بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

دانشکده مهندسی زراعی

گروه مهندسی آب

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد در رشته زهکشی

موضوع :

شبیه سازی پیشروی آب شور بر سفره های ساحلی در حوضه لاهیجان – چابکسر

استادان راهنما:

دکتر علی شاهنظری دکتر رامین فضل اولی

استاد مشاور:

دکتر میرخالق ضیاتبار احمدی

دانشجو:

روحا... دیباوند

اسفند ۱۳۹۰

این اثر تقدیم به

به پدر و مادر مهربانم

به پاس قلب‌های بزرگ شان که فریاد رس است و به پاس محبت های بی دریغ شان که هرگز فروکش نمی‌کند ...

و به همسر عزیزم

که سایه مهربانیش سایه سار زندگیم می باشد، او که اسوه صبر و تحمل بوده و مشکلات مسیر را برایم تسهیل نمود.

سپاس خدای را که نومید نیستم از رحمت او

نه مایوس از مغفرت او

خدایی که رحمت او پیوسته است

و نعمت او ناگسسته

چکیده

در شرایط طبیعی، گرادیان هیدرولیکی در آبخوان‌های ساحلی به سمت دریا می‌باشد. آب دریا که در انتهای آبخوان ساحلی قرار دارد به علت داشتن املاح، سنگین‌تر از آب شیرین می‌باشد و این اختلاف چگالی آب شور دریا به آب شیرین ساحلی باعث پیشروی آب شور دریا و در نتیجه ایجاد گوه آب شور در زیر آب شیرین می‌گردد. هر گونه تغییر در الگوی جریان نظیر تغییر در پمپاژ و تغذیه آب شیرین در ناحیه ساحلی یا تغییرات جزر و مدی در ناحیه آب شور ، شکل و موقعیت فصل مشترک را متأثر ساخته و باعث جابجایی آن می‌شود.

در مطالعه حاضر پیشروی آب شور بر آبخوان‌های ساحلی به وسیله مدل ***SHARP*** بررسی شده است. این مدل، معادلات جریان آب شور و آب شیرین را با شرط حل معادلات در دو سمت سطح تماس بطور همزمان حل می‌نماید. سپس سه سناریو با عناوین تاثیر موقعیت مرز بالادست، افزایش و کاهش میزان پمپاژ از چاه‌های حوضه و میزان تغذیه حوضه در شرایط خشک‌سالی و ترسالی بر پیشروی آب‌شور مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی مدل حاکی از پیشروی آب شور به میزان ۱/۵ تا ۲ کیلومتر در آبخوان‌های ساحلی می‌باشد. بررسی سناریوهای فوق نشان داد که تنش ایجاد شده ناشی از موقعیت مرزبالا دست، بر سطح مشترک آب‌شور و شیرین (اینترفیس) موثر است. میزان برداشت از سفره‌های زیرزمینی به دلیل تاثیر بر سطح آب زیرزمینی، نقش قابل توجه‌ای بر پیشروی آب شور دارد. همچنین میزان تغذیه در شرایط خشک‌سالی و ترسالی به دلیل تاثیر مستقیمی که بر سطح ایستابی دارد، نقش بسزایی در موقعیت اینترفیس ایفا می‌کند.

کلمات کلیدی: پیشروی آب‌شور، آبخوان ساحلی، مدل ***SHARP***، میزان پمپاژ

فصل اول: کلیات

۱-۱. مقدمه..... ۱
۱-۲. روش تحقیق..... ۳
۱-۳. هدف و ضرورت مطالعات..... ۴

فصل دوم: مفاهیم نظری و بررسی منابع

۲-۱. تعریف مسئله..... ۶
۲-۲. بررسی منابع..... ۹

فصل سوم: معرفی مدل عددی

۳-۱. مقدمه..... ۱۳
۳-۱. روابط ریاضی حاکم بر مدل *SHARP*..... ۱۴

فصل چهارم: مواد و روش ها

۴-۱. آشنایی با منطقه مورد مطالعه..... ۲۱
۴-۱-۱. هواشناسی و اقلیم منطقه..... ۲۲
۴-۲. منابع آب سطحی..... ۲۳

۴-۲-۱. مشخصات فیزیوگرافی رودهای حوضه..... ۲۴

۴-۳. منابع آب زیرزمینی..... ۲۴

۴-۳-۱. زمین شناسی محدوده مصالعاتی ۲۴

۴-۳-۲. ضخامت رسوبات آبرفتی ۲۵

۴-۳-۳. سطح سفره آب زیر زمینی (بررسی نقشه هم عمق)..... ۲۶

۴-۳-۴. تراز آب زیر زمینی ۲۷

۴-۳-۵. بیلان آب زیر زمینی آبخوان آبرفتی ۲۸

۴-۳-۶. تعیین ضریب هدایت هیدرولیکی ۲۹

۴-۴. مؤلفه های تغذیه ۳۰

۴-۴-۱. تغذیه جانبی (جریان زیر زمینی ورودی)..... ۳۰

۴-۴-۲. تغذیه از سطح ۳۰

۴-۵. مؤلفه های تخلیه ۳۱

۴-۵-۱. تخلیه بوسیله چاه ۳۱

۴-۵-۲. زهکشی و تبخیر از آب زیر زمینی ۳۱

۴-۵-۳. جریان زیر زمینی خروجی..... ۳۲

۴-۵-۴. تغذیه خالص آبخوان ۳۲

۴-۶. تعیین محدوده مدل سازی..... ۳۲

۴-۶-۱. شرایط مرزی..... ۳۳

۴-۶-۱-۱. تعیین مرزهای جانبی..... ۳۳

۴-۶-۱-۲. تعیین مرزهای بالادست..... ۳۵

۴-۶-۲. انتخاب مرزهای هیدرولیکی ۳۶

۴-۶-۲-۱. مشخصات فیزیکی محدوده..... ۳۷

۴-۶-۲-۲. پارامتر های مدل سازی..... ۴۱

۴-۶-۳. شرایط اولیه مدل ۴۲

۴-۶-۳-۱. شرایط اولیه آب زیرزمینی..... ۴۲

۴-۶-۳-۲. شرایط اولیه گوه آب شور..... ۴۲

۴-۷. شبیه سازی پیشروی آب شور در حوضه لاهیجان - چابکسر..... ۴۲

۴-۸. بررسی سناریوهای مختلف..... ۴۳

۴-۸-۱. سناریوهای لازم برای تعیین مرز بالادست..... ۴۴

۴-۸-۲. بررسی تاثیر میزان پمپاژ های مختلف برپیشروی آب شور..... ۴۵

۴-۸-۲-۱. بررسی سناریوهای میزان پمپاژ در زیر حوضه خشکرود..... ۴۵

۴-۸-۲-۲. بررسی سناریوهای میزان پمپاژ در زیر حوضه پلرود ۴۶

۴-۸-۲-۳. بررسی سناریوهای میزان پمپاژ در زیر حوضه شلمانرود..... ۴۶

۴-۸-۲-۴. بررسی سناریوهای میزان پمپاژ در زیر حوضه لنگرودخان..... ۴۷

۴-۸-۳. بررسی تاثیر تغذیه های مختلف خالص آبخوان برپیشروی آب شور ۴۸

فصل پنجم: بحث و نتیجه

۵-۱. نتایج شبیه سازی پیشروی آب شور در زیر حوضه ها..... ۴۹

۵-۱-۱. شبیه سازی پیشروی آب شور در زیرحوضه لنگرودخان ۴۹

۵-۱-۲. شبیه سازی پیشروی آب شور در زیرحوضه شلمانرود..... ۵۱

۵-۱-۳. شبیه سازی پیشروی آب شور در زیرحوضه پلرود..... ۵۳

۵-۱-۴. شبیه سازی پیشروی آب شور در زیرحوضه خشکرود..... ۵۴

۵-۲. بررسی نتایج حاصل از سناریوهای مرز بالادست در زیرحوضه ها..... ۵۶

۵-۲-۱. بررسی نتایج حاصل از سناریوهای مرز بالا دست در زیر حوضه خشکرود..... ۵۶

۵-۲-۲. بررسی نتایج حاصل از سناریوهای مرز بالا دست در زیر حوضه پلرود ۵۷

۵-۲-۳. بررسی نتایج حاصل از سناریوهای مرز بالا دست در زیر حوضه شلمانرود..... ۵۸

۵-۲-۴. بررسی نتایج حاصل از سناریوهای مرز بالا دست در زیر حوضه لنگرودخان..... ۵۹

۵-۳. بررسی نتایج حاصل از سناریوهای مقادیر مختلف پمپاژ در زیر حوضه ها..... ۵۹

۵-۳-۱. بررسی نتایج حاصل از سناریوهای مقادیر مختلف پمپاژ در زیر حوضه خشکرود..... ۶۰

۵-۳-۲. بررسی نتایج حاصل از سناریوهای مقادیر مختلف پمپاژ در زیر حوضه پلرود..... ۶۰

۵-۳-۳. بررسی نتایج حاصل از سناریوهای مقادیر مختلف پمپاژ در زیر حوضه شلمانرود..... ۶۱

۵-۳-۴. بررسی نتایج حاصل از سناریوهای مقادیر مختلف پمپاژ در زیر حوضه لنگرودخان..... ۶۲

۵-۴. بررسی سناریوهای تغذیه خالص آبخوان در زیر حوضه ها..... ۶۲

۵-۴-۱. بررسی سناریوهای تغذیه خالص آبخوان در زیر حوضه خشکرود..... ۶۳

۵-۴-۲. بررسی سناریوهای تغذیه خالص آبخوان در زیر حوضه پلرود..... ۶۳

۵-۴-۳. بررسی سناریوهای تغذیه خالص آبخوان در زیر حوضه شلمانرود..... ۶۴

۵-۴-۴. بررسی سناریوهای تغذیه خالص آبخوان در زیر حوضه لنگرودخان..... ۶۴

۵-۵. پیشنهادات..... ۶۵

منابع..... ۶۶

فصل اول:

کلیات

- مقدمه
- روش تحقیق
- هدف وضرورت مطالعات

۱-۱. مقدمه

با توجه به سرانه بارندگی در ایران که در حدود ۳۰۰-۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد که یک‌سوم میانگین بارندگی جهان است و در نتیجه کشوری خشک محسوب می‌شود. یکی از منابع مهمی که برای تامین آب مورد نیاز برای مصارف خانگی، صنعتی و کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد منابع آب‌های زیرزمینی است.

با توجه به آنکه بیش از ۳۰۰۰ کیلومتر از آب‌های شیرین زیرزمینی در مجاورت آب‌های شور دریاهای شمال وجنوب ایران قرار گرفته‌اند، در شرایطی خاص پیشروی آب شور در سفره‌های ساحلی از اهمیت بسزایی برخوردار می‌گردد. مواد جامد محلول آب دریا به طور متوسط ۳۵۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر است.یعنی تقریبا ۳۵ برابرمواد جامد محلول آب قابل قبول برای نوشیدن،که مخلوط شدن مقدار کمی از این آب با آب شیرین می‌تواند آب شیرین را غیرقابل نوشیدن کند. پیشروی آب شور در سفر های ساحلی پدیده مهم و قابل توجهی است که به شور شدن آب زیرزمینی شیرین حتی به بیشتر از میزان استانداردهای مجاز آب آشامیدنی و کشاورزی می‌انجامد. به دلیل رشد جمعیت و این حقیقت که ۵۰ درصد از مردم در حاشیه دریاها و اقیانوس‌ها زندگی می‌کنند، آلودگی آب زیرزمینی در نواحی ساحلی به یک مسئله جدی تبدیل شده است. [۲] در شرایط طبیعی آب‌های زیرزمینی شیرین موجود در سفره‌های آبدار آزاد و یا تحت فشار ساحلی به دریاها یا دریاچه‌ها تخلیه می‌شوند و خط تماس متحرکی بین آب‌های شیرین و شور ایجاد می‌شود. تا زمانی که بار فشاری آب شیرین در سفره واقع در خشکی حفظ شود آب شیرین بسوی اقیانوس تخلیه شده و ناحیه تماس با آب شور در فاصله مجاور ساحل برقرار خواهد بود. بهره‌برداری سنگین و بی‌رویه از آبخوان‌های ساحلی بر روی گرادیان هیدرولیکی تاثیر گذاشته و سبب می‌گردد تا آب دریا در سفره‌های آب‌های زیرزمینی پیشروی نماید. علت اصلی پدیده پیشروی آب شور چگالی بیشتر آب دریا نسبت به آب شیرین می‌باشد. البته عواملی مانند تغییرات آب و هوا و گرم‌شدن عمومی زمین که بصورت تغییر در سیکل هیدرولوژی و بالا آمدن سطح آب دریا آشکار می‌گردد، نوسانات جزر و مدی و کاهش سطح ایستایی در آبخوان از عوامل تشدید کننده این پدیده است.

شناخت و تشخیص آلودگی در آب‌های زیرزمینی بر خلاف آب سطحی بسیار مشکل است.علاوه بر آن رفع آلودگی آب‌های زیرزمینی نسبت به آب‌های سطحی از اهمیت بیشتری برخوردار است.زیرا آلودگی آب های سطحی بعد از برداشتن منابع آلوده کننده با توجه به سرعت زیاد جریان برطرف می‌شود. ولی در آب زیرزمینی این اتفاق نخواهد افتاد و با گذشت زمان وسعت آلودگی افزایش خواهد یافت. یکی از مسائل مهم در زمینه آلودگی آب‌های زیرزمینی که خطر آن بسیار جدی است، طبیعت بلند مدت آن است. دهها سال طول می‌کشد تا موادی که سال‌ها پیش در زمین دفن شده و سبب آلودگی آب زیرزمینی گشته‌اند،کشف شود. بدلیل جابه جایی آلاینده‌ها به همراه آب‌زیرزمینی و دور شدن آن از منبع آلودگی در یک دوره زمانی طولانی،بعضی اوقات، پیدا کردن منبع آلودگی با دشواری‌های فراوان همراه است.

شور شدن سفره‌های آب زیرزمینی سه پیامد ناگوار را در پی خواهد داشت:

۱. خارج شدن منابع آب زیرزمینی از چرخه مصارف خانگی و کشاورزی که صدمات جبران ناپذیری را در پی دارد.

۲. بیابان‌زایی و کویری شدن اراضی ساحلی دریا به علت برداشت بی‌رویه از آب‌های زیر زمینی. البته در سواحل دریای مازندران به علت شرایط آب و هوایی مرطوب امکان تجمع املاح محلول در دشت‌های ساحلی بسیار محدود است ولی تجمع نمک در سواحل خلیج فارس و دریای عمان در جنوب کشور با توجه به شرایط آب و هوایی بشدت گرم، تبخیر بالا و نزولات جوی اندک از طرف دریا بطرف ساحل رو به افزایش است.

۳. نشست سطح زمین در اثر افت سطح ایستابی که در اثر برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی پدید می‌آید. آمار و ارقام ارایه‌شده در منابع جهانی وضع دشوار این حکایت تلخ را نشان می-

دهد. بطور مثال می‌توان از افت ۲۷۴ متری سطح آب زیرزمینی شیکاگو در طول ۱۱۸ سال و افت ۹۱ تا ۱۵۲ متری سطح آب زیرزمینی آریزونای جنوبی و مرکزی و متعاقب آن نشست ۳/۸ متری زمین در طول ۶۰ سال گذشته و همچنین نشست ۸/۵ متری سطح زمین را در برخی نواحی شهری مکزیک یادآور شد. همچنین گزارش هایی از نشست زمین در مناطق جنوبی تهران تا ۲ متر نیز ارائه شده است.[۶] بنابراین میزان آگاهی از الگوی حرکت خط اتصال آب شور و شیرین (اینترفیس) و منطقه اختلال آب شور و شیرین برای مدیریت و محافظت از این منابع لازم و ضروریست.

۱-۲. روش تحقیق

روند کلی این رساله همچون سایر تحقیقات از این دست، در سه مرحله‌ی اصلی صورت گرفته است: بررسی داده های پایه، توسعه مدل و نتیجه‌گیری.

در مرحله اول داده‌های منطقه مورد مطالعه جهت اطلاع بیشتر از وضعیت منطقه از قبیل (میانگین بارندگی، میانگین دمای سالانه، نقشه رودخانه‌های منطقه و وضعیت آب‌های سطحی و زیرزمینی و بررسی زمین‌شناسی منطقه وغیره ...) و داده‌های پایه مورد نیاز مدل از قبیل(عمق آبخوان، نوع آب-خوان، ضریب قابلیت انتقال، هدایت هیدرولیکی در جهت افقی وعمودی، ضریب ذخیره، ضریب ذخیره، تراوش و مقدار و محل پمپاژ وغیره ...) مورد بررسی قرار میگیرد.

در مرحله توسعه، منطقه مورد مطالعه به مدلی ساده شبیه‌سازی می‌گردد. در این رساله از مدل عددی ***SHARP*** استفاده شده است. روند شبیه‌سازی بدین‌گونه است که منطقه مورد نظر به شبکه‌ها وگره‌هایی تقسیم‌بندی می‌شوند و پس از چند فرآیند ریاضی در مدل، ارتفاع اینترفیس برای هر گره تعیین و شبیه‌سازی می‌شود. سپس نتایج شبیه‌سازی و پیشروی آب شور (در صورت وجود)

ارائه می‌شود. در آخر سناریوهای متفاوتی از قبیل مقادیر متفاوت پمپاژ، تغذیه بر اساس خشکسالی و ترسالی و همچنین تاثیر انتخاب مرز بالادست تعریف و بررسی می‌شود.

۱-۳. هدف و ضرورت مطالعات:

شوری یکی از مهمترین مسائل آبخوان‌های ساحلی است که در اثر منابع مختلفی نظیر نفوذ آب شور دریا، آب شور موجود در آبخوان که از زمان‌های گذشته به آبخوان وارد گردیده، لاگون‌های طبیعی که در اثر بالا آمدن آب دریا پر شده و بر اثر تبخیر تغلیظ شده‌اند، آب برگشتی مصارف کشاورزی ، آب شور ناشی از فعالیت‌های انسانی و نمک ناشی از گنبدهای نمکی بوجود می‌آید. در ایران، آلودگی شوری آب زیرزمینی به خصوص در مناطق شمالی کشور از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. حاشیه شمالی کشور ایران بدلیل برخورداری از آب و هوا و اقلیم مناسب از تمرکز جمعیتی و صنعتی نسبتاً بالایی برخوردار است که به منظور تامین آب شرب، منابع آب زیرزمینی مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند.

با افزایش توسعه شهری و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی تعادل حاکم بین تخلخل طبیعی آبخوان و فشار ناشی از غلظت بیشتر آب شور مختل شده و گرادیان آب شیرین کاهش می‌یابد که در اثر این پدیده گوه آب شور به سرعت به داخل آبخوان نفوذ می‌نماید و در نتیجه آب چاه‌های مورد استفاده شور خواهد شد.

همانطور که اشاره شد به‌علت رشد جمعیت در نواحی ساحلی آلودگی آب زیرزمینی در نواحی ساحلی به یک مسئله جدی تبدیل شده است. مدیران نواحی ساحلی به شناخت و آگاهی در زمینه

انتقال و تخلیه آلاینده‌ها در سفره‌های ساحلی نیاز دارند تا بطور کمی و کیفی در مورد منابع آب در دسترس، آب شیرین آلوده شده و میزان پراکندگی آن، آب شیرین تلف شده (شور شده) و غیرقابل استفاده برای پمپاژ آمار دقیقی داشته و تصمیم‌گیری صحیحی برای استفاده از این منابع اعمال کنند. لذا در این تحقیق به بررسی پیشروی آب‌شور در حوضه لاهیجان- چابکسر پرداخته و میزان پیشروی آب‌شور بر سفره‌های ساحلی در این حوضه تعیین می‌شود.

فصل دوم:

مفاهیم نظری و بررسی منابع

- تعریف مسئله
- بررسی منابع

۲-۱. تعریف مسئله:

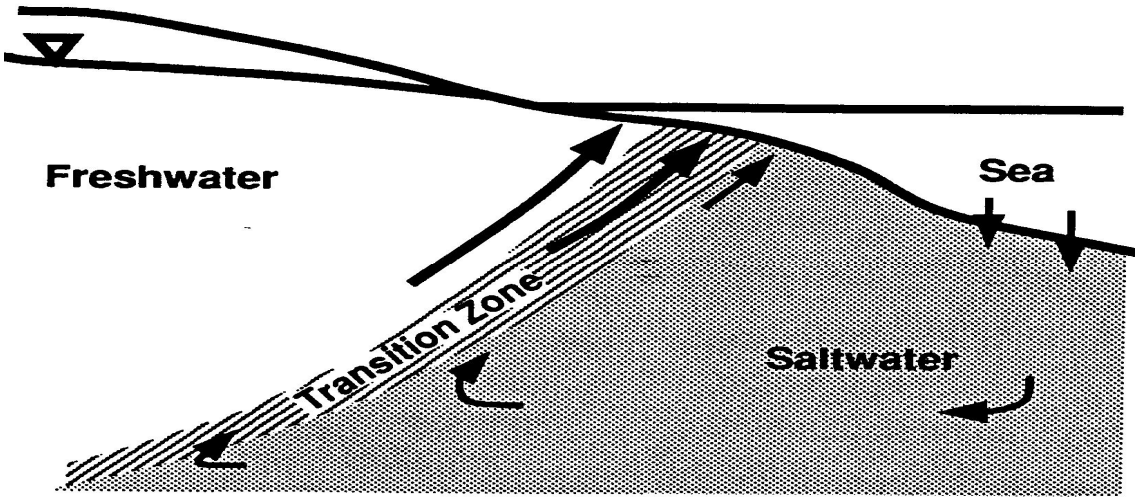
در شرایط طبیعی آب‌های زیرزمینی شیرین موجود در سفره‌های آبدار آزاد و یا تحت فشار ساحلی به دریاها یا دریاچه‌ها تخلیه می‌شوند و خط تماس متحرکی بین آب‌های شیرین و شور ایجاد می-شود. تا زمانی که بار فشاری آب شیرین در سفره واقع در خشکی حفظ شود آب شیرین بسوی اقیانوس تخلیه شده و ناحیه تماس با آب شور در فاصله مجاور ساحل برقرار خواهد بود. آب دریا که در انتهای آبخوان ساحلی قرار دارد به علت داشتن املاح، سنگین‌تر از آب شیرین می باشد و این اختلاف چگالی آب شور دریا به آب شیرین ساحلی باعث پیشروی آب شور دریا و در نتیجه ایجاد گوه آب شور در زیر آب شیرین می‌گردد. در نتیجه پیشروی آب شور دریا، شرایط هیدرولیکی جریان آب در نواحی ساحلی پیچیده‌تر شده و این امر شناخت مکانیزم پیشروی آب دریا را مشکل‌تر می‌سازد.

تحت شرایط طبیعی، گرادیان هیدرولیکی آب شیرین، مقدار زیادی آب شیرین را به دریا تخلیه می‌کند در بالاترین لایه که عمدتاً یک لایه غیرمحصور است، تخلیه آب شیرین به دریا از سطح تراوش در خط ساحلی صورت می‌گیرد. در هر لایه، آب شور دریا به علت داشتن املاح بیشتر، سنگین‌تر از آب شیرین بوده و به شکل یک گوه در زیر آب شیرین قرار می‌گیرد.در حالت جریان دائمی در آبخوان‌های آزاد، آب شور دریا در حالت تعادل هیدرواستاتیکی خواهد بود. اما در سیستم‌های لایه‌ای به علت تراوش آب شیرین از یک لایه به لایه دیگر، ناحیه آب شور حتی در حالت جریان دائمی ساکن نخواهد بود.

تحت شرایط دائمی، فصل مشترک آب شور و شیرین تابع هد و گرادیان هیدرولیکی آب شیرین است.تغییرات گرادیان و هد آب شیرین، شکل و موقعیت فصل مشترک را متأثر می‌سازد. بهره-

برداری سنگین و بی‌رویه از آبخوان‌های ساحلی بر روی گرادیان هیدرولیکی تاثیر گذاشته و سبب می‌گردد تا آب دریا در سفره‌های آب‌های زیرزمینی پیشروی نماید. بعلت پیشروی آب دریا درآبخوان‌های ساحلی، سه ناحیه قابل تشخیص است: ناحیه آب شیرین، ناحیه اختلاطی یا پخشی و ناحیه آب شور. آب شیرین از بالای آب شور جریان یافته و از خط ساحلی به دریا تخلیه می‌گردد. در ناحیه اختلاطی پراکندگی هیدرودینامیکی رخ می‌دهد، در این ناحیه غلظت نمک از آب شور دریا تا آب شیرین زیرزمینی متغییر است. این ضخامت بین یک تا صد متر گزارش شده است.

شکل ۱-۱. نمایی کلی از تداخل آب شور وشیرین



بطور کلی دو دیدگاه برای مدل کردن پیشروی آب شور دریا به آبخوان‌های ساحلی وجود دارد: زمانی که ضخامت ناحیه انتقالی نسبت به ضخامت لایه آبخوان کوچک باشد، می‌توان از پراکندگی هیدرودینامیکی صرف‌نظر کرد، در این حالت آب شور و آب شیرین بصورت دو سیال مخلوط نشدنی در نظر گرفته می‌شوند. این روش بنام روش سطح تماس غیراختلاطی شناخته می شود. اگر ضخامت ناحیه انتقالی قابل توجه باشد، با در نظر گرفتن پراکندگی هیدرودینامیکی مساله از دیدگاه فصل مشترک اختلاطی بررسی می‌شود.

برای حل مساله درحالت غیراختلاطی، آب شور و شیرین به عنوان دو مایع جداگانه در نظر گرفته می‌شوند که معادلات حاکم برحرکت آب زیرزمینی برای هر کدام بطور جداگانه حل می‌شود. این پدیده از یک قرن پیش شناخته شده و در طول قرن گذشته فعالیت‌های زیادی برای مدل‌سازی آن انجام گرفته‌است. که این روش‌ها شامل روش‌های تحلیلی، نیمه تحلیلی، آزمایشگاهی و عددی می-باشد.

پدیده پیشروی آب شور با استفاده از روش‌های تحلیلی، نیمه تحلیلی، عددی و آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفته است. در سال‌های اخیر روش‌های عددی توسعه و کاربرد زیادی یافته‌اند. این روش‌ها بر اساس دو دیدگاه سطح تماس غیر اختلاطی و سطح تماس با در نظر گرفتن ناحیه پراکندگی ارایه شده‌اند. زمانی که عرض ناحیه انتقالی در مقایسه با ضخامت لایه آبدار کوچک باشد فرض می‌شود آب شیرین و آب دریا غیر قابل حل در یکدیگر هستند و یک سطح تماس غیراختلاطی بین آنها وجود دارد و پراکندگی هیدرودینامیکی نادیده گرفته می‌شود. در دیدگاه سطح تماس اختلاطی فرض می‌شود آب دریا و آب شیرین مخلوط می‌شوند و یک ناحیه انتقالی با ضخامت محدود بین دو سیال به‌وجود می‌آید. در ناحیه انتقالی غلظت نمک به تدریج از غلظت نمک در آب دریا تا صفر در آب شیرین تغییر می‌نماید و اثر پراکندگی هیدرودینامیکی در پیشروی آب شور در نظر گرفته می‌شود. در جمع‌بندی کلی می‌توان گفت که مدل‌های با سطح تماس غیراختلاطی برای مسایل مدیریتی و بررسی مساله در سطح کلان و در مناطق وسیع مناسب می‌باشند. مدل‌های با سطح تماس اختلاطی برای کارهای دقیق منطقه‌ای و فعالیت‌های علمی و میدانی قابل استفاده می‌باشند.