

# بررسی نفوذ آب دریا در سفره آبهای زیرزمینی دشتهای ساحلی دریای مازندران

نوشته :

محمود صداقت<sup>(۲)</sup>

فریدون قاسمی<sup>(۱)</sup>

چکیده :

نفوذ آب شور در نواحی ساحلی دریاها موجب تشکیل یک سطح جدائی بین آب شور و شیرین میگردد. سطح مزبور ثابت نبود. وبا تغییرات پیرومتری سفره آبهای زیرزمینی جابجا میشود. برای آنکه از سفره آبهای زیرزمینی در نواحی ساحلی بتوان به بهترین نحوه بهره برداری نمود بایستی با دقت کافی موقعیت سطح جدائی فوق را مورد مطالعه قرارداد.

در این مقاله سعی شده که در طول سواحل دریای مازندران با توجه به اطلاعات موجود وضعیت تداخل آب شور و شیرین و محل تقریبی سطح جدائی آنها و همچنین مناطقی را که بیشتر در خطر هجوم آب شور هستند مورد بررسی قرار گیرند.

مقدمه :

سفره آبهای زیرزمینی در نواحی ساحلی دریاها همواره با خطر پیشرفت و نفوذ آب شور مواجه میباشند. با توسعه بهره برداری از آبهای زیرزمینی پیشرفت و نفوذ آب شور بداخل خشکی افزایش یافته و بهره برداری بی رویه از آنها ممکن است آلودگی کامل منابع آب زیرزمینی را بدنبال داشته باشد. در غالب موارد از بین بردن این آلودگی کار آسانی نبوده و احتیاج به سالها وقت و صرف هزینه های زیادی دارد. اصولاً در نواحی ساحلی یک جریان آب شیرین زیرزمینی از خشکی بطرف دریا وجود دارد که هرچه مقدار آن بیشتر باشد نفوذ آب دریا در سفره های ساحلی کمتر صورت میگردد و بطور طبیعی یک حالت تعادل بین آبهای شیرین سفره های ساحلی و آب شور دریا که در زیر آن قرار گرفته وجود دارد. با بهره برداری از آبهای زیرزمینی مقدار جریان بطرف دریا کاهش یافته و در نتیجه مقدار نفوذ آب شور افزایش مییابد. آب شیرین و آب شور دریا را میتوان بعنوان دو سیال مخلوط نشدنی در نظر گرفت و در نتیجه یک

۱ - دکترای دولتی در آبهای زیرزمینی و استادیار دانشکده فنی دانشگاه تهران.

۲ - فوق لیسانس در آبهای زیرزمینی و کارشناس آبهای زیرزمینی وزارت نیرو.

سطح جدائی در بین آنها تصور نمود. این سطح « سطح جدائی آب شور و شیرین » یا Fresh and salt water interface نامیده میشود.

در استفاده از آبهای زیرزمینی نواحی ساحلی بایستی با دقت کافی موقعیت سطح فوق را تعیین نموده و تغییر محل آنرا با تغییرات میزان بهره‌برداری، تغذیه و عوامل دیگر مورد مطالعه قراردادده و سپس نسبت به میزان و نحوه بهره‌برداری مناسب در هر ناحیه تصمیمات لازم اتخاذ نمود.

موقعیت سطح جدائی آب شور و شیرین توسط دانشمندان مختلف مورد مطالعه قرار گرفته و روابط و فرضیاتی در این باره بوجود آمده است. اولین بار (Ghyben ۱۸۸۸ - ۱۸۸۹) و Herzberg (۱۹۰۱) مسئله فوق را در یک حالت تعادل استاتیک بین آب شور و شیرین مورد بررسی قراردادده و نشان داده‌اند که در جاهای نزدیک ساحل آب شور در سطح دریا نبوده بلکه بازای هر یک متر آب شیرین در بالای سطح دریا تقریباً ۴ متر آب شیرین نیز در زیر آن و در بالای سطح آب شور قرار گرفته است. در شرایط طبیعی آبهای زیرزمینی بطرف دریا جریان داشته و بنابراین شرایط هیدرواستاتیک فوق با طبیعت وفق نمیدهد. Hubert (۱۹۴۰) و دیگران مسئله فوق را در شرایط هیدرودینامیک مطالعه کرده و نشان داده‌اند که عمق واقعی آب شور بیشتر از آنست که از رابطه گیبین - هرزبرگ بدست میآید.

دانشمندان دیگری نیز مسئله فوق را مورد مطالعه قراردادده‌اند که در اینجا از ذکر جزئیات صرفنظر نموده و اضافه مینمائیم که برای بررسی مسئله نفوذ آب دریا در یک منطقه تنها نباتستی به تئوریها و روابط موجود اکتفا نمود و از مطالعه دقیق منطقه خود داری کرد. زیرا این تئوریها و روابط تنها در شرایط خاصی صادق بوده و در همه حالات نمی‌توانند وضعیت نفوذ آب شور را بدقت مشخص نماید. به منظور مطالعه مسئله فوق در هر منطقه بایستی بررسیهای دقیقی از نظر زمین شناسی، هیدروژئولوژی هواشناسی، هیدروشناسی، ژئوفیزیک و غیره صورت گیرد.

در مطالعات حاضر با توجه به اطلاعات موجود حتی المقدور سعی شده که مناطقی را که در دشتهای ساحلی دریای مازندران تحت تأثیر پیشرفت و هجوم آب شور هستند تعیین نموده و موقعیت تقریبی سطح جدائی آب شور و شیرین را مشخص نمائیم. در این مطالعات دیده شده که استفاده از روابط و فرضیات موجود برای تعیین محل سطح فوق در اکثر نقاط امکان پذیر نبوده و فقط در پاره‌ای از نواحی با تقریب قابل قبولی میتوان این روابط را به کار برد.

### بررسی نفوذ آب شور در مناطق ساحلی دریای مازندران

به منظور بررسی مسئله فوق، مناطق ساحلی دریای مازندران را به چند منطقه مجزا تقسیم نموده و هر یک را بطور جداگانه مورد مطالعه قراردادده‌ایم، گرچه نمی‌توان یک سرز طبیعی بین مناطق مختلف دشتهای ساحلی در نظر گرفت ولی بعلت وجود پاره‌ای اختلافات طبیعی و همچنین سهولت در امر مطالعه هر منطقه این تقسیم بندی صورت گرفته است. بعلاوه چون بررسیهای هیدروژئولوژی که توسط سازمانها و گروههای مختلف در دشتهای ساحلی انجام گرفته اساس مطالعات حاضر است و با توجه به اینکه نوع بررسیهای فوق در مناطق

مختلف متفاوت بوده لذا نتایج بدست آمده نیز در مورد مناطق مختلف دارای ارزش و دقت مساوی نیست. در اینجا از بحث در مورد هر یک از مناطق بطور جداگانه خودداری نموده و فقط به مشخصات کلی و نتایج بدست آمده اشاره مینمائیم :

### ۱ - موقعیت و وضعیت عمومی منطقه :

در این مطالعات مسئله نفوذ آب دریا در بخشی از سواحل بحر خزر که در کشور ما واقع شده و بطول بیش از ۶۰ کیلومتر میباشد مورد بررسی قرار گرفته است. کوههای البرز در جنوب دشتهای ساحلی بصورت دیوار مستدی این ناحیه را از مناطق خشک مرکز ایران جدا میسازد. آب و هوای نواحی ساحلی معتدل مرطوب بوده، میزان بارندگی سالیانه در آن نسبتاً زیاد و از غرب بشرق کاهش مییابد. ( از حدود ۱۰۰۰ میلیمتر در رشت تا ۲۰۰ میلیمتر در گرگان) برعکس درجه حرارت هوا از غرب بشرق افزایش پیدا میکند. منطقه شمال دارای رودخانه های متعددی بوده که در اکثر اوقات سال دارای آب هستند. ( بطوریکه خواهیم دید رودخانه های پر آب منطقه از نظر جلوگیری از نفوذ آب دریا در سفره های آب زیرزمینی منطقه نقش مهمی دارند). جدول شماره ۱ بعنوان نمونه آبدهی پاره ای از رودخانه های حوزه آبریز دریای مازندران را نشان میدهد.

جدول شماره ۱ - آبدهی متوسط سالیانه پاره ای از رودخانه های حوزه دریای مازندران

شماره	نام رودخانه	آبدهی متوسط سالیانه به میلیون متر مکعب	نام ایستگاه
۱	سرداب رود	۹۷	آستارا
۲	دره رود	۵۳۸	شیران
۳	شفا رود	۱۹۹	پونل
۴	سقید رود	۳۲۹۲	پل آستانه
۵	هراز	۱۰۵۸	۲۰ شهرپور
۶	بابل	۵۵۹	بابل
۷	تجن	۲۲۰	سلیمان تنگه
۸	نکا	۱۵۱	نوذر آباد
۹	گرگان رود	۳۶۸	پهلویدر
۱۰	قرمسو	۲۱۱	-

متذکر میشود که کیفیت منابع آبهای سطحی منطقه خوب بوده و هدایت الکتریکی آنها عموماً کمتر از ۱۰۰۰ میکرومهوس بر سانتی متر است. بجز گرگان رود که در فصل تابستان و مواقع غیر سیلابی دارای آب شور با هدایت الکتریکی ۲۰۰۰۰ میکرومهوس بر سانتی متر میباشد و نمک رود ( در فاصله تقریبی ۱۰ کیلومتری غرب چالوس) که بعلت وارد شدن آب چند چشمه معدنی به آن هدایت الکتریکی اش به حدود

۱۰۰۰ تا ۴۰۰ میکرومهوس برسانتی متر و بالاخره رودخانه‌های رسک (یا شور آب) و صفا رود که درحوالی رامسر جریان دارند و دراینجا نیز به دلیل ورود آب چشمه‌های معدنی به این رودخانه‌ها هدایت الکتریکی‌شان درحدود ۱۰۰۰ تا ۸۶۰۰۰ میکرومهوس برسانتی متر تغییر مینماید.

## ۲- زمین شناسی :

### ۲-۱- زمین شناسی ارتفاعات حاشیه دشت :

به منظور تعبیر و تفسیر دقیق تر مسائل آب شناسی در هر منطقه مطالعه عوامل زمین شناسی نیز لازم میباشد. لذا با استفاده از نتایج بدست آمده توسط گروه‌های مختلف مطالعاتی مشخصات زمین شناسی منطقه تا آنجا که مربوط به مسئله مورد نظر میشده مورد بررسی قرار گرفته است. در اینجا از ذکر جزئیات صرف نظر نموده و فقط اشاره مینمائیم که سنگهای حاشیه جنوبی دشت‌های ساحلی از نظر آب شناسی اکثراً در گروه‌های زیر قرار دارند :

الف - سنگهای آهکی که اغلب دارای درز و شکاف فراوان بوده و در تغذیه سفره‌های زیرزمینی نقش مؤثری دارند. این سنگها از نظر کیفیت شیمیائی بر روی آبهای زیرزمینی تأثیر مهمی ندارند.

ب - تشکیلات شیل و ماسه سنگی زغال دار (تشکیلات شمشک) که فاقد ذخایر آبی بوده و از نظر شیمیائی نیز بر روی آبهای زیرزمینی تقریباً بی تأثیر میباشد.

ج - تشکیلات کنگلومرا، مارن و ماسه سنگی (معروف به تشکیلات میوپلیوسن کاسپین) که فاقد ذخایر آبی بوده و به علاوه بعلت نداشتن مواد گچی و نمکی از نظر تغییر کیفیت آبهای زیرزمینی نقش مهمی ندارند.

د - سنگهای آذرین و دگرگونی که از نظر شیمیائی هیچگونه اثر نامطلوبی بر روی آبهای زیرزمینی منطقه ندارند.

بطور خلاصه میتوان نتیجه گرفت که سنگهای تشکیل دهنده ارتفاعات حاشیه از نظر شیمیائی تأثیر مهمی بر روی آبهای زیرزمینی منطقه ندارند.

### ۲-۲- زمین شناسی و هیدروژئولوژی دشت :

بطور کلی در دشتهای مورد مطالعه دو بخش از نظر زمین شناسی میتوان تشخیص داد :

#### الف - بخش مخروط افکنه‌ها :

در قسمت‌های جنوبی دشت مخروط افکنه‌ها تقریباً بصورت نوار پیوسته‌ای در دامنه البرز قرار گرفته‌اند. مخروط افکنه‌ها عموماً از رسوبات دانه درشت مثل قلو، شن و ماسه تشکیل شده که گاهی در بین آنها لایه‌های سیلتی و رسی نیز دیده میشود. در محل ورود رودخانه‌های بزرگ به دشت مخروط افکنه‌ها دارای گسترش وسیعی میباشد. (مثلاً مخروط افکنه رودخانه هراز مساحتی بیش از ۳۰۰ کیلومتر مربع را میپوشاند). در پاره‌ای نقاط که عرض دشت کم میباشد مخروط افکنه‌ها تا نزدیک ساحل ادامه دارند. ضخامت رسوبات مخروط افکنه‌ای زیاد بوده و در بعضی موارد مانند مخروط افکنه‌های هراز و سفید رود بیش از ۳۰۰ متر میباشد. در مخروط افکنه‌های کوچکتر عموماً ضخامت رسوبات دانه درشت بین ۱۰۰ تا ۱۰۰ متر میباشد.

علیرغم وجود پاره‌ای لایه‌های رسی در مخروط افکنه‌ها سفره‌های آبدار آنها از نظر هیدرولیکی بهم پیوسته بوده و یک سفره آزاد را تشکیل می‌دهد. مخروط افکنه‌ها دارای آب فراوانی با کیفیت خوب بوده و بهترین محل برای بهره‌برداری از آبهای زیرزمینی میباشند.

### ب - بخش نسبتاً مسطح شمال دشت:

در شمال مخروط افکنه‌ها بخش نسبتاً مسطح ساحلی قرار گرفته است. در حالیکه قسمت اعظم رسوبات مخروط افکنه‌ای بوسیله رودخانه‌ها بجای گذاشته شده‌اند رسوبات قسمت مسطح و ساحلی دشت نتیجه عمل متقابل محیط‌های خشکی و دریائی میباشند. دشتهای ساحلی دریای مازندران در خلال دوره‌های اخیر زمین‌شناسی بعلت پیشروی و پسروی مداوم دریا بطور متناوب محل ته‌نشست رسوبات دریائی و یا رودخانه‌ای بوده و بعلت همین تناوب رسوبات دانه درشت و دانه ریز یک سری سفره‌های آزاد و تحت فشار در آنها ایجاد شده بطوریکه تعداد، عمق، ضخامت و نوع سفره‌ها در قسمتهای مختلف منطقه متفاوت میباشند. در حوالی گرگان یک سفره آزاد سطحی بضامت ۰ تا ۰ متر در بالا قرار گرفته که در زیر آن تعدادی سفره‌های تحت فشار (با عمق و گسترش نامشخص) قرار دارند. در حوالی بندر شاه و کمیشان چاههایی که به عمق ۲۰۰ حفر شده نشان می‌دهد که نوع رسوبات عموماً از رس و سیلت بوده و سفره‌های آبدار کم‌اهمیتی تشکیل میدهند که تفکیک آنها امکان‌پذیر نیست.

در جنوب خلیج گرگان و حوالی بهشهر و ساری یک سفره آزاد سطحی قرار گرفته که تا عمق ۱۰ الی ۱۰ متر ادامه داشته و در زیر آن عموماً دو سفره تحت فشار دیده میشود که حداکثر تا عمق ۱۱۰ متر ادامه دارد. در زیر سفره‌های مزبور سفره‌های تحت فشار حاوی آبهای بسیار شور (آبهای فسیل) قرار گرفته است. در جنوب خلیج گرگان و در نواحی ساحلی عمق برخورد به آبهای فسیل بین ۲۰ تا ۶۰ متر میباشند. در نواحی اطراف شاهی، بابل و آمل که عرض دشت زیاد میشود تعداد سفره‌ها افزایش یافته و یک سفره سطحی در بالا و تقریباً ۰ سفره تحت فشار در این قسمت از دشت شناخته شده است. سفره سطحی تا عمق تقریباً ۱۰ متر و سفره‌های تحت فشار تا عمق تقریبی ۲۰۰ متر و در پاره‌ای نقاط تا ۳۰۰ متر (حوالی محمود آباد) ادامه دارند.

از غرب محمود آباد تا حوالی رود سرعرض دشت کاسته شده و بهمین جهت ضخامت رسوبات آبرفتی و تعداد سفره‌ها نیز کاهش مییابد. اصولاً در این نواحی سفره آزاد سطحی اهمیت داشته که در پاره‌ای از نقاط تا عمق بیش از ۱۶ متر (حوالی نوشهر) ادامه مییابد. سفره‌های تحت فشار در این نواحی گسترش کمی دارند. در دشت گیلان در نواحی ساحل یک سفره آزاد سطحی تا عمق تقریبی ۶۰ متر ادامه داشته و پائین‌تر از آن چندین سفره تحت فشار قرار گرفته است.

### ۲ - پیژومتری سفره سطحی:

نقشه شماره ۱ - پیژومتری سفره سطحی را در منطقه مورد مطالعه نشان میدهد. ظاهراً این نقشه بایستی بتواند عمق سطح آب شور را در هر نقطه نشان دهد. زیرا دیدیم که بنا به رابطه گیبین - هرزبرگ عمق

سطح آب شور . ۴ برابر ارتفاع سطح آب شیرین نسبت به آب دریا میباشد . مثلاً در منحنی . ۲ - متر ( با توجه به ارتفاع سطح دریای مازندران که ۲۷۵ - متر است ) بایستی آب شور در عمق  $40 \times 70 = 2800$  مترویا بیشتر باشد . درحالی که مطالعات انجام شده نشان میدهد که موضوع فوق در تمام نقاط منطقه صادق نیست . نقاط مزبور عموماً قسمت‌هایی هستند که بعلت کمبود تغذیه طبیعی هنوز آبهای باقیمانده دریای قدیمی از لابلای رسوبات شسته و عقب رانده نشده است و در همین نقاط اغلب عامل تبخیر نیز جریان کم آبهای زیرزمینی را تلف مینماید . معهداً از روی همین نقشه میتوان در مناطقی که میزان تغذیه طبیعی زیاد است بطور تقریب عمق آب شور را تخمین زد .

بعلاوه از روی نقشه فوق الذکر میتوان بطور کلی مناطقی را که پیشرفت آب شور در آنها بیشتر از نواحی دیگر است مشخص نمود . بدین ترتیب که هرچه منحنی معینی ( مثلاً منحنی . ۲ - متر ) در فاصله بیشتری نسبت به ساحل قرار گرفته باشد نشان دهنده نفوذ آب شور بیشتری در سفره سطحی میباشد . بعلت نبودن اطلاعات کافی در حال حاضر نمی توان نقشه های پیرومتری که سفره های عمیق تر را نیز برای تمام نواحی ساحلی تهیه نمود .

#### ۴ - ۱ - استفاده از بررسیهای ژئوفیزیکی در تعیین حد آب شور و شیرین :

یکی از هدفهای اساسی در بررسی های ژئوفیزیکی مناطق ساحلی دریای مازندران تعیین حدود آبهای شور و شیرین در سفره های آبدار بوده است .

چون در مناطق مجاور دریا نوع رسوبات عموماً از مواد دانه ریز دریائی مثل رس و سیلت و ماسه است و مطالعات ژئوالکتریک معمولاً مقاومت مخصوصی در حدود ۱۰ تا ۱۵ اهم متر برای این نوع رسوبات نشان میدهد لذا مقاومت مخصوص های کمتر از ۱۰ اهم متر را بایستی مربوط به شوری آبهای زیرزمینی دانست . در نقاطی که اطلاعات کافی در مورد کیفیت شیمیائی آبهای زیرزمینی در دست بوده دیده شده که منحنی . ۱ - اهم متر در روی نقشه های مقاومت مخصوص ظاهری با طول خط فرستنده جریان معادل  $AB = 400$  متر بخوبی میتواند حد آب شور و شیرین را در عمق ۱۰۰ متر نشان دهد ( آب شور در اینجا آبی در نظر گرفته شده که هدایت الکتریکی آن بیش از ۰۰۰ میکرومhos بر سانتی متر باشد ) .

به دلایل فوق از مطالعات ژئوالکتریک که در سرتاسر دشتهای ساحلی دریای مازندران انجام شده به منظور تعیین سرحد آب شور و شیرین به مقدار زیاد استفاده شده که در اینجا از ذکر جزئیات صرف نظر نموده و فقط از نتایج بدست آمده در قسمت های بعدی استفاده خواهیم نمود .

بعنوان نمونه نقشه تغییرات مقاومت مخصوص ظاهری در منطقه آمل و بابل و شاهی در ( شکل شماره ۱ ) نشان داده شده است .

#### ۵ - شیمی آبهای زیرزمینی :

##### ۵ - ۱ - عوامل شورکننده آبهای زیرزمینی :

بطوریکه قبلاً تذکر داده شد رودخانه هایی که وارد دشت میشوند عموماً دارای آب شیرین بوده و

هدایت الکتریکی آنها کمتر از ۱۰۰ میکرومhos بر سانتی متر است ( دو رودخانه در حوالی چالوس و راسر در محل ورود بدشت دارای آب شور هستند که علت آن وارد شدن آب چند چشمه معدنی در این رودخانه ها میباشد). بنابراین منشأ شوری آبهای زیر زمینی را نمی توان با کیفیت آبهای سطحی یا جنس سنگهای محل تغذیه توجیه نمود و الزاماً باید عوامل دیگری را باین منظور جستجو کرد. نتایج بدست آمده از مطالعات مختلف دلایل زیر را برای شوری آب های زیرزمینی منطقه بدست میدهد :

الف - تغییرات تدریجی کیفیت آبهای زیرزمینی در طول مسیر - هنگامی که آبهای زیرزمینی به آهستگی در حال عبور از رسوبات زردشت هستند قسمتی از مواد تشکیل دهنده آنها را در خود حل مینمایند و بخصوص یونهای سدیم و کلر آنها افزایش مییابد.

ب - تبخیر - عمل تبخیر از طریق منافذ موئینه در مناطقی که سطح سفره آب در عمق کمی ( کمتر از ۳ متر) قرار دارد موجب تغلیظ آبهای زیرزمینی و شور شدن آن میشود.

ج - آبهای فسیل - در پاره ای از نقاط میزان شوری آبهای زیرزمینی خیلی بیشتر از آب دریا میباشد بطوریکه گاهی مقدار نمک آن تا ۶۶ برابر آب دریا میرسد. این گونه آبها به احتمال زیاد آبهای باقیمانده دریای قدیمی است که هنوز در لابلای رسوبات باقیمانده و آبهای شیرین زیرزمینی قادر به عقب راندن آنها نیستند.

د - وجود چشمه های معدنی : در پاره ای نقاط مانند حوالی راسر علت شوری آبهای زیرزمینی نفوذ آب های شور چشمه های معدنی یا نفوذ آب رودخانه های منشعب از آنها در مخازن آبهای زیرزمینی منطقه میباشد.

ه - بالاخره نفوذ آب دریا از عوامل مهمی است که موجب شوری آبهای زیرزمینی میگردد. بنابراین دیده میشود که علاوه بر عامل نفوذ آب دریا عوامل دیگری نیز وجود دارند که باعث شوری و آلودگی سفره آبهای زیرزمینی در این مناطق میشوند. در بعضی نقاط نمیتوان این عوامل را از یکدیگر تفکیک نموده و سهم هر کدام را در شور کردن آبهای زیرزمینی بطور جداگانه مورد مطالعه قرارداد. لذا بجای بررسی مسئله نفوذ آب دریا بهتر است « مسئله نفوذ و گسترش آب شور » را بطور کلی مورد بررسی قرار میدهیم.

## ۵-۲ - نقشه های کیفیت شیمیائی آبهای زیرزمینی منطقه :

نقشه های شیمی آب تغییرات افقی کیفیت آبهای زیرزمینی منطقه را نشان میدهند. بعنوان نمونه نقشه های شماره ۲ و ۳ تغییرات کلر و هدایت الکتریکی در سفره آزاد نواحی ساحلی را نمایان میسازند. این نقشه ها از نظر تفکیک مناطق شور و شیرین در سفره آزاد بسیار مفید میباشد و برای مطالعه کامل مسئله نفوذ آب شور بایستی چنین نقشه هایی بطور جداگانه برای هر کدام از سفره ها تهیه شوند ولی در حال حاضر بعلت کمبود اطلاعات لازم تهیه اینگونه نقشه ها برای کلیه سفره های دشت ساحل دریای مازندران امکان ندارد. در هر حال با بررسی نقشه های شماره ۲ و ۳ میتوان به نتایج زیر دست یافت.

در منطقه گرگان هرچه از دامنه‌ها بطرف شمال و شمال غربی نزدیک میشویم مقدار املاح محلول افزایش مییابد بطوریکه در شمال دیوار اسکندر و اطراف گمیشان آبهای سفره سطحی و عمیق کاملاً شور میباشند.

در حد فاصل بندرگز تا بهشمر کیفیت آبهای زیرزمینی از جنوب بشمال بسرعت تغییر کرده و شور میشود.

در نواحی شمال غربی بهشمر مقدار هدایت الکتریکی بسرعت بسمت دریا افزایش مییابد. بعلاوه سطح آب زیرزمینی در این منطقه سریعاً بسطح زمین نزدیک شده و منطقه تبخیری وسیعی را تشکیل میدهد. در این ناحیه علاوه بر تبخیر وجود آبهای فسیل و عامل پیشروی آب دریا نیز بایستی مورد توجه قرار گیرد. در مخروطه افکنه‌های رودخانه‌های نکا و تجن آبهای زیرزمینی دارای کیفیت کاملاً خوب بوده و گسترش بیشتری نسبت به نقاط دیگر دارند. بعلاوه کیفیت آبهای زیرزمینی در این نواحی و در نزدیکی دامنه کوه تا عمق ۲۰۰ متری تغییرات زیادی نشان نمیدهد ولی در همین نواحی بطرف شمال از ضخامت لایه آب شیرین بتدریج کاسته میشود. متذکر میشود که در بین دو رودخانه تجن و نکا بعلمت کاهش میزان تغذیه و افزایش تبخیر آب زیرزمینی از کیفیت نامناسبی نسبت به نواحی مجاور برخوردار است. در منطقه ساری - آمل آب شور تنها در نواحی شمال شرقی منطقه گسترش دارد و بقیه ناحیه دارای آبهای زیرزمینی با کیفیت خوب میباشد.

در منطقه محمود آباد - چابکسر میزان املاح محلول در آب در جهت جریان آبهای زیرزمینی افزایش مییابد ولی در پاره‌ای از نقاط این وضعیت بدلیل وجود رودخانه‌های شور که آب آنها بدلیل ورود آب چشمه‌های معدنی بدانها شور میشود تغییر میکند. از جمله این نقاط ۲۲ کیلومتری شرق نوشهر و غرب رامسر را میتوان نام برد. و بطور خلاصه در این قسمت از سفره قسمت اعظم منطقه دارای آب با کیفیت خوب میباشد و فقط نواحی کوچکی حاوی آبهای شور هستند که منشأ آنها را عموماً میتوان به نفوذ آبهای معدنی در سفره زیرزمینی نسبت داد سفره‌های عمیق این ناحیه نیز عموماً دارای آب با کیفیت خوب میباشند.

در منطقه لاهیجان - رشت، در مناطق غربی سفید رود آبهای زیرزمینی دارای کیفیت خوبی بوده و مقدار املاح به تدریج از دامنه کوه بطرف دریا افزایش مییابد. در نواحی شرقی سفید رود میزان املاح آبهای زیرزمینی نسبتاً زیاد بوده و این مقدار در دو ناحیه بیش از سایر نقاط است.

- ناحیه اول تقریباً در ۱۰ کیلومتری شمال لنگرود قرار گرفته و میزان کلر از ۰۰۰ میلی گرم در لیتر و قابلیت هدایت الکتریکی از ۰۰۰ میکرومhos بر سانتی متر متجاوز است. علت شور بودن آبهای زیرزمینی در این ناحیه را بایستی بیشتر مربوط به کم بودن تغذیه و تبخیر شدید از سطح سفره که در عمق کمتر از یک متر قرار گرفته است دانست.

- دومین ناحیه نسبتاً شور در حوالی لنگرود قرار گرفته و در این منطقه علاوه بر تبخیر عامل دیگر شوری آبهای زیرزمینی را نفوذ آب دریا در سفره باید دانست.



در منطقه رضوانده - آستارا که بصورت نوار باریکی در غرب دریای مازندران کشیده شده است تعداد زیادی رودخانه‌های پر آب جریان دارد و بعلاوه این ناحیه جزو پر باران ترین مناطق بخش ساحلی دریای مازندران میباشد. در این منطقه بعلت تغذیه طبیعی زیاد و نیز بهره برداری کمتر از آبهای زیر زمینی مسئله نفوذ آب دریا دارای اهمیت چندانی نیست و آبهای سفره سطحی و سفره های عمیق از کیفیت مناسبی برخوردار هستند.

### ۵-۳- تغییرات شوری با زمان

از تجزیه نمونه آبهای که از چاههای کم عمق، عمیق و آرتزین بدست آمده مشاهده میشود که بطور کلی میزان املاح محلول در آبهای زیر زمینی منطقه در زمستان حداقل بوده و با شروع فصل آبیاری روبه ازدیاد میگذارد، بطوریکه تقریباً در مهرماه که پایان فصل آبیاری است میزان املاح محلول بحداکثر رسیده و از آن بعد با کم شدن بهره برداری شروع به کاهش میگذارد.

در مورد سفره سطحی ازدیاد املاح را میتوان بیشتر به کاهش تغذیه و تبخیر بیشتر آب زیر زمینی مربوط دانست، ولی در مورد سفره های عمیق عامل تبخیر بی تأثیر بوده و علت اصلی بالا رفتن املاح آب زیر زمینی کم شدن ضخامت قشر آب شیرین و بهم خوردن تعادل بین آب شور و شیرین و در نتیجه پیشرفت آب شور میباشد. در نقاطی که بعلت تغذیه طبیعی کم مساله پیشرفت آب شور اهمیت زیادی دارد با زیاد شدن بهره برداری کیفیت آبهای زیر زمینی بسرعت تغییر میکند. بطور مثال در جدول شماره ۲ تغییرات کیفیت نمونه آب یک چاه کم عمق واقع در شرق لنگرود نشان داده شده است.

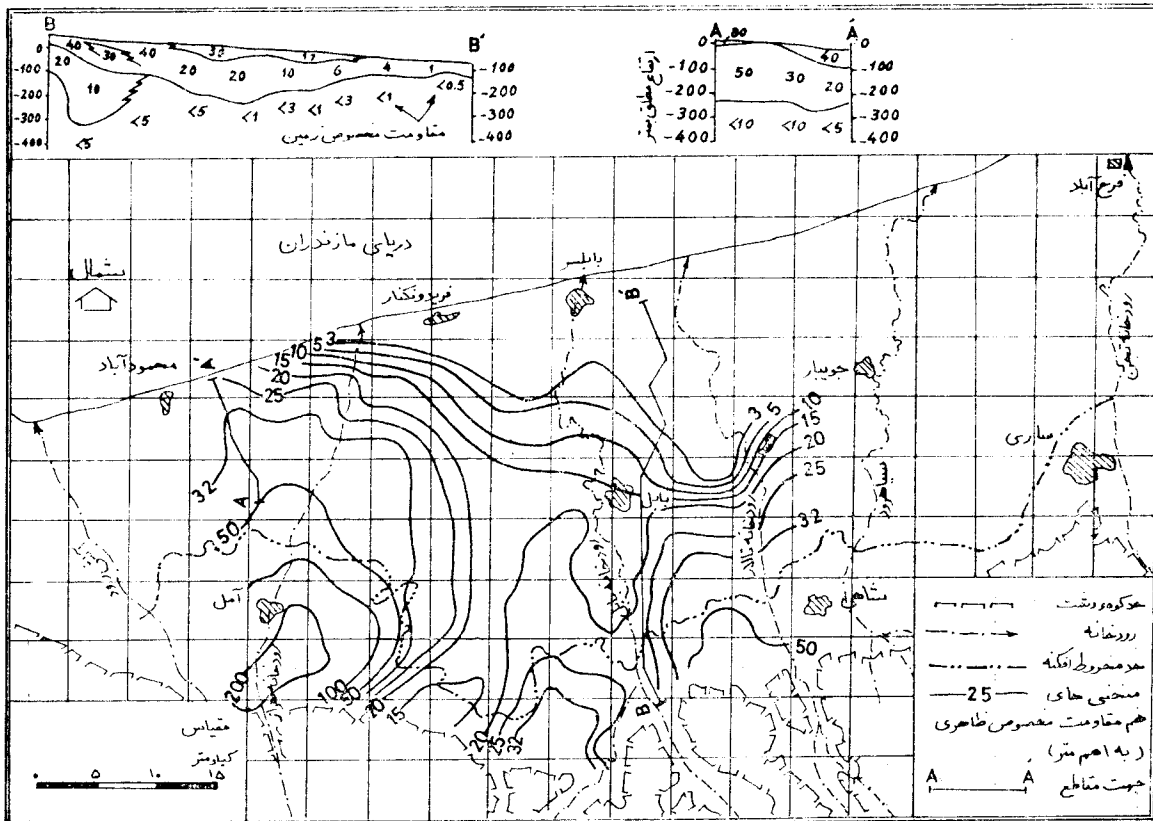
جدول شماره ۲ - نتایج آزمایش شیمیائی نمونه آب یک چاه کم عمق واقع در شرق لنگرود در زمانهای مختلف

تاریخ	هدایت الکتریکی به میکرومهلوسی بر سانتی متر	باقیمانده خشک به میلی گرم در لیتر	میلی اکی والان در لیتر					
			$\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{--}$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{--}$	$\text{Ca}^{++}$	$\text{Mg}^{++}$	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$
۰۲/۱۱/۱۳	۱۴۴۰	—	—	۱۰۷۰	—	—	—	—
۰۳/۱۱/۱۹	۳۰۱۵	۱۹۹۶	۱۴۳۰	۱۵۰۰	۲۳۸	۵۶۰	۲۴۰	۲۳۴۰
۰۳/۴/۴	۳۸۸۶	۲۶۶۴	۱۱۰۰	۳۰۰۰	۳۴۱	۱۲۹۰	۴۶۰	۲۵۹۰
۰۳/۷/۶	۴۳۸۸	۲۶۲۶	۱۲۱۰	۲۹۰۰	۳۱۰	۱۱۹۰	۶۴۰	۲۵۶۰
۰۳/۱۰/۷	۶۹۲۰	۴۴۶۲	۸۴۰	۶۱۲۰	۳۳۰	۱۶۶۰	۶۸۰	۴۶۰۰

جدول مزبور نشان میدهد که در طول تقریبی یکسال بهره برداری از این چاه املاح محلول آن بسرعت افزایش یافته است. بطور مسلم این تغییرات سریع مربوط به نفوذ آب دریا در سفره سطحی این مناطق است.

## ۵-۴- تشخیص آلودگی آبهای زیرزمینی بوسیله آب دریا :

بنابه نظر Revelle ( دانشمند آمریکائی ) نسبت  $\frac{Cl^-}{HCO_3^- + CO_3^{--}}$  برای ارزیابی و تشخیص آلودگی آب زیرزمینی بوسیله آب دریا معیار خوبی میباشد. کالر در آب دریا بیشترین یون بوده و در اثر پدیده‌هایی مثل تبادل یونی Base Exchange یا جانشین شدن یا رسوب گذاری و غیره تغییر نمی‌کند و عموماً مقدار آن در آب زیرزمینی ناچیز است. از طرفی یون بی‌کربنات یون اصلی آبهای زیرزمینی بوده و در آب دریا به مقدار جزئی وجود دارد. لذا در چاههای نزدیک دریا تغییرات کالر به کربناتها بخوبی میتواند پیشرفت آب شور را نشان دهد. بطور نمونه تغییرات ترکیب شیمیائی و همچنین تغییرات نسبت کلر به کربناتها در چند چاه آرتزین حوالی ساری در شکل شماره ۲ نشان داده شده است. عمق این چاهها ۷۳ تا ۱۰۰ متر بوده و همگی تا دومین سفره تحت فشار این منطقه ادامه دارند.



شکل شماره (۱) - نقشه تغییرات مقاومت مخصوص ظاهری برای طول AB=۱۰ متر و در مقطع ژئوآلتریک در منطقه آمل - ساری اقسام، اکتشافات ژئوالتریک نامیه آمل بابل ساهی « تهیه توسط گروه میدسان مشاور آنگاد (۱۳۵۳) »

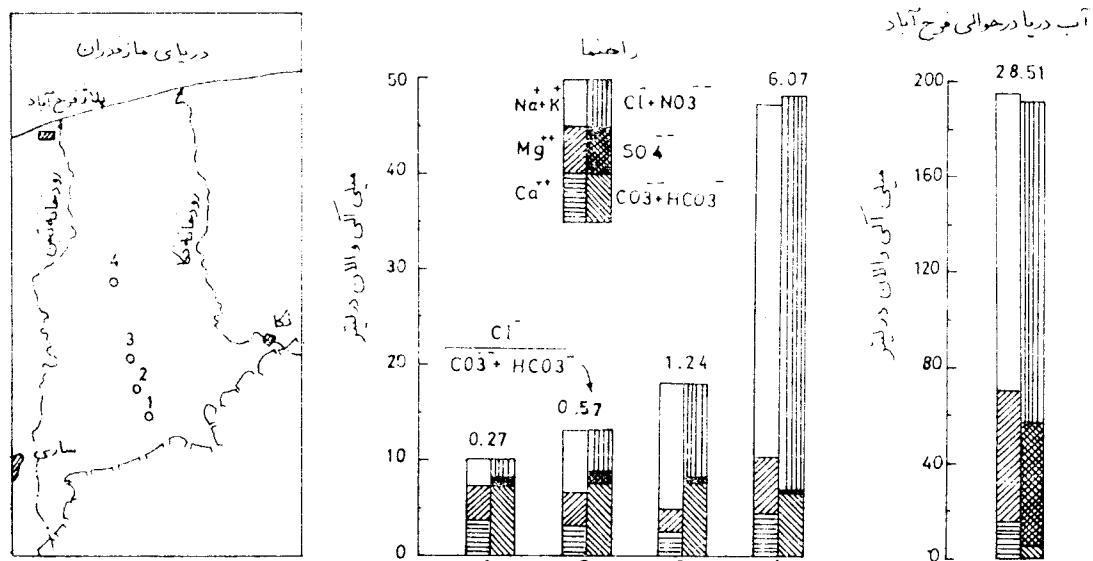
## ۵-۵- تعیین عمق نفوذ آب شور :

در پاره‌ای از چاههای اکتشافی منطقه در سطوح مختلف از آبهای زیرزمینی نمونه برداری شده که مورد آزمایش شیمیائی قرار گرفته‌اند. در اینگونه چاهها میتوان تغییرات قائم کیفیت آب را بصورت دیا گرمهائی نشان داد. در روی این دیاگرامها بسادگی میتوان عمق نفوذ آب شور را تعیین نمود. بعنوان نمونه در شکل

(۳) تغییرات هدایت الکتریکی نسبت به عمق در چند چاه واقع در منطقه شاهی - آمل نشان داده شده است.

### ۵-۶ - مقاطع هیدروشیمی :

مقاطعی که تغییرات کیفیت شیمیائی آب را در جهت عمود بر دریا نشان میدهد میتواند بخوبی موقعیت جبهه آب شور را در هر منطقه مشخص نماید. در پاره‌ای از نقاط که اطلاعات کافی در دست بوده اقدام به تهیه چنین مقاطعی شده است. بعنوان نمونه در شکل شماره ۵ تغییرات هدایت الکتریکی در یک مقطع قائم در حوالی بابل و بایلسر نشان داده شده است. در این مقطع گرچه نمونه‌های برداشت شده مربوط به سفره‌های مختلف بوده و نمی‌تواند موقعیت سطح جدائی آب شور و شیرین را در هر سفره به تفکیک مشخص نماید ولی بطور کلی تغییرات کیفیت آب را با نزدیک شدن بدریا بخوبی نشان میدهد.



شکل شماره (۲) - دیاگرام ستونی تغییرات ترکیب شیمیائی در چند چاه عمیق در یک مقطع عمود بر ساحل در شمال شرقی ساری

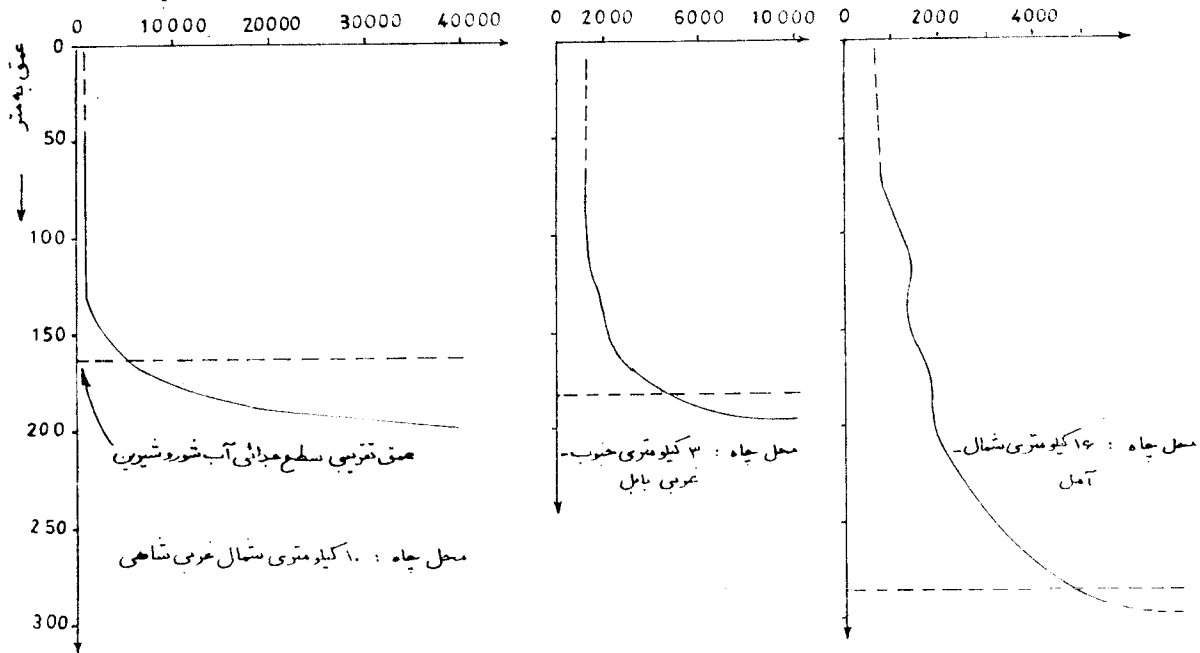
### ۶ - محاسبه طول زبانه آغشته به آب دریا در چند نقطه :

با توجه به روابط گیبین - هرزبرگ و استفاده از قانون دارسی در مورد یک سفره تحت فشار میتوان نوشت :

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

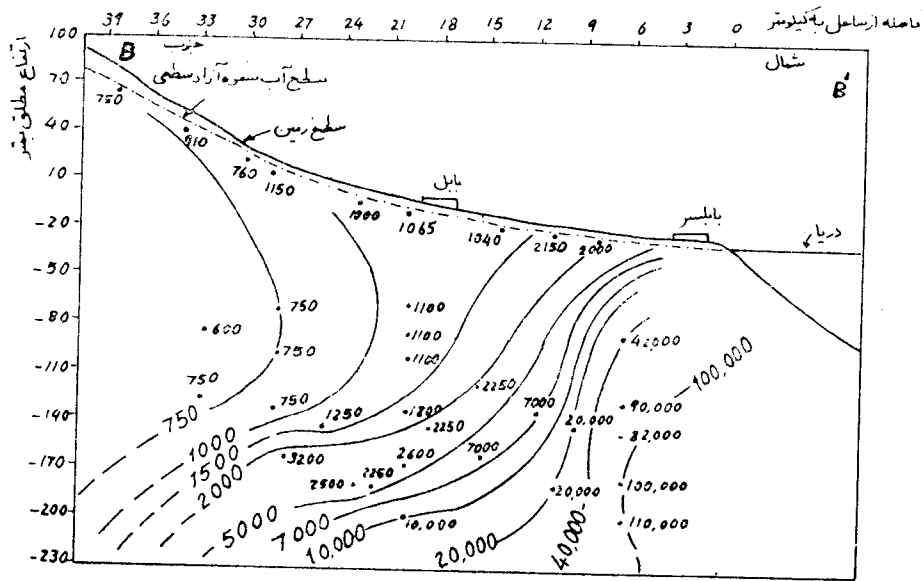
که در آن  $q$  دبی جریان آب شیرین در واحد طول ساحل ،  $k$  قابلیت نفوذ ،  $b$  ضخامت سفره ،  $L$  طول زبانه آب شور از ساحل ،  $\rho_s$  و  $\rho_F$  جرم مخصوص های آب شور و شیرین میباشد. از فرمول فوق میتوان طول ناحیه آغشته به آب دریا را از ساحل محاسبه نمود، ولی استفاده از فرمول فوق در همه نقاط امکان پذیر نیست. مثلا در نواحی شمال شاهی - ساری - بهشهر و یا شرق منطقه که جریان آبهای زیرزمینی که بدریا تخلیه میشوند خود از نوع بسیار شور بوده و چنانچه جریان آب شیرین وجود داشته باشد مقدار آن جزئی و غیر قابل محاسبه است ، لذا مقدار  $q$  بسیار کوچک و بالعکس مقدار  $L$  بسیار بزرگ میشود. ولی در پاره‌ای نقاط که

→ هدایت الکتریکی به میکرومورس برسانتیمتر



شکل شماره (۳) - نمایش تغییرات قائم هدایت الکتریکی در چند جاه استثنائی منطقه شاهی - آمل

میزان تغذیه آبهای زیرزمینی زیاد است شاید بتوان با تقریب قابل قبولی فرمول فوق را بکاربرد. این محاسبات برای چند نقطه انجام شده که از نتایج حاصله در این بررسیها استفاده شده است. بطور مثال تقریباً در ۱ کیلومتری شرق محمود آباد طول زبانه آغشته به آب دریا در سفره سطحی که تا عمق تقریباً ۶ متر ادامه



شکل شماره (۴) - تغییرات هدایت الکتریکی در یک مقطع قائم در جهت شمالی - جنوبی در حوالی بابل و بابل (مقادیر هدایت الکتریکی به میکرومورس برسانتیمتر است)

دارد برابر ۷ متر و در سفره تحت فشار اصلی که در عمق ۱۸۰ تا ۲۳۵ متر قرار گرفته برابر ۱۵۵ متر محاسبه شده است.

#### ۷ - نتیجه گیری :

با استفاده از کلیه مطالعات انجام شده نقشه شماره (ع) تهیه شده که در آن مناطقی که سطح جدائی آب شور و شیرین در عمق کمتر از ۱۰۰ متر قرار گرفته مشخص میگردد. مطالعه این نقشه بخوبی رابطه سه جانبه بین تغذیه طبیعی، میزان بهره برداری و نفوذ آب شور را نشان میدهد. هرچه تغذیه طبیعی توسط رودخانه ها و بارندگی زیادتر باشد و همچنین مخروط افکنه ها گسترش بیشتری داشته باشند، مقدار نفوذ آب شور کمتر است. مثلاً در نواحی اطراف رودخانه های سفید رود و هراز آب دریا قادر به پیشروی چندانی بداخل خشکی نیست. همچنین نواحی غرب منطقه ویا حدفاصل چابکسر - محمودآباد بعلت بارندگی فراوان و تعداد زیاد رودخانه ها و بهره برداری کم از آبهای زیرزمینی جریان آب شیرین بطرف دریا زیاد بوده و بنابراین نفوذ آب شور کمتر صورت میگیرد. در این گونه نواحی بخصوص در قسمتهای نزدیکتر بدامنه میتوان بهره - برداری از آبهای زیرزمینی را توسعه داد.

برعکس در مناطقی که میزان تغذیه طبیعی ناچیز و بهره برداری از آبهای زیرزمینی زیاد باشد گسترش و نفوذ آب شور افزایش مییابد.

یکی از مناطقی که به مقدار زیاد تحت تأثیر هجوم آب دریا قرار گرفته منطقه اطراف لنگرود و لاهیجان میباشد. علی رغم بارندگی زیاد اولاً رودخانه سهمی در این منطقه جریان نداشته و ثانیاً ارتفاعات جنوب آن از نوع سنگهای دگرگونه بوده و فاقد درز و شکافهائی است که بتواند در تغذیه آبهای زیرزمینی چندان مؤثر باشد. عوامل فوق بعلاوه بهره برداری بی رویه در سالهای گذشته موجب پیشرفت زیاد آب شور در این منطقه شده است. بطوریکه سطح جدائی آب شور و شیرین حتی در نواحی مجاور دامنه کوه در عمق کمی قرار گرفته است. مثلاً در حوالی لاهیجان سطح مزبور در عمق تقریباً ۷ متر قرار دارد. در این منطقه قبل از هراقدامی باید از توسعه بیشتر چاههای بهره برداری جلوگیری نموده و سپس با تهیه منابع دیگر میزان بهره برداری از آبهای زیرزمینی را کاهش داده و به موازات آن مطالعاتی به منظور عقب راندن آب شور بوسیله تزریق مصنوعی انجام داد. (بهتر است که در این منطقه از آبهای زیرزمینی فقط برای مصارف شهری استفاده شود، زیرا شهرهای لنگرود و لاهیجان با آنکه در منطقه پربارانی قرار گرفته اند از نظر تأمین آب مصرفی شهر در مضیقه میباشند). در مناطق شرق بابل و بابلسر تا دشت ترکمن صحرا نیز آبهای شور به مقدار زیادی بداخل سفره آب زیرزمینی نفوذ نموده اند.

در مناطقی حوالی شهرهای بابل، شاهی، ساری و نکا گرچه رودخانه های نسبتاً پرآبی جریان دارد معهداً آب های شور دارای گسترش زیادی میباشند. مثلاً در شرق بابل سطح جدائی آب شور و شیرین در عمق ۱۰۰ متر بفاصله تقریباً ۲ کیلومتری ساحل قرار گرفته است. علت نفوذ زیاد آب شور در این نواحی آنست که مقدار آب رودخانه های فوق آنقدر نیست که بتواند آبهای باقیمانده دریای قدیمی را بطور کامل

از لابلای رسوبات در عرض نسبتاً زیاد دشت عقب براند. بعلاوه بهره‌برداری زیاد از آبهای زیرزمینی بخصوص در حوالی بابل و شاهی باعث پیشرفت آب شور بداخل سفره‌ها شده است. توسعه بیشتر بهره‌برداری در این مناطق نفوذ بیشتر آب شور را بدنبال خواهد داشت. در این مناطق و در هر منطقه مشابه که توسعه بهره‌برداری از آبهای زیرزمینی لازم باشد بایستی با مطالعات کافی برای جلوگیری از پیشروی بیشتر آب شور اقدامات لازم صورت گیرد. بنظر می‌رسد که بهترین روش جلوگیری از پیشروی آب شور استفاده از تغذیه مصنوعی بوسیله تزریق و ایجاد یک سد آب زیرزمینی باشد \*

در نواحی شمال بهشهر و جنوب خلیج گرگان بعلت نبودن رودخانه‌های پرآب، آب شور به مقدار زیادی بداخل سفره‌ها پیشرفت نموده است. در این مناطق نیز بایستی از توسعه بیشتر بهره‌برداری از آبهای زیرزمینی خودداری شود زیرا بهره‌برداری بیشتر باعث پیشرفت جبهه آب شور تا دامنه کوه شده و قسمتهای قابل استفاده فعلی سفره‌ها را نیز آلوده خواهد نمود.

در شرق منطقه و دشت ترکمن صحرا نیز بعلت بارندگی کم (حدود ۲۰ میلی متر در سال) آب شور دارای گسترش وسیعی می‌باشد. در منطقه گرگان و دشت بوسیله حفر تعداد زیادی چاههای کم عمق و عمیق از منابع آب زیرزمینی بهره‌برداری میشود گرچه توسعه بیشتر بهره‌برداری در مخروط افکنه‌های دامنه کوه خطر فوری بهمراه ندارد ولی بایستی از توسعه بهره‌برداری در نواحی شمال مخروط افکنه‌ها مثلاً قسمتهای نزدیک بندرشاه و کردکوی ممانعت بعمل آورد. میتوان از آب رودخانه‌های فصلی که در دامنه‌های جنوب گرگان و به تعداد زیادی جریان دارند همچنین آب رودخانه قره سو به منظور تزریق مصنوعی در فصولی از سال که آبهای مزبور بطرف دریا هدر می‌روند استفاده نمود.

در مطالعات حاضر با توجه به کلیه امکانات سعی شده که حتی المقدور نواحی مورد هجوم و پیشرفت آب شور مشخص گردد ولی ذکر این نکته را نیز لازم میدانند که بعلت وسعت زیاد منطقه و نبودن اطلاعات کافی نمیتوان وضع دقیق تداخل آب شور و شیرین و محل قطعی سطح جدائی آنها را مشخص نمود. امید می‌رود که این مطالعات بتواند در آینده راه گشای بررسیهای دقیق تری در مورد مسئله نفوذ آب شور در سواحل دریای مازندران باشد.

---

\* در ناحیه بین ساری و نکا مطالعات و عملیاتی به منظور جلوگیری از پیشرفت آب شور بوسیله ایجاد یک سد آب زیرزمینی انجام شده است. برای اطلاعات بیشتر به گزارش زیر مراجعه شود:

Dashte - Naz Project By : Agro - water Consulting - Engineers Ministry of Water and Power (1974).

## منابع

- 1 - Behshar Neka Project , By Louis Berger - Payab , Vol. 1, Ministry of Water and Power (1974).
- 2 - Dashte - Naz - Project, By Agro - water Consulting Engineers , Ministry of Water and Power (1974).
- 3 - Gorgan Project , By Louis Berger - Payab , Vol. 1. Ministry of Water and Power (1972).
- 4 - Lar Dam and Mazandaran Irrigation Project , Vol. 5. By Sire Alexander Gibb & Partners - Organic , Tehran Regional Water Board (1970).
- ۵ - ارزیابی وضع موجود و امکانات توسعه منابع آب ، جلد اول ، منطقه شمال ، تهیه توسط سازمان برنامه ، مدیریت منابع آب (۱۳۵۱).
- ۶ - خلاصه آمار وضعیت هیدروژئولوژی حوزه آبریز دریای مازندران ، تهیه توسط اداره کل آبهای زیرزمینی وزارت آب و برق (۱۳۵۰).
- ۷ - گزارش آماری منطقه بهشهر و نکاء ، تهیه توسط اداره کل آبهای زیرزمینی وزارت آب و برق (۱۳۵۳).
- ۸ - گزارش مطالعات آبهای زیرزمینی رشت - آستارا ، جلد اول، گزارش آماری، تهیه توسط اداره کل آبهای زیرزمینی وزارت آب و برق (۱۳۵۲).
- ۹ - گزارش مطالعات آبهای زیرزمینی منطقه بهشهر و نکاء ، تهیه توسط اداره کل آبهای زیرزمینی وزارت آب و برق (۱۳۵۰).
- ۱۰ - گزارش مطالعات نیمه تفصیلی آبهای زیرزمینی منطقه چالوس - رامسر ، جلد اول گزارش آماری، تهیه توسط اداره کل آبهای زیرزمینی وزارت آب و برق (۱۳۵۳).
- ۱۱ - بررسی مساله پیشرفت و نفوذ آب دریا در دشت‌های ساحلی دریای مازندران (رساله دوره فوق لیسانس آبهای زیرزمینی موسسه آب شناسی ایران ، بهمن ۱۳۵۴). تهیه کننده : محمود صداقت ، استاد راهنما ، دکتر فریدون قاسمی
- ۱۲ - علاوه بر منابع فوق از گزارشات بررسیهای ژئوفیزیکی در مناطق مختلف دشتهای ساحلی دریای مازندران که عموماً توسط مهندسان مشاور آبکا و تهیه گردیده نیز استفاده شده است .