

بررسی روش‌های مختلف تعیین حد تداخل آب شور و شیرین در سواحل نور، مازندران

اباذر اسمعلی عوری^۱

محمدگلشن^۲

چکیده

مناطق ساحلی از لحاظ ذخائر آب زیرزمینی حائز اهمیت زیادی می‌باشند که برای مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح در این مناطق لازم است تا وضعیت سفره‌های آب زیرزمینی مطالعه شود. در این تحقیق حد تداخل آب شور و شیرین در آبخوان ساحلی نور بررسی شد، برای این منظور خط ساحلی به طول ۳۰۰۰ متر انتخاب و در امتداد آن ۳ مقطع مطالعاتی عمود بر خط ساحلی به فاصله ۱۵۰۰ متر تعیین شدند. در هر ۳ مقطع در فاصله ۵۰۰ متری ساحل دریا ۱۰ نقطه مطالعاتی به فاصله ۵۰ متر انتخاب شد سپس در فاصله‌های ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۱۰۰ و ۱۵۰۰ متری نقاط مطالعاتی انتخاب شدند. در هر یک از نقاط مطالعاتی برای تعیین حد تداخل آب شور و شیرین از روابط وروریچ، ژئوالکتریک، ژئوالکترومغناطیسی و اطلاعات مشاهداتی استفاده شد. برای اجرای رابطه وروریچ پارامترهای لازم برای مقاطع مطالعاتی تهیه شدند و عمق آب شیرین و آب شور در ماه‌های اردیبهشت و مرداد سال ۱۳۹۴ با استفاده از این رابطه تعیین شد. مطالعات ژئوالکتریک نیز با استفاده از اطلاعات شرکت آب منطقه‌ای مازندران و چاه‌های اکتشافی موجود بررسی شد. برای تهیه اطلاعات حدتداخل آب شور و شیرین با استفاده از دستگاه ژئوالکترومغناطیسی اقدام به نمونه‌برداری میدانی حدتداخل در نقاط

1- دانشیار دانشگاه محقق اردبیلی(نویسنده مسئول)
Email: esmailiouri@uma.ac.ir

2- دانشجوی دکتری رشته آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مطالعاتی شد و مقادیر اندازه‌گیری شده ثبت شد. برای بررسی میزان صحت نتایج حاصل از روش‌های فوق، از اطلاعات مشاهداتی موجود در برخی نقاط استفاده شد. عمق تداخل در مقاطع مطالعاتی با استفاده از روش‌های وروریچ، ژئوالکترومغناطیسی و ژئوالکتریک به ترتیب بین ۴۰/۸ تا ۲۰۹/۲۶، ۴۵ تا ۱۶۳ و ۸۰ تا ۱۳۰ متر می‌باشد. با توجه به داده‌های مشاهداتی روش ژئوالکترومغناطیسی نسبت به سایر روش‌های مطالعاتی از دقت بالاتری برخوردار است.

واژگان کلیدی: حدتداخل، آب شور، آب زیرزمینی، ژئوالکترومغناطیسی، مازندران

مقدمه

آبخوان‌های ساحلی یکی از مهمترین ذخائر منابع آب در جهان هستند. در بسیاری از کشورها وابستگی تنگاتنگی در مورد استفاده از این گونه آبخوان‌ها مشاهده می‌شود. در ایران نیز همانند دیگر کشورها وابستگی مشابهی به استفاده از آبخوان‌های ساحلی وجود دارد و به دنبال آن نفوذ آب شور دریا نیز مشکل بالقوه‌ای در آبخوان‌های ساحلی محسوب می‌شود (صدافت، ۱۳۸۷: ۵۴).

اصولاً در نواحی ساحلی یک جریان آب شیرین زیرزمینی از خشکی به طرف دریا وجود دارد که هرچه مقدار آن بیشتر باشد، نفوذ آب دریا کمتر خواهد بود (کرمی، ۱۳۹۰: ۱۰۱). به طور طبیعی یک حالت تعادل بین آب‌های شیرین سفره‌های ساحلی و آب شور دریا که در زیر آن قرار گرفته وجود دارد (2: Bear and Chang, 1999). آب شیرین آبخوان و آب شور دریا را می‌توان به عنوان دو سیال مخلوط نشدنی در نظر گرفت و در نتیجه یک سطح جدایی در بین آنها تصور نمود (69: Todd, 2005). این سطح به عنوان سطح جدایی، مشترک و یا اینترفاز تعریف می‌شود. این ناحیه بخشی از سفره بوده و شوری آن به تدریج با افزایش عمق سفره و به سمت ساحل افزایش می‌یابد (23: Mazor, 2004).

با بهره‌برداری بی‌رویه و کاهش فشار پیرومتریک، تعادل هیدرولیکی آبخوان‌های ساحلی برهم خورده و پیشروی آب شور این منبع را در معرض خطر آلودگی قرار داده است (اصغری‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۶). از اهم عواملی که باعث تغییر کیفیت و شوری آب‌های

زیرزمینی می‌گردند، برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی، تغییر وضعیت هیدرو اقلیم، ساختارهای زمین شناسی ناحیه‌ای، هیدرولوژی و بالاخره اثر آب دریا بر آبخوان دشت‌های ساحلی قابل ذکر است (Foyle et al. 2002: 152). این عوامل باعث می‌شوند تا آب دریا در فواصل بسیار دوری از ساحل در سفره‌های آب‌های زیرزمینی پیشروی نماید، چنین پدیده‌ای با نام پیشروی آب شور^۱ مورد مطالعه قرار می‌گیرد (Abdul Nassir, Van Dam, 1999: 10; 2000: 647).

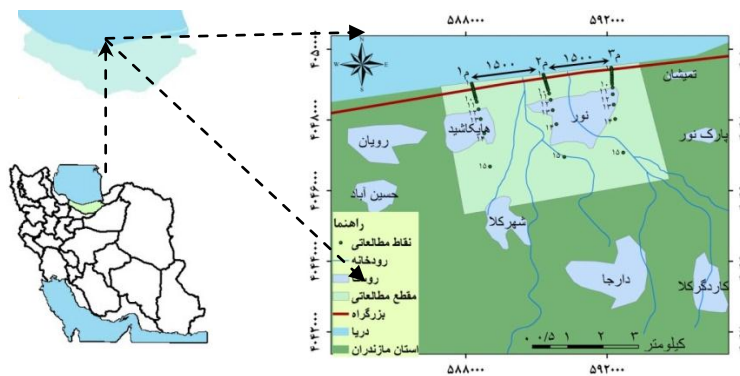
موقعیت مرز آب شور و شیرین در لایه‌های آبدار ساحلی، در حدود ۱۲۰ سال پیش به‌وسیله دو محقق اروپایی به‌نام‌های Ghyben (1889: 1) و Herzberg (1901: 819) تعیین شد این رابطه به‌صورت یک بعدی می‌باشد که سپس روابط دو بعدی توسط دانشمندان مختلف مانند Glover (1959: 459)، Bear and Dagan (1964: 1572)، Josselin (1960: 3758) و Verruijt (1969: 206) ارائه شدند. در زمینه تعیین حد تداخل آب شور و شیرین مطالعات گسترده‌ای در داخل و خارج از کشور انجام شده است. در داخل کشور در آبخوان‌های دشت ساری (قره محمودلو و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۴)، تالار (فاطمی و آشتیانی، ۱۳۸۷: ۷)، بابل (وفایی و همکاران، ۱۳۸۸: ۹)، تسوج (رضایی و جلالی، ۱۳۹۷: ۵۹)، ساری-نکا (احمدی، ۱۳۹۲: ۵) و در خارج کشور نیز می‌توان مطالعات انجام شده در آبخوان‌های لکی پنیسولا^۲ در نیجریه (Adepelumi et al. 2009: 933)، مارتیل آیلا^۳، در مراکش (Himi et al. 2016: 23)، هاگو^۴ در هلند (Adegoke et al. 2012:) و ایالت ماساچوست^۵ آمریکا (Garabedian et al. 2013: 934) را نام برد. در این تحقیق روش‌های مختلف تعیین حد تداخل آب شور و شیرین در آبخوان ساحلی نور مورد مقایسه قرار گرفته است که هدف از این تحقیق (۱) تعیین حد تداخل آب شور و شیرین در

- 1 . Salt Water Intrusion
- 2 . Lekki Peninsula
3. Martil-Alila
- 4 .Hague
5. Massachusetts

نواحی ساحلی نور، (۲) ارزیابی دقت روش‌های مختلف تعیین حد تداخل آب شور و شیرین و (۳) تعیین بهترین روش برای این منظور می‌باشد.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی نور با طول جغرافیایی $51^{\circ}58'$ تا $52^{\circ}01'$ و عرض جغرافیایی $36^{\circ}34'$ تا 35° در قسمت غربی استان مازندران واقع شده است (شکل ۱). در یک دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۶۵-۱۳۹۴) متوسط بارندگی سالانه در این منطقه ۸۰۰ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه $13/5$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. حداقل و حداکثر دمای مطلق منطقه به ترتیب $26-$ درجه سانتی‌گراد در دی ماه ۱۳۸۶ و $38/2$ درجه سانتی‌گراد در مرداد ماه ۱۳۸۸ می‌باشد. همچنین در طی این دوره آماری متوسط سالانه تعداد روزهای یخبندان، بارانی، برفی و روزهای بارانی با بارش روزانه ۱۰ میلی‌متر و بیشتر در منطقه مطالعاتی به ترتیب ۱۳۷، ۷۱، ۲۵ و ۶ روز می‌باشد. این محدوده نسبت به سطح آب‌های آزاد دارای ارتفاع $21-$ متر می‌باشد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی نور و مقاطع مطالعاتی

با توجه به مشکل پیشروی آب شور در اواخر بهار و تابستان در منطقه ساحلی شهرستان نور محدوده‌ای به طول ۳ هزار متر در امتداد خط ساحلی دریا انتخاب شد. در این محدوده ۳ مقطع عرضی عمود بر خط ساحلی انتخاب شد که با حروف م، ۲م و ۳م در شکل ۱

مشخص شده‌اند. فاصله بین این مقاطع عرضی ۱۵۰۰ متر می‌باشد. در امتداد هر مقطع ۱۵ نقطه مطالعاتی انتخاب شدند. این نقاط به ترتیب دارای فاصله‌های ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، تا ۵۰۰ متر و سپس دارای فاصله‌های ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۱۰۰ و ۱۵۰۰ متری از خط ساحلی می‌باشند. مختصات نقاط مطالعاتی بر حسب سیستم مختصات متریک در جدول ۱ آورده شده است. اطلاعات مختلفی از هر یک از نقاط مطالعاتی برداشت شد که شامل اطلاعات مربوط به عمق سنگ کف، حد تداخل آب شور و شیرین و ضخامت مربوط به هر لایه برداشت می‌باشد.

جدول شماره ۱. موقعیت مکانی مقاطع انتخابی در محدوده مطالعاتی نور

شماره	مقطع ۱		مقطع ۲		مقطع ۳	
	Y (UTM)	X (UTM)	Y (UTM)	X (UTM)	Y (UTM)	X (UTM)
۱	۳۶۳۵۰۲	۵۲۰۰۰۲	۳۶۳۵۰۸	۵۲۰۰۴۶	۳۶۳۵۱۳	۵۲۰۱۲۶
۲	۳۶۳۵۰۱	۵۲۰۰۰۳	۳۶۳۵۰۷	۵۲۰۰۴۶	۳۶۳۵۱۱	۵۲۰۱۲۷
۳	۳۶۳۴۵۹	۵۲۰۰۰۳	۳۶۳۵۰۵	۵۲۰۰۴۷	۳۶۳۵۱۰	۵۲۰۱۲۷
۴	۳۶۳۴۵۸	۵۲۰۰۰۴	۳۶۳۵۰۴	۵۲۰۰۴۷	۳۶۳۵۰۸	۵۲۰۱۲۷
۵	۳۶۳۴۵۶	۵۲۰۰۰۴	۳۶۳۵۰۲	۵۲۰۰۴۸	۳۶۳۵۰۶	۵۲۰۱۲۷
۶	۳۶۳۴۵۵	۵۲۰۰۰۵	۳۶۳۵۰۱	۵۲۰۰۴۹	۳۶۳۵۰۵	۵۲۰۱۲۷
۷	۳۶۳۴۵۳	۵۲۰۰۰۵	۳۶۳۴۵۹	۵۲۰۰۴۹	۳۶۳۵۰۳	۵۲۰۱۲۷
۸	۳۶۳۴۵۱	۵۲۰۰۰۶	۳۶۳۴۵۷	۵۲۰۰۵۰	۳۶۳۵۰۱	۵۲۰۱۲۷
۹	۳۶۳۴۵۰	۵۲۰۰۰۶	۳۶۳۴۵۶	۵۲۰۰۵۰	۳۶۳۴۶۰	۵۲۰۱۲۷
۱۰	۳۶۳۴۴۸	۵۲۰۰۰۷	۳۶۳۴۵۴	۵۲۰۰۵۱	۳۶۳۴۵۸	۵۲۰۱۲۷
۱۱	۳۶۳۴۴۵	۵۲۰۰۰۸	۳۶۳۴۵۱	۵۲۰۰۵۲	۳۶۳۴۵۵	۵۲۰۱۲۸
۱۲	۳۶۳۴۳۹	۵۲۰۰۱۰	۳۶۳۴۴۵	۵۲۰۰۵۴	۳۶۳۴۴۹	۵۲۰۱۲۸
۱۳	۳۶۳۴۳۰	۵۲۰۰۱۲	۳۶۳۴۳۶	۵۲۰۰۵۶	۳۶۳۴۳۹	۵۲۰۱۲۹
۱۴	۳۶۳۴۱۶	۵۲۰۰۱۶	۳۶۳۴۲۳	۵۲۰۰۶۰	۳۶۳۴۲۶	۵۲۰۱۳۰
۱۵	۳۶۳۳۵۹	۵۲۰۷۰۱	۳۶۳۴۰۷	۵۲۰۱۰۴	۳۶۳۴۱۴	۵۱۵۴۵۲

در این تحقیق جهت تعیین عمق تداخل در هر نقطه مطالعاتی از روش تجربی و روریج و روش‌های ژئوفیزیک استفاده شد. روش‌های ژئوفیزیک شامل دو روش ژئوالکتریک و ژئوالکترومغناطیس می‌باشند. توضیحات مربوط به هر روش در زیر ارائه شده است.

روش وروریج

در این روش سطح سفره آب زیرزمینی به صورت استاتیک بوده و حد فاصل آب شور و شیرین حالت سهمی دارد (Verruijt, 1969: 207). رابطه‌های مربوط به این روش به صورت زیر می‌باشد.

$$q = \frac{1}{2} ((\rho_s - \rho_f) / \rho_f) kb^2 / L \quad \text{رابطه ۱}$$

$$hf = \sqrt{\frac{2\beta q}{K(1+\beta)}} X \quad \text{رابطه ۲}$$

$$h_s = - \sqrt{\frac{q^2}{\beta^2 k^2} \cdot \frac{1-\beta}{1+\beta} + \frac{2qx\beta k}{\beta k(1+\beta)}} \quad \text{رابطه ۳}$$

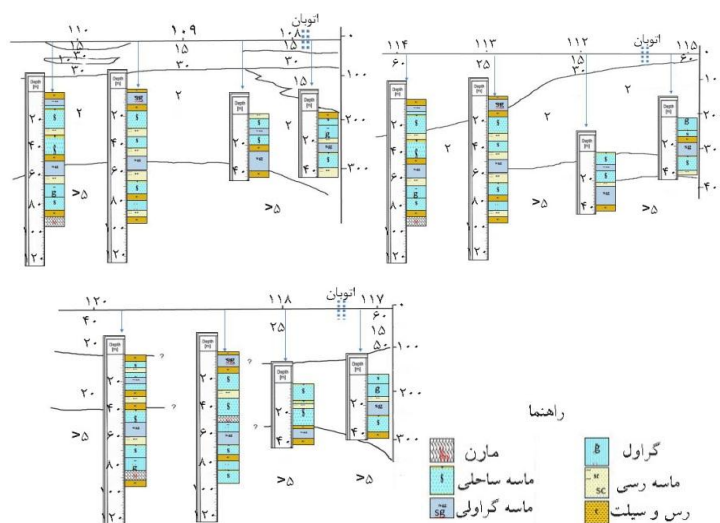
$$X_0 = p_f q / 2\beta k \quad \text{رابطه ۴}$$

در روابط فوق ρ_s جرم مخصوص آب شور (g/cm^3)، ρ_f جرم مخصوص آب شیرین (g/cm^3)، g شتاب ثقل (m/s^2)، h_s عمق آب شور تا سطح آب دریا (m)، h_f ارتفاع آب شیرین موجود در لایه آبدار بالای سطح دریا (m)، b ضخامت آبخوان (m)، q دبی جریان آب شیرین ($\frac{m^3}{day}$) و β تفاضل جرم مخصوص آب شور دریا و آب شیرین، L طول پنجه آب شور (m)، k هدایت هیدرولیکی (m/s) و X_0 فاصله نقطه مورد نظر تا ساحل برحسب متر می‌باشد.

در این پژوهش جرم مخصوص آب دریای خزر معادل با $1/0.25$ گرم بر سانتی‌متر مکعب در نظر گرفته شد (صفازاده ۱۳۸۹: ۵، کاظمی‌نژاد ۱۳۸۹: ۴، وفایی ۱۳۸۸: ۶). بعد از تهیه پارامترهای مورد نیاز برای روش وروریج، در هر نقطه عمق آب شیرین و آب شور در ماه‌های اردیبهشت و خرداد به دست آمد. جهت بررسی صحت نتایج از اطلاعات مشاهداتی موجود در برخی نقاط موجود در محدوده مطالعاتی استفاده شد.

روش ژئوفیزیک

با استفاده از این مطالعات می‌توان خصوصیات آبخوان‌های آبرفتی از جمله ضخامت آبرفت، تغییر جنس و نوع دانه‌بندی، جنس و عمق سنگ کف، عمق تقریبی آب شور و شیرین و کیفیت شیمیایی آب را به‌دست آورد (Misut and Voss, 2007: 89). مناطقی که دارای هدایت الکتریکی کمتر از ۱۰ اهم متر می‌باشند به‌عنوان حد اولیه تداخل آب شور و شیرین تعیین شدند در مناطقی که مقدار مقاومت الکتریکی کمتر از ۱۰ اهم‌متر می‌باشد اما جنس منطقه از نوع رس و سیلت می‌باشد به‌عنوان سنگ کف مشخص شدند. سپس برای تکمیل اطلاعات مربوط به روش ژئوالکتریک از اطلاعات چاه‌های اکتشافی سازمان آب منطقه‌ای استان مازندران استفاده شد که نمودار چاه‌های مشاهداتی مربوط به هر مقطع در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲. مقاطع ژئوالکتریک مربوط به سفره ساحلی نور در مقطع اول (م ۱)، مقطع دوم (م ۲) و مقطع سوم (م ۳)

روش ژئوالکترومغناطیس

این روش از جدیدترین روش‌های مورد استفاده برای تعیین حدتداخل آب شور و شیرین می‌باشد. در برخی از چاه‌های مشاهداتی موجود در منطقه عمق تداخل آب شور و شیرین مشخص می‌باشد که با توجه به آن دستگاه ژئوالکترومغناطیس برای منطقه واسنجی شد. سپس موقعیت نقاط مطالعاتی با استفاده از سیستم موقعیت جهانی بر روی منطقه مشخص شدند و در این نقاط اقدام به نمونه‌برداری از حد تداخل آب شور و شیرین شد. با توجه به تغییرات ایجاد شده بین امواج ارسالی و امواج دریافتی توسط سنسور گیرنده در اعماق مختلف عمق تداخل آب شور و شیرین تعیین شد.

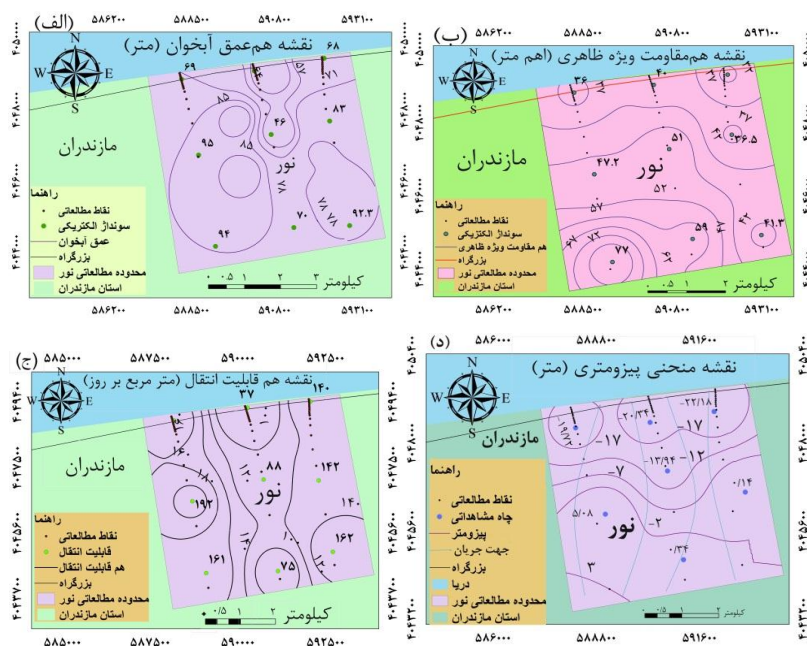
ارزیابی دقت روش‌های تعیین حد تداخل آب شور و شیرین

برای ارزیابی دقت نتایج حاصل از روش‌های مطالعاتی مورد استفاده (رابطه و روریچ، مطالعات ژئوفیزیک و دستگاه ژئوالکترومغناطیسی) از اطلاعات چاه‌های مشاهداتی سال ۱۳۹۴ که دارای آمار عمق برخورد آب شور و شیرین می‌باشند استفاده شد، که در این عمق‌ها مقدار EC بالاتر از ۳۰۰۰ ppm به‌عنوان سطح برخورد آب شور و شیرین در نظر گرفته‌شد.

نتایج و یافته‌ها

تعیین ویژگی آبخوان از مهمترین بخش مطالعات مربوط به آبخوان‌های ساحلی می‌باشد. برای اجرای رابطه و روریچ در مقاطع مطالعاتی نور این مشخصات تعیین شدند، که نتایج به‌دست آمده در شکل (۳) نشان‌داده شده‌است. نقشه هم‌عمق آبخوان با توجه به اطلاعات روش ژئوالکترونیک و چاه‌های اکتشافی تهیه شد که عمق آبخوان در محدوده‌های مختلف را نشان می‌دهد. نقشه هم‌مقاومت ویژه ظاهری و قابلیت انتقال نشان‌دهنده قدرت انتقال آب در مناطق مختلف می‌باشد که با افزایش مقادیر مربوط به این پارامترها قابلیت آبگذری نیز افزایش می‌یابد. همچنین نقشه منحنی پیزومتري نشان‌دهنده عمق هم‌پتانسیل آب زیرزمینی در محدوده‌های مختلف می‌باشد که با استفاده از اطلاعات چاه‌های مشاهداتی تهیه شد. لازم به‌ذکر است که اطلاعات مربوط به عمق آبخوان، پیزومتري و جهت جریان

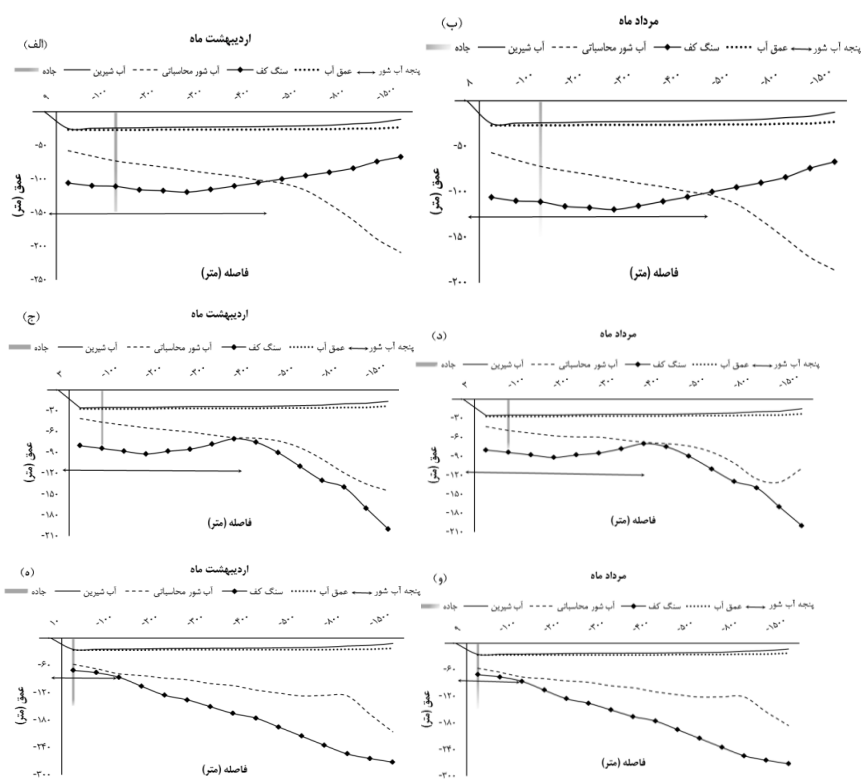
برای ماه‌های اردیبهشت و مرداد ماه ۱۳۹۴ تهیه شده‌است، که به دلیل محدودیت صفحات ارائه نشد.



شکل ۳. مشخصات مقاطع مطالعاتی در آبخوان ساحلی نور

با استفاده از معادله وروریچ و پارامترهای تهیه شده برای هر مقطع، سطح تماس آب شور (h_s) و شیرین (h_f) به صورت تئوری در این نقاط محاسبه شد که نتایج آن برحسب واحد اندازه‌گیری متر در شکل (۴) ارائه شده‌است. همچنین عرض نفوذ آب شیرین (X_0) آبخون ساحلی به سمت دریا در هریک از مقاطع محاسبه و نتایج حاصل از آن‌ها در جدول (۲) ارائه شد. نتایج نشان می‌دهد عمق آب زیرزمینی در مرداد ماه به‌طور شدید افت می‌کند در نتیجه مقدار شیب و دبی جریان آب زیرزمینی کاهش می‌یابد که با نتایج Strack (1976: 1177) مطابقت دارد. با کاهش مقدار دبی جریان، حد تداخل آب شور و شیرین در مقاطع مطالعاتی بالا آمده و به سطح زمین نزدیک‌تر شده‌است، که در مطالعات صفارزاده (۱۳۸۹: ۹) و Herzberg (1901: 819) این موضوع بیان شده است. در هر سه مقطع

مطالعاتی مقدار X_0 مثبت به‌دست آمد که این نشان می‌دهد جریان آب شیرین در مقاطع مطالعاتی به‌سمت دریا نفوذ کرده است، البته در ماه مرداد به‌دلیل کاهش دبی جریان طول نفوذ آب شیرین کاهش یافته است.



شکل ۴. حد تداخل نیولمان شده آب شور و شیرین در مقاطع محدوده مطالعاتی نور

جدول ۲. فاصله نفوذ آب شیرین در جهت دریا (X_0) در مقاطع مختلف مطالعاتی

نام مقطع	شماره مقطع	(اردیبهشت) X_0	(مرداد) X_0
نور	۱	۸/۸	۸/۴۵
	۲	۴/۸	۳/۵۷
	۳	۱۱/۱	۹/۵۴

نتایج نقشه‌های ژئوالکتریک نشان می‌دهد که در برخی از مقاطع مطالعاتی دو لایه سنگ کف وجود دارد در مناطق سنگ کف قابلیت هدایت جریان کمتر از ۱۰ اهم‌متر بر ثانیه می‌باشد. عمق سنگ کف مقاطع عرضی در جدول (۳) آورده شده‌است.

حداقل و حداکثر عمق تداخل با استفاده از روش ژئوالکتریک به ترتیب بین ۸۰- تا ۱۳۰- متر و با استفاده از روش ژئوالکترومغناطیس بین ۴۵- تا ۱۶۲- می‌باشند. به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد که روش ژئوالکتریک نسبت به روش ژئوالکترومغناطیس حد تداخل را پایین‌تر نشان می‌دهد. نتایج حاصل از روش ژئوالکتریک و ژئوالکترومغناطیسی در جدول (۴) آورده شده‌است.

جدول ۳. نتایج بررسی عمق سنگ کف در مقاطع مطالعاتی

نام منطقه	شماره مقطع	سنگ کف	
		لایه اول	لایه دوم
نور	مقطع اول	۱۱۰ (۵۰)، ۱۰۹ (۸۵)، ۱۰۸ (۸۰)	۱۱۰ (۹۸)، ۱۰۹ (۸۵)، ۱۰۸ (۸۰)
	مقطع دوم	۱۱۴ (۲۳۰)، ۱۱۳ (۱۵۰)، ۱۱۲ (۶۰)	۱۱۴ (۲۳۰)، ۱۱۳ (۱۵۰)، ۱۱۲ (۶۰)
	مقطع سوم	۱۲۰ (۲۵۰)، ۱۱۸ (۱۴۰)، ۱۱۷ (۵۰)	۱۲۰ (۲۵۰)، ۱۱۸ (۱۴۰)، ۱۱۷ (۵۰)

جدول ۴. نتایج مطالعات ژئوالکترومغناطیس و ژئوالکتریک در تعیین حد تداخل آب شور و شیرین

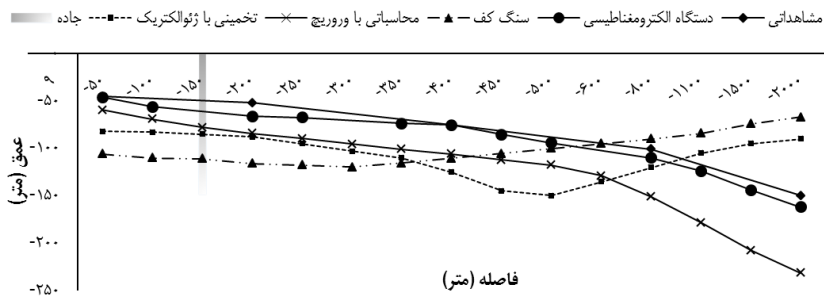
مقطع	شماره نقطه	ژئوالکترومغناطیس					
		۱م	۲م	۳م	۱م	۲م	۳م
نور	۱	-۴۶	-۴۵	-۴۵	-۸۲	-۸۰	-۹۰
	۲	-۵۶	-	-	-۸۳	-۸۴	-۹۴
	۳	-	-۶۴	-۶۴	-۸۵	-۸۸	-۱۰۰
	۴	-۶۶	-۶۶	-۶۶	-۸۸	-۹۲	-۱۰۵

۵	-۶۷/۵	-۶۷/۵	-۶۷/۵	-۹۵	-۸۸	-۹۸
۶	-	-۷۳/۵	-۷۳/۵	-۱۰۳	-۸۵	-۹۲
۷	-۷۳/۵	-۷۴/۵	-۷۴/۵	-۱۱۰	-۷۸	-۸۵
۸	-۷۵/۵	-	-	-۱۲۵	-۷۰	-۷۴
۹	-۸۵/۵	-۷۵/۵	-۷۵/۵	-۱۴۵	-۷۵	-۷۰
۱۰	-۹۴	-۷۷	-۷۷	-۱۵۰	-۸۶	-۶۰
۱۱	-	-۹۳	-۹۳	-۱۳۵	-۹۵	-۵۰
۱۲	-۱۱۰	-۹۷	-۹۷	-۱۲۰	-۱۰۰	-۵۴
۱۳	-۱۲۴	-۹۷	-۹۷	-۱۰۵	-۱۱۰	-۵۸
۱۴	-۱۴۴	-	-	-۹۵	-۱۲۰	-۶۰
۱۵	-۱۶۲	-۹۷	-۹۷	-۹۰	-۱۳۰	-۹۰

بحث

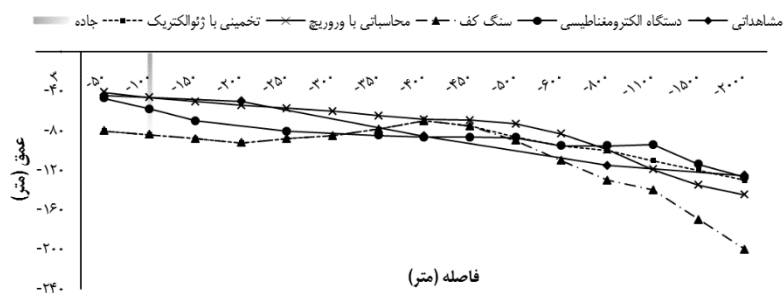
خطوط مختلف رسم شده در شکل‌های ۵، ۶ و ۷ نشان دهنده نتایج حدتداخل آب شور و شیرین با استفاده از روش‌های مختلف در سه مقطع عرضی مورد مطالعه می‌باشند که نمودار مربوط به این روش‌ها با نتایج مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. در مقطع عرضی اول، دوم و سوم با استفاده از روش وروریچ فاصله تداخل آب شور و شیرین به ترتیب در فاصله‌های ۴۵۰، ۴۲۰ و ۱۴۰ متری، با روش ژئوالکتریک در فاصله‌های ۳۸۰، ۵۰۰ و ۲۲۰ متری و با روش ژئوالکترومغناطیس در فاصله‌های ۵۸۰، ۳۲۰ و ۵۴۰ متری تعیین شد. همچنین در این مقاطع با استفاده از داده‌های نقاط مشاهداتی فاصله تداخل به ترتیب در فاصله‌های ۶۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ متری به دست آمد. مقایسه نمودارهای حاصل از روش‌های مختلف نشان می‌دهد که روش وروریچ نسبت به سایر روش‌ها، عمق آب شور را بیشتر برآورد کرده است که باعث کاهش فاصله حد تداخل نسبت به ساحل دریا شده است. همچنین نتایج حاصل از روش‌های ژئوالکتریک و ژئوالکترومغناطیس نشان داد که حدتداخل تعیین شده توسط این روش‌ها به نتایج مشاهداتی نزدیک‌تر می‌باشند که با نتایج (Duque et al 2008: 547) و (Abdul Nassir 2000: 661) مطابقت دارد. به‌طور کلی مقایسه نتایج حاصل از روش‌های مطالعاتی نشان داد که روش ژئوالکترومغناطیس دارای دقت بیشتری می‌باشد که در نتایج (Himi et al 2016:23) این موضوع بیان شده است.

مقطع اول



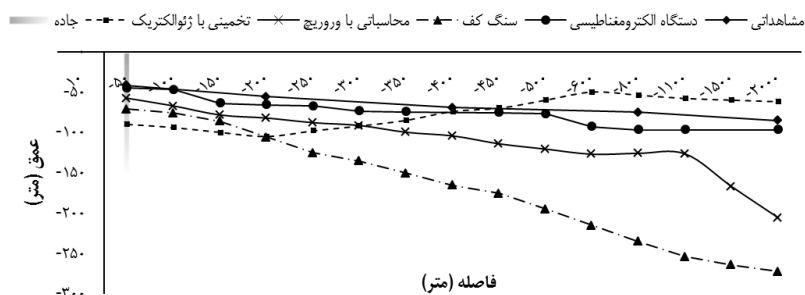
شکل ۵. مقایسه نتایج مطالعات مختلف تعیین حد تداخل آب شور و شیرین در مقطع اول نوره

مقطع دوم



شکل ۶. مقایسه مطالعات مختلف تعیین حد تداخل آب شور و شیرین در مقطع دوم نوره

مقطع سوم



شکل ۷. مقایسه نتایج مطالعات مختلف تعیین حد تداخل آب شور و شیرین در مقطع سوم نوره

نتیجه‌گیری

استان مازندران در قسمت شمالی کشور واقع شده است و به دلیل همجواری با دریای مازندران دارای ساحل وسیعی می‌باشد. آب‌های زیرزمینی استان مازندران با آب شور دریای مازندران در ارتباط می‌باشند که در طی سال با توجه به برداشت از آب‌های زیرزمینی سطح آب زیرزمینی کمی افت کرده است که منجر به پیشروی آب شور دریا به سمت ساحل شده‌است. روش‌های مختلفی برای تعیین حد تداخل آب شور و شیرین وجود دارد که با استفاده از این روش‌ها می‌توان عمق تقریبی آب شور و شیرین را تخمین زد. این روش‌ها دارای دقت‌های مختلفی می‌باشند که با توجه به هدف مطالعاتی می‌توان از این روش‌ها استفاده کرد. در این تحقیق از روش‌های وروریچ، ژئوالکتریک و ژئوالکترومغناطیس برای این منظور استفاده شد. فاصله تداخل آب شور و شیرین در مقطع اول و سوم ۶۰۰ متر و در مقطع سوم ۵۰۰ متر می‌باشد که روش وروریچ این فاصله را به ترتیب ۱۵۰، ۸۰ و ۴۶۰ متر کمتر برآورد کرده است. روش ژئوالکتریک نیز در مقطع اول و سوم ۲۲۰ و ۳۸۰ متر فاصله تداخل را کمتر نشان داد. در حالی که اختلاف روش ژئوالکترومغناطیس در این مقاطع خیلی کمتر می‌باشد و به ترتیب ۲۰، ۸۰ و ۶۰ متر کمتر از داده‌های مشاهداتی می‌باشند. نتایج حاصل با استفاده از روش ژئوالکتریک نشان داد که این روش برای تعیین حد تداخل آب شور و شیرین دارای دقت خیلی بالایی نمی‌باشد و استفاده از این روش نیاز به کارشناسان باتجربه دارد. رابطه تجربی وروریچ به‌طور تقریبی عمق تداخل آب شور و شیرین را تعیین کرده است که این فاصله خیلی کمتر از داده‌های مشاهداتی می‌باشند بنابراین می‌توان بیان داشت که این روش دارای دقت بالایی نمی‌باشد. سومین روش مورد استفاده در این تحقیق استفاده از روش ژئوالکترومغناطیسی می‌باشد، نتایج حاصل از این روش نشان داد که مقادیر ثبت شده با استفاده از این دستگاه به مقادیر مشاهداتی نزدیک‌تر می‌باشند و اختلاف کمی بین مقادیر مشاهداتی و مقادیر حاصل از روش ژئوالکترومغناطیسی وجود دارد. به‌طور کلی نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که در آبخوان ساحلی نور، دستگاه ژئوالکترومغناطیسی با دقت قابل قبولی عمق تداخل آب شور و شیرین را برآورد کرده است و با انجام مطالعات



بیشتر می‌توان از این وسیله برای تعیین عمق تداخل آب شور و شیرین در سایر مناطق کشور نیز استفاده کرد.

منابع

- احمدی، کمال، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، (۱۳۹۲)، بررسی پدیده نفوذ آب شور در آبخوان ساحلی دشت ساری - نکاء با استفاده از روش های هیدروشیمی و مدلسازی عددی، دانشگاه تربیت معلم، تهران، دانشکده علوم.
- اصغری مقدم، اصغر، قره‌خانی، مریم، ندیری، عطاالله، کرد، مهدی، فیجانی، الهام، (۱۳۹۶). ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان دشت اردبیل با استفاده از DRASTIC، SINTACS و SI. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۱ (۶۱): ۷۴-۵۷.
- رضایی، مجید، جلالی، طاهره، (۱۳۹۷)، بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تغییرات زمانی و مکانی تغذیه آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج، *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۴ (۶۴): ۷۹-۵۹.
- صداقت، محمود، (۱۳۸۷)، *زمین و منابع آب*، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- صفارزاده، محمدمهدی، ابراهیمی، فرشید، خراسانی‌زاده، علی، (۱۳۸۹)، بررسی سطح تماس آب شور و شیرین در سفره‌های ساحلی دریای مازندران، اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی، آذر ماه، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، گروه آب، ۹-۱.
- فاطمی، سیداحسان، آشتیانی، بهزادعطایی، (۱۳۸۷)، شبیه‌سازی اثر پیشروی آب شور بر تخلیه آلاینده‌ها در آبخوان ساحلی زیر حوضه تالار، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، اردیبهشت ماه، دانشگاه تهران.
- قره محمودلو، مجتبی، رقیمی، مصطفی، طهماسبی، ابوالفضل، (۱۳۸۷)، استفاده از مطالعات هیدروژئوشیمی برای تشخیص نفوذ آب شور در چاه‌های آب (مطالعه موردی: شهر ساری). *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، جلد ۱۵ (۴): ۱۴-۱.
- کاظمی‌نژاد، محمود، (۱۳۸۹)، بررسی پیشروی آب شور در اثر برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی، آذر ماه، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساریف گروه مهندسی آب.
- کرمی، فریبا، (۱۳۹۰)، بررسی تغییرات شوری منابع آب زیرزمینی در دشت سراب (با استفاده از نقشه‌های کیفی و GIS)، *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۶ (۳۸): ۱۲۲-۱۰۱.
- وفایی، فریدون، فاطمی، سیداحسان، آشتیانی، بهزادعطایی، (۱۳۸۸)، مدلسازی اثر پیشروی آب دریا بر آبخوان ساحلی زیر حوضه بابل، دومین سمپوزیوم بین‌المللی محیط زیست.

- Abdul Nassir, S.S., Loke, M.H., Lee, C.Y., Nawawi, M.N.M. (2000). Salt-water intrusion mapping by geoelectrical imaging surveys. *Geophysical Prospecting*, 48, 647-661.
- Adegoke, J.A., Owoeye, O.I and Ozebo, V.C. (2012). A Case Study of the Depth of Fresh/Salt Water Interface Using Values of Freshwater Heads in Groundwater of Variable Density. *Electronic Geotechnical Engineering*, Vol. 17: 1669-1704.
- Adepelumi, A. A., Ako, B. D., Ajayi, T. R., Afolabi, O., & Omotoso, E. J. (2009). Delineation of salt water intrusion into the freshwater aquifer of Lekki Peninsula, Lagos, *Nigeria. Environmental Geology*, 56(5), 927-933.
- Bear, J., & Dagan, G. (1964). Some exact solutions of interface problems by hodograph method, *Geophysical Research*, 69(8), 1563-1572.
- Bear, J., Cheng, A.H.-D.(1999), *Seawater intrusion in coastal aquifers – concepts, methods and practices*, Theory and applications of transport in porous media, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Duque, C., Calvache, M. L., Pedrera, A., Martín-Rosales, (2008). Combined time domain electromagnetic soundings and gravimetry to determine marine intrusion, *Hydrology*, 349(3), 536-547.
- Foyle, A., Henry, V. J. and Alexander, C.R. (2002), mapping the threat of seawater intrusion in a regional coastal aquifer-Aquitard system in the southeastern united states, *Environmental Geology*, no. 43 , pp. 151-159.
- Garabedian, Stephen. (2013). Estimation of Salt Water Upcoming Using a Steady-State Solution for Partial Completion of a Pumped Well. *Groundwater*, Vol. 51, N.6. 927-934.
- Ghyben, W. (1889). Notes on the probable results of the proposed well drilling near Amsterdam, *Inst. Ing. Tijdschr*, 1888-89. The Hague, 21.
- Glover, R.E., (1959). The pattern of fresh-water flow in a coastal aquifer, *Geophysical Reserch*. 64 (4): 457-459.
- Haghani, S., Leroy, S. A., Khdir, S., Kabiri, K., Naderi Beni, A., Lahijani, H. A. K. (2016). An early ‘Little Ice Age’ brackish water

- invasion along the south coast of the Caspian Sea (sediment of Langarud wetland) and its wider impacts on environment and people. **The Holocene**, 26(1), 3-16.
- Herzberg, A., (1901). The water supply on parts of the North Sea coast. **Gasbeleucht Wasserversorg**, 44: 815-819.
- Himi, M., Tapias, J., Benabdelouahab, S., Salhi, A., Rivero, L., Elgettafi, M., and Casas, A. (2016). Geophysical characterization of salt water intrusion in a coastal aquifer, **African Earth Sciences**.
- Josselin, G. D. (1960). Singularity distributions for the analysis of multiple-fluid flow through porous media. **Geophysical**, 65(11), 3739-3758.
- Mazor, E., (2004), **Applied chemical and isotopic groundwater hydrology**, third edition, John Wiley, New York.
- Misut, P.E., Voss, C.L. (2007). Freshwater-saltwater transition zone movement during aquifer strong and recovery cycles in Brooklyn and Queens, New York City, USA. **Hydrology**, 337, 87 – 103.
- Strack, O. D. L. (1976). A single-potential solution for regional interface problems in aquifers. **Water Resources Research**, 12(6), 1165-1174.
- Todd D. K., and mays, l. W. (2005), **Ground water hydrology**, John Wiley And Son , New York, 3th edition, 636p.
- Van Dam, J. C. (1999). Exploitation, restoration and management. In **Seawater Intrusion, Methods and Practices** (pp. 73-125). Netherlands.
- Verruijt, A., (1969). An interface problem with a source and a sink in the heavy fluid, **Hydrology**, 8: 197-206.