sup>۱</sup> و دیگران آلودگی سفره را با یک آب شور محبوس از طریق مقایسه یدور و بروباریم موجود در آب مشکوک مورد تأیید قرار دادند.



شکل ۱۵- تجزیه شیمیایی آبهای یک ردیف چاه که از مرکز آبخوان شروع و به ساحل ختم می‌شوند. نسبتهای کلرور به بیکربنات در بالای نمودار کیفیت آمده‌اند

در مواردی که انتظار می‌رود شناسایی مواد آلوده مؤثر باشد باید از طریق آگاهی از ترکیب محلول آلوده و با در نظر داشتن تبادل یونی و رفتار شیمیایی محلول را انتخاب نمود.

تحقیقات زیادی در مورد ترکیب شیمیایی آب دریا و آبهای آلوده به آب دریا به عمل آمده است که در این بخش به عنوان نمونه دو جدول، یکی تحت عنوان «ترکیب شیمیایی آب دریا بر اساس تحقیقات گلدبرگ» (جدول ۱) و دیگری با عنوان «تجزیه شیمیایی آب در یک حلقه چاه قبل و بعد از آلودگی نمکی با آب دریا» (جدول ۲) ارائه شده است.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی آب دریا را براساس تحقیقات گلدبرگ<sup>۱</sup> نشان می دهد

ترکیب شیمیایی آب دریا		
مواد	غلظت mg/L	شکلهای اصلی مواد
Cl	۱۹۰۰۰	Cl
Na	۱۰۵۰۰	Na <sup>+</sup>
SO <sub>۴</sub>	۲۷۰۰	SO <sub>۴</sub> <sup>۲-</sup>
Mg	۱۳۵۰	Mg <sup>۲+</sup>
Ca	۴۱۰	Ca <sup>۲+</sup>
K	۳۹۰	K <sup>+</sup>
HCO <sub>۳</sub>	۱۴۲	HCO <sub>۳</sub> <sup>-</sup> , H <sub>۲</sub> CO <sub>۳</sub> (aq), CO <sub>۳</sub> <sup>۲-</sup>
Br	۶۷	Br <sup>-</sup>
Sr	۸	Sr <sup>۲-</sup>
SiO <sub>۲</sub>	۶/۴	H <sub>۴</sub> SiO <sub>۴</sub> (aq), H <sub>۳</sub> SiO <sub>۴</sub> <sup>-</sup>
B	۴/۵	H <sub>۳</sub> BO <sub>۳</sub> (aq), H <sub>۲</sub> BO <sub>۳</sub> <sup>-</sup>
F	۱/۳	F
N	۰/۶۷	<sup>a</sup> NO <sub>۳</sub> <sup>-</sup>
Li	۰/۱۷	Li <sup>+</sup>
Rb	۰/۱۲	Rb <sup>+</sup>
C (آلی)	۰/۱۰	
P	۰/۰۹	H <sub>۲</sub> PO <sub>۴</sub> <sup>۲-</sup> , H <sub>۲</sub> PO <sub>۴</sub> <sup>-</sup> , PO <sub>۴</sub> <sup>۳-</sup>
I	۰/۰۶	IO <sub>۳</sub> <sup>-</sup> , I <sup>-</sup>
Ba	۰/۰۲	Ba <sup>۲+</sup>
Mo	۰/۰۱	MoO <sub>۴</sub> <sup>۲-</sup>
Zn	۰/۰۱	Zn <sup>۲+</sup>
Ni	۰/۰۰۷	Ni <sup>۲+</sup>

ادامه جدول ۱- ترکیب شیمیایی آب دریا براساس تحقیقات گلدبرگ

ترکیب شیمیایی آب دریا		
مواد	غلظت mg/L	شکلهای اصلی مواد
As	۰/۰۰۰۳	$\text{HAsO}_4^{2-}, \text{H}_2\text{AsO}_4^{-}$
Cu	۰/۰۰۰۳	$\text{Cu}^{2+}$
Fe	۰/۰۰۰۳	
U	۰/۰۰۰۳	$\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$
Mn	۰/۰۰۰۲	$\text{Mn}^{2+}$
V	۰/۰۰۰۲	$\text{VO}_2(\text{OH})_3^{2-}$
Al	۰/۰۰۰۱	
Ti	۰/۰۰۰۱	
Sn	۰/۰۰۰۰۸	
Co	۰/۰۰۰۰۴	$\text{Co}^{2+}$
Cs	۰/۰۰۰۰۳	$\text{Cs}^{+}$
sb	۰/۰۰۰۰۳	
Ag	۰/۰۰۰۰۳	$\text{AgCl}_2^{-}$
Hg	۰/۰۰۰۰۲	$\text{HgCl}_2(\text{aq})$
Cd	۰/۰۰۰۰۱۱	$\text{Cd}^{2+}$
W	۰/۰۰۰۰۱	$\text{WO}_4^{2-}$
Se	۰/۰۰۰۰۰۹	$\text{SeO}_4^{2-}$
Ge	۰/۰۰۰۰۰۷	$\text{Ge}(\text{OH})_4(\text{aq})$
Cr	۰/۰۰۰۰۰۵	
Ga	۰/۰۰۰۰۰۳	
pb	۰/۰۰۰۰۰۳	$\text{pb}^{2+}, \text{pbCl}_3^{-}, \text{PbCl}^{+}$
Bi	۰/۰۰۰۰۰۲	
Au	۰/۰۰۰۰۰۱	$\text{AuCl}_4^{-}$
Nb	۰/۰۰۰۰۰۱	
Ce	۰/۰۰۰۰۰۰۱	
SC	< ۰/۰۰۰۰۰۰۴	
La	۰/۰۰۰۰۰۰۳	$\text{La}(\text{OH})_3(\text{aq})$
Y	۰/۰۰۰۰۰۰۳	$\text{Y}(\text{OH})_3(\text{aq})$
Be	۰/۰۰۰۰۰۰۶	
Th	< ۰/۰۰۰۰۰۰۰۵	
Pa	$2 \times 10^{-9}$	
Ra	$1 \times 10^{-10}$	$\text{Ra}^{2+}$

جدول ۲- تجزیه آب را در یک چاه قبل و بعد از آلودگی نمکی با آب دریا نشان می دهد.

مواد تشکیل دهنده	۸ ژانویه ۱۹۲۳-۱		۴ آوریل ۱۹۲۸-۲	
	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l
SiO <sub>۲</sub>			۲۰	
Fe			۰/۹۷	
Ca	۲۷	۱/۳۵	۴۳۸	۲۱/۸۶
Mg	۱۱	۰/۹	۴۱۸	۳۴/۳۸
Na			۱۸۶۵	۸۱/۱
K	۸۲	۳/۵۷	۵۶	۱/۴۳
HCO <sub>۳</sub>	۲۳۵	۳/۸۵	۱۹۳	۳/۱۶
SO <sub>۴</sub>	۴۰	۰/۸۳	۵۶۵	۱۱/۷۶
Cl	۴۰	۱/۱۳	۴۴۱۰	۱۲۴/۳۸
F			۰	۰
NO <sub>۳</sub>			۱/۸	۰/۰۳
TDS	۳۱۸		۸۲۰۰	
سختی کربناته	۱۱۳		۲۸۱۰	
سختی بدون کربناته	۰		۲۶۵۰	

۱- ترکیب شیمیایی چاهی در لوس آنجلس کالیفرنیا قبل از آلودگی

۲- ترکیب شیمیایی چاهی در لوس آنجلس کالیفرنیا بعد از آلودگی

## ۲- تعیین حداکثر بده بهره برداری از آب شیرین

جهت دستیابی به حداکثر بده بهره برداری از آب شیرین زیرزمینی در شرایطی که سفره نسبتاً ضخیمی از آب شور در زیر آن قرار داشته باشد می توان از ادغام رابطه گیبین - هرزبرگ و گوزنی<sup>۱</sup> استفاده نمود (شکل ۱۶).

رابطه گیبین - هرزبرگ

$$S_w = h_s \left[ \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f} \right] = (r_w - D) \left( \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f} \right)$$

رابطه گوزنی

$$Q_{max} = \frac{\gamma \pi K D S_w}{[\log(r_e/r_w) - \beta]} \left[ 1 + \sqrt{(r_w/\gamma D)^{\gamma/2}} \cos\left(\frac{\pi D}{\gamma m}\right) \right]$$

با قراردادن رابطه گیبین - هرزبرگ در فرمول گوزنی خواهیم داشت:

$$Q_{max} = \gamma \pi k m \left( \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f} \right) m (1 - \alpha) \alpha [\log\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - \beta]^{-1} \left[ 1 + \sqrt{\left(\frac{r_w}{\gamma \alpha m}\right)^{\gamma/2}} \cos\left(\frac{\pi \alpha}{\gamma}\right) \right]$$

که در آن:

$m$  = ضخامت سفره آب شیرین

$\alpha = \frac{D}{m}$  عبارت از نسبت عمق چاه در سفره به ضخامت کلی سفره

$r_e$  = شعاع سطح مقطع سفره آب شیرین

$r_w$  = شعاع سطح مقطع چاه (شکل ۱۶)

$\beta$  = عبارت از ضریبی است که به تعداد چاههای پمپاژ بستگی دارد و اگر بهره برداری توسط یک چاه انجام شود و

آب وارده فقط از محدوده این چاه وارد شود مقدار آن صفر و در شرایطی که تعداد چاهها در محدوده سفره بیش از

یک حلقه باشد مقدار آن برابر  $\beta = \frac{1}{\gamma}$  خواهد بود

### شرایط و محدودیت ها

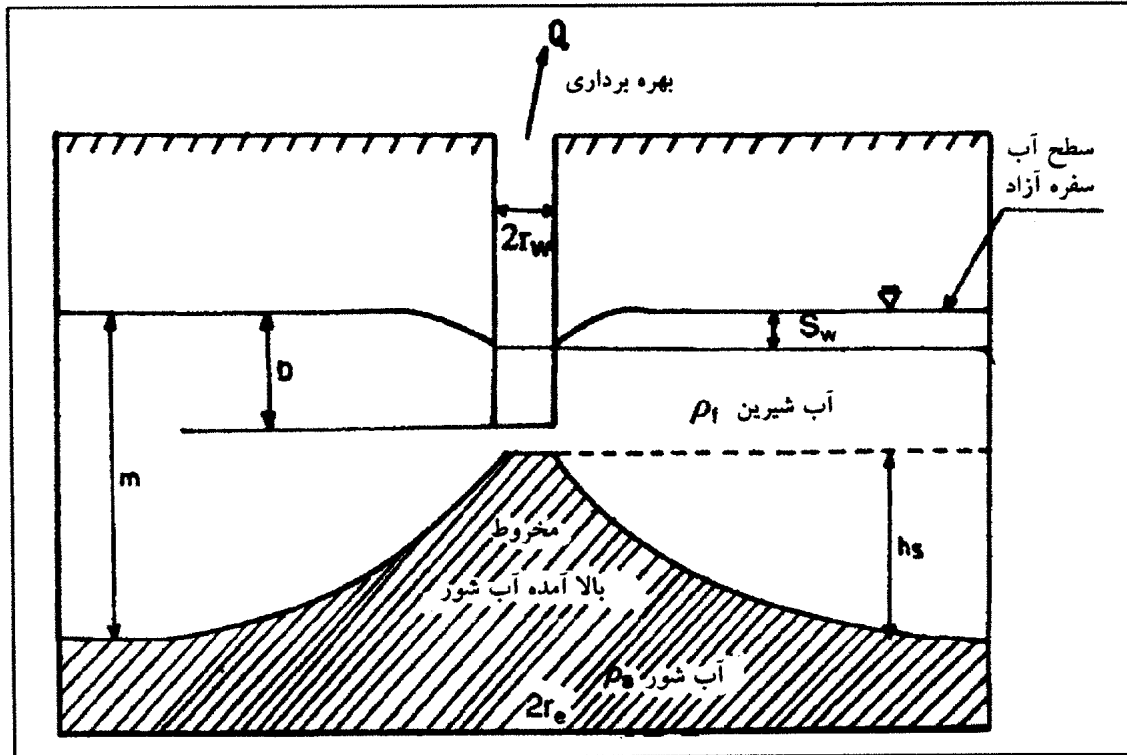
- در این حالت هیچ جریانی نباید در مجاورت حد سفره های شور و شیرین وجود داشته باشد

- سطح آب در داخل چاه باید ثابت باشد.

- سطح آب در محدوده سفره ( $r_e$ ) باید ثابت باشد



- افت آب در چاه کم باشد بطوریکه مخروط آب شور به محل لوله چاه نرسد (عدم وجود جریان در آب شور)
- ارتفاع مخروط آب شور از رابطه گبین هرزبرگ تبعیت کند، بصورتی که بازاء هر متر افت در چاه حد بین آب شور و شیرین به سمت آب شیرین حرکت نماید.



شکل ۱۶- ایجاد مخروط آب شور در اثر پمپاژ سفره آب شیرین

### ۳- هجوم آب شور در دشتهای ساحلی و حاشیه‌های کویر ایران

کشور ایران از نظر آب و هوایی جزء نواحی نیمه خشک بشمار آمده و از نظر منابع آب نیز غنی نبوده ضمن اینکه پراکندگی آنها نیز از نظر مکانی و زمانی مناسب نمی باشد.

عواملی چند از جمله، عوامل زمین شناسی، کلیماتولوژی و هیدروژئولوژی سبب شده اند تا حجمی از آبهای موجود نیز از نظر کیفی بلا استفاده شده و یا استفاده از آنها محدود گردد.

یکی از عواملی که موجب شوری سفره‌های آبهای زیرزمینی به ویژه در سواحل شمالی و جنوبی و سواحل دریاچه‌های کشور می‌گردد نفوذ آب دریا به آبخوان‌های مجاور می‌باشد که به علت برداشت بیش از تغذیه می‌باشد. علیرغم مشاهده آثار هجوم آب شور در اکثر سواحل دریای مازندران و خلیج فارس و دریای عمان و همچنین تعدادی از دشتهای ساحل دریاچه ارومیه متأسفانه تاکنون اقدام مؤثری جهت جلوگیری از آنها بعمل نیامده است. مطالعات انجام شده در این زمینه نیز فراگیر نبوده و در تعداد معدودی از دشتهای در حال انجام است. نکته قابل ذکر در مورد دشتهای ساحلی ایران به ویژه سواحل جنوبی کشور، محرز شدن آلودگی سفره‌ها در اثر هجوم آب دریا می‌باشد زیرا اکثر دشتهای آبرفتی این منطقه در مجاورت مارنهای دوره میوسن قرار گرفته که حاوی گچ و نمک بوده و خود می‌توانند عامل شور کننده سفره‌ها به شمار آیند.

علاوه بر سفره‌های ساحلی اکثر آبخوانهای آبرفتی واقع در حاشیه کویر ایران که تنها منبع تأمین کننده آب مورد نیاز اهالی منطقه می‌باشد، به دلیل بهره‌برداری بی رویه دچار آلودگی شده و بعضی از آنها دچار تغییر گرادیان هیدرولیک از جانب کویر به سفره‌ها شده‌اند. در مورد این سفره‌ها نیز می‌توان با بهره‌گیری مناسب از روابط موجود و تجربیات سایر کشورها از صدمات بیشتر جلوگیری به عمل آورد.

## منابع و مأخذ

- 1- D.K.Todd, 1979 "Ground Water Hydrology."  
John Willey & Son , New York.
- 2- John D.Hem, 1989, "Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural" Water U.S.Geological Survey, U.S.Government Printing Office.
- 3- Aquifer Contamination and Protection (IHP) - UNESCO.

## خواننده گرامی

دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی، با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر چهارصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، بصورت تألیف و ترجمه تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه پیوست در راستای موارد یاد شده تهیه شده تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی بکار برده شود. به این لحاظ برای آشنایی بیشتر، فهرست عناوین نشریاتی که طی دو سال اخیر به چاپ رسیده است با اطلاع استفاده کنندگان و دانش پژوهان محترم رسانده می‌شود.

لطفاً برای اطلاعات بیشتر به سایت اینترنتی [www.mporg.ir/fanni/s.htm](http://www.mporg.ir/fanni/s.htm) مراجعه

نمائید.

دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

معاونت امور فنی

## فهرست نشریات

دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی

در سال‌های (۸۱-۸۳)

ملاحظات	نوع دستورالعمل	تاریخ انتشار چاپ		شماره نشریه	عنوان نشریه
		آخر	اول		
	۱		۱۳۸۱	۲۳۴	آیین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران
	۱-۲۳۵-۳ ۲-۲۳۵-۳		۱۳۸۲ ۱۳۸۱	۲۳۵	ضوابط و معیارهای طرح و اجرای سیلوهای بتنی جلد اول - مشخصات فنی عمومی و اجرایی سازه و معماری سیلو (۲۳۵-۱) جلد دوم - مشخصات فنی عمومی و اجرایی تأسیسات برق سیلو (۲۳۵-۲) جلد سوم - مشخصات فنی عمومی و اجرایی تأسیسات مکانیکی سیلو (۲۳۵-۳)
	۳		۱۳۸۱	۲۴۰	راهنمای برگزاری مسابقات معماری و شهرسازی در ایران
	۳		۱۳۸۱	۲۴۵	ضوابط طراحی سینما
	۱		۱۳۸۱	۲۴۶	ضوابط و مقررات شهرسازی و معماری برای افراد معلول جسمی-حرکتی
	۳		۱۳۸۱	۲۴۷	دستورالعمل حفاظت و ایمنی در کارگاههای سدسازی
	۳		۱۳۸۱	۲۴۸	فرسایش و رسوبگذاری در محدوده آبسنگها
	۲		۱۳۸۱	۲۴۹	فهرست خدمات مرحله توجیهی مطالعات ایزوتوبی و ردیابی مصنوعی منابع آب زیرزمینی
	۱			۲۵۰	آیین نامه طرح و محاسبه قطعات بتن پیش تنیده
	۳		۱۳۸۱	۲۵۱	فهرست خدمات مطالعات بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود
	۳		۱۳۸۱	۲۵۲	رفتارسنجی فضاهای زیرزمینی در حین اجرا
	۱		۱۳۸۱	۲۵۳	آیین نامه نظارت و کنترل بر عملیات و خدمات نقشه برداری
	۳ ۱ ۳		۱۳۸۱	۲۵۴	دستورالعمل ارزیابی پیامدهای زیست محیطی پروژه های عمرانی: جلد اول - دستورالعمل عمومی ارزیابی پیامدهای زیست محیطی پروژه های عمرانی (۲۵۴-۱) جلد دوم - شرح خدمات بررسی اولیه و مطالعات تفصیلی ارزیابی آثار زیست محیطی طرح عمرانی (۲۵۴-۲) جلد سوم - دستورالعمل های اختصاصی پروژه های آب .... (۲۵۴-۳)
	۳		۱۳۸۱	۲۵۵	دستورالعمل آزمایشهای آبشویی خاکهای شور و سدیمی در ایران
	۳		۱۳۸۱	۲۵۶	استانداردهای نقشه کشی ساختمانی
	۳			۲۵۷	دستورالعمل تهیه طرح مدیریت مناطق تحت حفاظت
	۳		۱۳۸۱	۲۵۸	دستورالعمل بررسیهای اقتصادی منابع آب
	۳		۱۳۸۱	۲۵۹	دستورالعمل آزمون میکروبیولوژی آب
	۳		۱۳۸۱	۲۶۰	راهنمای تعیین عمق فرسایش و روشهای مقابله با آن در محدوده پایه های پل
	۱		۱۳۸۱	۲۶۱	ضوابط و معیارهای فنی روشهای آبیاری تحت فشار مشخصات فنی عمومی آبیاری تحت فشار
	۲		۱۳۸۲	۲۶۲	فهرست جزئیات خدمات مطالعات تأسیسات آبیاری (مرحله های شناسائی ، اول و دوم ایستگاههای پمپاژ)
	۲		۱۳۸۲	۲۶۳	فهرست جزئیات خدمات مهندسی مطالعات تأسیسات آبیاری ( سردخانه سازی)
	۱		۱۳۸۲	۲۶۴	آیین نامه اتصالات سازه های فولادی ایران
	۳		۱۳۸۲	۲۶۵	برپایی آزمایشگاه آب
	۳		۱۳۸۲	۲۶۶	۱- دستورالعمل تعیین اسید یته و قلیائیت آب ۲- دستورالعمل تعیین نیتروژن آب

ملاحظات	نوع دستورالعمل	تاریخ انتشار چاپ		شماره نشریه	عنوان نشریه
		آخر	اول		
				۲۶۷	ایین نامه ایمنی راههای کشور ایمنی راه و حریم (جلد اول) ایمنی ابنیه فنی (جلد دوم) ایمنی علائم (جلد سوم) تجهیزات ایمنی راه (جلد چهارم) تأسیسات ایمنی راه (جلد پنجم) ایمنی بهره‌برداری (جلد ششم) ایمنی در عملیات اجرایی (جلد هفتم)
	۳		۱۳۸۲	۲۶۸	دستورالعمل تثبیت لایه‌های خاکریز و روسازی راه‌ها
	۳		۱۳۸۲	۲۶۹	راهنمای آزمایش‌های دانه‌بندی رسوب
	۳		۱۳۸۲	۲۷۰	معیارهای برنامه‌ریزی و طراحی کتابخانه‌های عمومی کشور
	۳		۱۳۸۲	۲۷۱	شرایط طراحی (DESIGN CONDITIONS) برای محاسبات تأسیسات گرمایی، تعویض هوا و تهویه مطبوع مخصوص تعدادی از شهرهای کشور
				۲۷۲	راهنمای مطالعات بهره‌برداری از مخازن سدها
				۲۷۳	راهنمای تعیین بار کل رسوب رودخانه‌ها به روش انیشتین و کلبی
				۲۷۴	دستورالعمل نمونه‌برداری آب
				۲۷۵	ضوابط بهداشتی و ایمنی پرسنل تصفیه‌خانه‌های فاضلاب
				۲۷۶	شرح خدمات مطالعات تعیین حد بستر و حریم رودخانه یا مسیل
				۲۷۷	راهنمای بررسی پیشروی آب‌های شور در آبخوان‌های ساحلی و روش‌های کنترل آن
				۲۷۸	راهنمای انتخاب ظرفیت واحدهای مختلف تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری
				۲۷۹	مشخصات فنی عمومی زیرسازی راه‌آهن
				۲۸۰	مشخصات فنی عمومی راهداری
				۲۸۱	ضوابط عمومی طراحی شبکه‌های آبیاری و زهکشی
				۲۸۲	ضوابط هیدرولیکی طراحی ساختمان‌های تنظیم سطح آب و آبیگرها در کانال‌های روباز
				۲۸۳	فهرست خدمات مهندسی مرحله ساخت طرح‌های آبیاری و زهکشی
				۲۸۴	راهنمای بهره‌برداری و نگهداری از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری بخش دوم - تصفیه ثانویه
				۲۸۵	راهنمای تعیین و انتخاب وسایل و لوازم آزمایشگاه تصفیه‌خانه‌های فاضلاب

In the Name of God  
Islamic Republic of Iran  
Ministry of Energy  
Iran Water Resources Management CO.  
Deputy of Research  
Office of Standard and Technical Criteria

# ***Guideline for Saltwater Intrusion in Beach`s Aquifers and Control Methods***

Publication No. 277



## این نشریه

با عنوان [ ] راهنمای بررسی پیشروی آبهای شور در  
آبخوانهای ساحلی و مکانیزمهای کنترل آن [ ] شامل:  
پدیده پیشروی آبهای شور، روشهای بررسی، تعیین  
ضخامت، شیب مرز مشترک آب شور و شیرین، طول  
ناحیه آغشته به آب شور و مکانیزمهای کنترل آن  
می باشد. در مقدمه به طور خلاصه به پیشینه مطالعاتی  
پیشروی آبهای شور اشاره شده و در متن نیز ضوابط  
محاسباتی پیشروی آبهای شور دریا به آبخوانهای  
ساحلی و نحوه کنترل آن تشریح شده است. شناخت  
املاح موجود در آبهای نفوذی دریا به سفره های آب  
شیرین و تعیین حداکثر بده بهره برداری از آب شیرین  
از دیگر موضوعاتی است که مورد بررسی قرار گرفته اند.  
در انتها منابع و مأخذ مورد استفاده در این نشریه ذکر  
شده است.

معاونت امور پشتیبانی

مرکز مدارک علمی و انتشارات

ISBN 964-425-493-7



9 789644 254932