

نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۲، شماره ۶۵، پاییز ۱۳۹۷، صفحات ۱-۱۸

تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۰۸/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۰۹

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

ابذر اسماعلی عوری<sup>۱</sup>

محمد گلشن<sup>۲</sup>

### چکیده

مناطق ساحلی از لحاظ ذخایر 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 این‌منظور 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 ۱۱۰۰، ۱۵۰۰ و ۸۰۰ متری نقاط مطالعاتی انتخاب شدند. در هر یک از نقاط مطالعاتی برای تعیین حد تداخل آب شور و شیرین از روابط وروریچ، ژئوکتریک، ژئوکترومغناطیسی 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 ژئوکتریک نیز با استفاده از اطلاعات شرکت آب منطقه‌ای مازندران و چاه‌های اکتشافی موجود بررسی شد. برای تهیه اطلاعات حد تداخل آب شور و شیرین با استفاده از دستگاه ژئوکترومغناطیسی اقدام به نمونه‌برداری میدانی حد تداخل در نقاط

۱- دانشیار دانشگاه محقق اردبیلی (نویسنده مسئول)  
Email:[esmalouri@uma.ac.ir](mailto:esmalouri@uma.ac.ir)

۲- دانشجو 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، ژئالکترومنغناطیس 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 ژئالکترومنغناطیسی نسبت به سایر روش‌های مطالعاتی از دقت بالاتری برخوردار است.

**واژگان کلیدی:** حدتدال، آب شور، آب زیرزمینی، ژئالکترومنغناطیسی، مازندران

## مقدمه

آبخوان‌های ساحلی یکی از مهمترین ذخایر 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 (صداقت، 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 (Bear and Chang, ۱۹۹۹: ۲). 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 (Todd, ۲۰۰۵: ۶۹). 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 (Mazor, ۲۰۰۴: ۲۳).

با بهره‌برداری بی‌رویه و کاهش فشار پیزومتریک، تعادل هیدرولیکی آبخوان‌های ساحلی برهم خورده و پیش روی 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 می‌گردد، 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. ۲۰۰۲: ۱۵۲). 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<sup>۱</sup> مورد مطالعه قرار می‌گیرد (Abdul Nassir, Van Dam, ۱۹۹۹: ۱۰؛).<sup>۲</sup> (۲۰۰۰: ۶۴۷؛).

موقعیت مرز آب شور و شیرین در لایه‌های آبدار ساحلی، در حدود ۱۲۰ سال پیش بهوسیله دو محقق اروپایی بهنام‌های Herzberg (۱۸۹۱: ۸۱۹) و Ghyben (۱۸۹۱: ۱) تعریف شد این رابطه بهصورت یک بعدی می‌باشد که سپس روابط دو بعدی توسط دانشمندان مختلف مانند Glover (۱۹۵۹: ۴۵۹)، Bear and Dagan (۱۹۶۴: ۱۵۷۲)، Josselin (۱۹۶۰: ۳۷۵۸) و Verruijt (۱۹۶۹: ۲۰۶) 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<sup>۳</sup> در نیجریه (Adepelumi et al. ۲۰۰۹: ۹۳۳)، مارتیل آیلا، در مراکش (Adegoke et al. ۲۰۱۲: ۱۷۰۴)، هاقو<sup>۴</sup> در هلند (Himi et al. ۲۰۱۶: ۲۳)، ایالت ماساچوست<sup>۵</sup> آمریکا (Garabedian et al. ۲۰۱۳: ۹۳۴) 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 نواحی

<sup>۱</sup>. Salt Water Intrusion

<sup>۲</sup>. Lekki Peninsula

<sup>۳</sup>. Martil-Alila

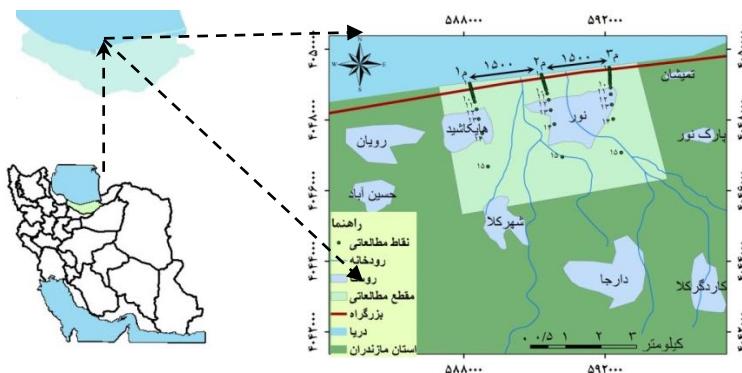
<sup>۴</sup>. Hague

<sup>۵</sup>. Massachusetts

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  $35^{\circ}58'$  در قسمت غربی استان مازندران واقع شده است (شکل ۱). در یک دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۹۴-۱۳۶۵) متوسط بارندگی سالانه در این منطقه ۸۰۰ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه  $13.5^{\circ}$  درجه سانتی‌گراد می‌باشد. حداقل و حداکثر دمای مطلق منطقه به ترتیب  $-26^{\circ}$  درجه سانتی‌گراد در دی ماه  $13.86^{\circ}$  و  $38.2^{\circ}$  درجه سانتی‌گراد در مرداد ماه  $13.88^{\circ}$  می‌باشد. همچنین در طی این دوره آماری متوسط سالانه تعداد روزهای یخ‌بندان، بارانی، برفی و روزهای بارانی با بارش روزانه  $10^{\circ}$  میلی‌متر و بیشتر در منطقه مطالعاتی به ترتیب  $13.7^{\circ}$ ،  $71^{\circ}$ ،  $25^{\circ}$  و  $6^{\circ}$  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  $3$  هزار متر در امتداد خط ساحلی دریا انتخاب شد. در این محدوده  $3$  مقطع عرضی عمود بر خط ساحلی انتخاب شد که با حروف  $۱$ ،  $۲$ ،  $۳$  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 ۵۰۰، ۱۰۰، ۱۵۰، تا ۵۰۰ متر و سپس دارای فاصله‌های ۱۱۰۰، ۸۰۰ 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	مقاطع ۳		مقاطع ۲		مقاطع ۱	
	Y (UTM)	X (UTM)	Y (UTM)	X (UTM)	Y (UTM)	X (UTM)
۱	۳۶°۳۵'۱۳"	۵۲°۰'۱۲۶"	۳۶°۳۵'۰۸"	۵۲°۰'۰۴۶"	۳۶°۳۵'۰۲"	۵۲°۰'۰۰۲"
۲	۳۶°۳۵'۱۱"	۵۲°۰'۱۲۷"	۳۶°۳۵'۰۷"	۵۲°۰'۰۴۶"	۳۶°۳۵'۰۱"	۵۲°۰'۰۰۳"
۳	۳۶°۳۵'۱۰"	۵۲°۰'۱۲۷"	۳۶°۳۵'۰۵"	۵۲°۰'۰۴۷"	۳۶°۳۴'۵۹"	۵۲°۰'۰۰۳"
۴	۳۶°۳۵'۰۸"	۵۲°۰'۱۲۷"	۳۶°۳۵'۰۴"	۵۲°۰'۰۴۷"	۳۶°۳۳'۵۸"	۵۲°۰'۰۰۴"
۵	۳۶°۳۵'۰۶"	۵۲°۰'۱۲۷"	۳۶°۳۵'۰۲"	۵۲°۰'۰۴۸"	۳۶°۳۳'۵۶"	۵۲°۰'۰۰۴"
۶	۳۶°۳۵'۰۵"	۵۲°۰'۱۲۷"	۳۶°۳۵'۰۱"	۵۲°۰'۰۴۹"	۳۶°۳۴'۵۵"	۵۲°۰'۰۰۵"
۷	۳۶°۳۵'۰۳"	۵۲°۰'۱۲۷"	۳۶°۳۳'۵۹"	۵۲°۰'۰۴۹"	۳۶°۳۳'۵۲"	۵۲°۰'۰۰۵"
۸	۳۶°۳۵'۰۱"	۵۲°۰'۱۲۷"	۳۶°۳۳'۵۷"	۵۲°۰'۰۵۰"	۳۶°۳۴'۵۱"	۵۲°۰'۰۰۶"
۹	۳۶°۳۴'۶۰"	۵۲°۰'۱۲۷"	۳۶°۳۳'۵۶"	۵۲°۰'۰۵۰"	۳۶°۳۴'۵۰"	۵۲°۰'۰۰۶"
۱۰	۳۶°۳۳'۵۸"	۵۲°۰'۱۲۷"	۳۶°۳۳'۵۴"	۵۲°۰'۰۵۱"	۳۶°۳۳'۴۸"	۵۲°۰'۰۰۷"
۱۱	۳۶°۳۴'۵۵"	۵۲°۰'۱۲۸"	۳۶°۳۴'۵۱"	۵۲°۰'۰۵۲"	۳۶°۳۴'۴۵"	۵۲°۰'۰۰۸"
۱۲	۳۶°۳۳'۴۹"	۵۲°۰'۱۲۸"	۳۶°۳۴'۴۵"	۵۲°۰'۰۵۴"	۳۶°۳۴'۳۹"	۵۲°۰'۰۱۰"
۱۳	۳۶°۳۳'۳۹"	۵۲°۰'۱۲۹"	۳۶°۳۳'۳۶"	۵۲°۰'۰۵۶"	۳۶°۳۳'۳۰"	۵۲°۰'۰۱۲"
۱۴	۳۶°۳۴'۲۶"	۵۲°۰'۱۳۰"	۳۶°۳۴'۲۳"	۵۲°۰'۰۶۰"	۳۶°۳۴'۱۶"	۵۲°۰'۰۱۶"
۱۵	۳۶°۳۴'۱۴"	۵۱°۵۴'۵۲"	۳۶°۳۴'۰۷"	۵۲°۰'۱۰۴"	۳۶°۳۳'۵۹"	۵۲°۰'۰۷۰۱"

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.

## روشن و روریج

در این روش سطح سفره آب زیرزمینی به صورت استاتیک بوده و حد فاصل آب شور و شیرین حالت سهمی دارد (Verruijt. ۱۹۶۹: ۲۰۷). رابطه‌های مربوط به این روش به صورت زیر می‌باشد.

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

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

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

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

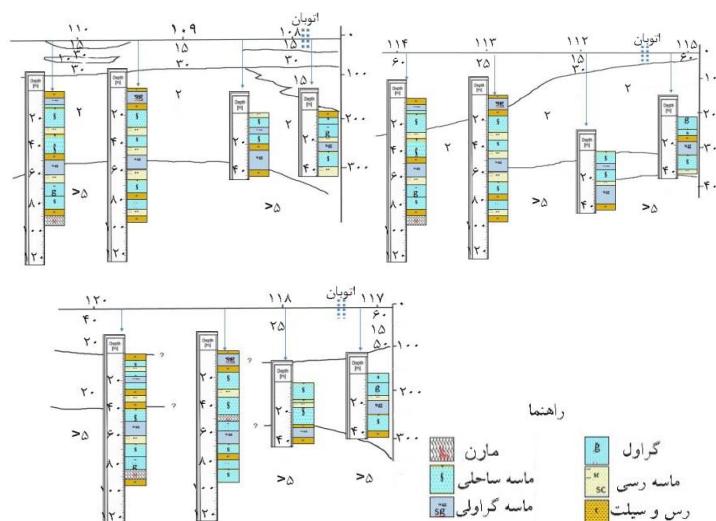
در روابط فوق  $\rho_s$  جرم مخصوص آب شور ( $\text{g/cm}^3$ ),  $\rho_f$  جرم مخصوص آب شیرین ( $\text{g/cm}^3$ ),  $g$  شتاب نقل ( $\text{m/s}^2$ ),  $h_s$  عمق آب شور تا سطح آب دریا ( $\text{m}$ ),  $b$  ارتفاع آب شیرین موجود در لایه آبدار بالای سطح دریا ( $\text{m}$ ),  $k$  ضخامت آبخوان ( $\text{m}$ ),  $q$  دبی جریان آب شیرین ( $\text{m}^3/\text{day}$ ) و  $\beta$  تفاضل جرم مخصوص آب شور دریا و آب شیرین،  $L$  طول پنجه آب شور ( $\text{m}$ ),  $k$  هدایت هیدرولیکی ( $\text{m/s}$ ) 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 (صفارزاده ۱۳۸۹: ۵، کاظمی‌نژاد ۱۳۸۹: ۴، وفایی ۱۳۸۸: ۶). بعد از تهییه پارامترهای مورد نیاز برای روش روریج، 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 به دست آورد (Misut and Voss, ۲۰۰۷: ۸۹). مناطقی که دارای هدایت الکتریکی کمتر از ۱۰ اهم متر می‌باشند به عنوان حد اولیه تداخل آب شور و شیرین تعیین شدند در مناطقی که مقدار مقاومت الکتریکی کمتر از ۱۰ اهم متر می‌باشد اما جنس منطقه از نوع رس و سیلت می‌باشد به عنوان 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 (۱م)، مقطع دوم (۲م) و مقطع سوم (۳م)

### روش ژئالکترومغناطیس

این روش از جدیدترین روش‌های مورد استفاده برای تعیین حد تداخل 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 ژئالکترومغناطیس 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 اعمق مختلف عمق تداخل آب شور و شیرین تعیین شد.

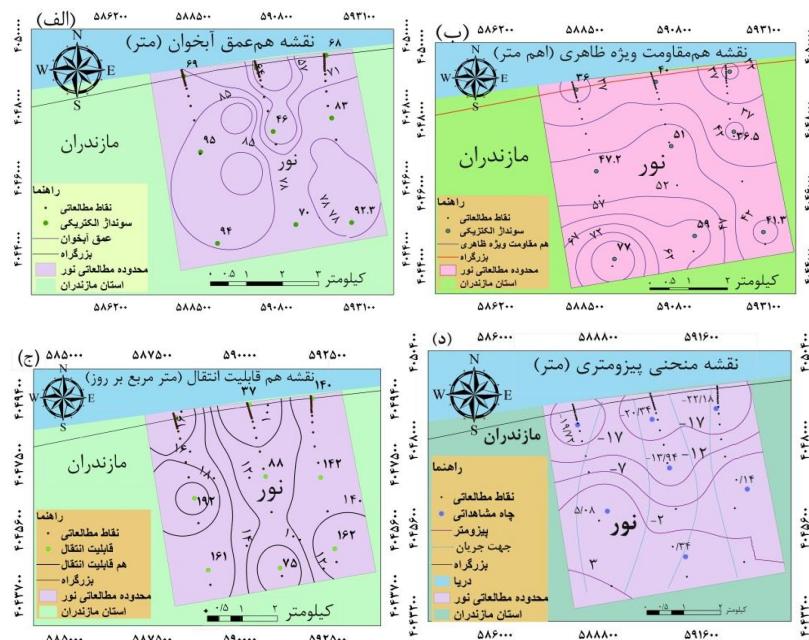
### ارزیابی دقیق روش‌های تعیین حد تداخل آب شور و شیرین

برای ارزیابی دقیق نتایج حاصل از روش‌های مطالعاتی مورد استفاده (رابطه وروریچ، مطالعات ژئوفیزیک و دستگاه ژئالکترومغناطیسی) 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 ppm ۳۰۰۰ به عنوان سطح برخورد آب شور و شیرین در نظر گرفته شد.

### نتایج و یافته‌ها

تعیین ویژگی آبخوان از مهمترین بخش مطالعات مربوط به آبخوان‌های ساحلی می‌باشد. برای اجرای رابطه وروریچ در مقاطع مطالعاتی نور این مشخصات تعیین شدند، که نتایج به دست آمده در شکل (۲) نشان داده شده‌است. نقشه هم‌عمق آبخوان با توجه به اطلاعات روش ژئالکتریک و چاه‌های اکتشافی تهیه شد که عمق آبخوان در محدوده‌های مختلف را نشان می‌دهد. نقشه هم‌ مقاومت ویژه ظاهری و قابلیت انتقال نشان دهنده قدرت انتقال آب در مناطق مختلف می‌باشد که با افزایش مقادیر مربوط به این پارامترها قابلیت آبگذری نیز افزایش می‌یابد. همچنین نقشه منحنی پیزومتری نشان دهنده عمق هم‌پتانسیل آب زیرزمینی در محدوده‌های مختلف می‌باشد که با استفاده از اطلاعات چاه‌های مشاهداتی تهیه شد. لازم به ذکر است که اطلاعات مربوط به عمق آبخوان، پیزومتری و جهت جریان

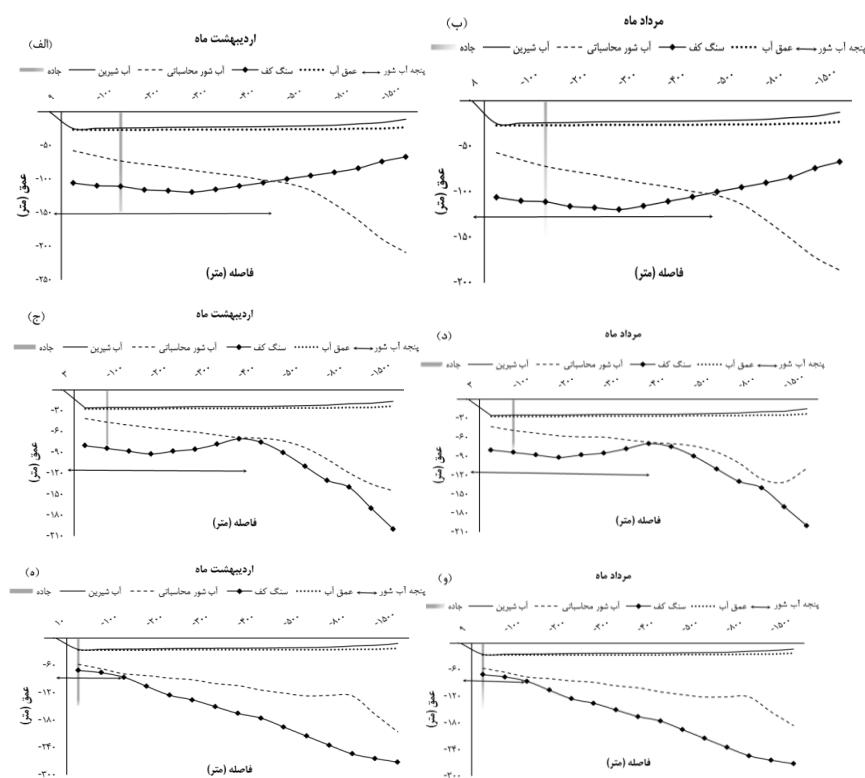
برای ماه‌های اردیبهشت و مرداد ماه ۱۳۹۴ تهیه شده است، که به دلیل محدودیت صفحات ارائه نشد.



شکل ۳. مشخصات مطالعه مقطع مطالعاتی در آبخوان ساحلی نور

با استفاده از معادله وروریج و پارامترهای تهیه شده برای هر مقطع، سطح تماس آب شور ( $hs$ ) و شیرین ( $hf$ ) به صورت تئوری در این نقاط محاسبه شد که نتایج آن بر حسب واحد اندازه‌گیری متر در شکل (۴) ارائه شده است. همچنین عرض نفوذ آب شیرین ( $X$ ) آبخوان ساحلی به سمت دریا در هریک از مطالعه مسافت و نتایج حاصل از آن‌ها در جدول (۲) ارائه شد. نتایج نشان می‌دهد عمق آب زیرزمینی در مرداد ماه به طور شدید افت می‌کند در نتیجه مقدار شیب و دبی جریان آب زیرزمینی کاهش می‌یابد که با نتایج Strack (۱۹۷۶: ۱۱۷۷) مطابقت دارد. با کاهش مقدار دبی جریان، حد تداخل آب شور و شیرین در مطالعه مطالعاتی بالا آمده و به سطح زمین نزدیک‌تر شده است، که در مطالعات صفارزاده (Herzberg ۱۹۰۱: ۸۱۹) و (۱۳۸۹: ۹) این موضوع بیان شده است. در هر سه مقطع

مطالعاتی مقدار X مثبت بددست آمد که این نشان می‌دهد جریان آب شیرین در مقاطع مطالعاتی به سمت دریا نفوذ کرده است، البته در ماه مرداد بدلیل 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.) در مقاطع مختلف مطالعاتی

X <sub>۰</sub> (مرداد)	X <sub>۰</sub> (اردیبهشت)	شماره مقطع	نام مقطع
۸/۴۵	۸/۸	۱	
۳/۵۷	۴/۸	۲	نور
۹/۵۴	۱۱/۱	۳	

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 اهمتر بر ثانیه می‌باشد. عمق سنگ کف مقاطع عرضی در جدول (۳) آورده شده است.

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. به طور 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 شده است.

جدول ۳. نتایج بررسی عمق سنگ کف در مقاطع مطالعاتی

سنگ کف لایه دوم	لایه اول	شماره مقطع	نام منطقه
۱۱۰ (۹۸)، ۱۰۹ (۸۵)، ۱۰۸ (۸۰)	۱۱۰ (۵۰)، ۱۰۹ (۸۵)، ۱۰۸ (۸۰)	مقاطع اول	
۱۱۴ (۲۳۰)، ۱۱۳ (۱۵۰)، ۱۱۲ (۶۰)	۱۱۴ (۲۳۰)، ۱۱۳ (۱۵۰)، ۱۱۲ (۶۰)	مقاطع دوم	نور
۱۱۵ (۱۰۵)	۱۱۵ (۱۰۵)		
۱۲۰ (۲۵۰)، ۱۱۸ (۱۴۰)، ۱۱۷ (۱۰۵)	۱۲۰ (۲۵۰)، ۱۱۸ (۱۴۰)، ۱۱۷ (۵۰)	مقاطع سوم	

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

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

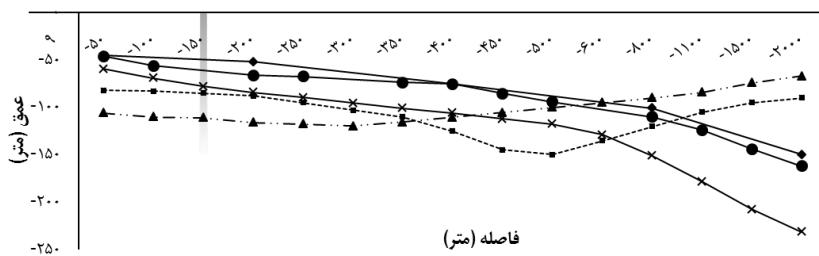
-۹۸	-۸۸	-۹۵	-۶۷/۵	-۶۷/۵	-۶۷/۵	۵
-۹۲	-۸۵	-۱۰۳	-۷۳/۵	-۷۳/۵	-	۶
-۸۵	-۷۸	-۱۱۰	-۷۴/۵	-۷۴/۵	-۷۳/۵	۷
-۷۴	-۷۰	-۱۲۵	-	-	-۷۵/۵	۸
-۷۰	-۷۵	-۱۴۵	-۷۵/۵	-۷۵/۵	-۸۵/۵	۹
-۶۰	-۸۶	-۱۵۰	-۷۷	-۷۷	-۹۴	۱۰
-۵۰	-۹۵	-۱۳۵	-۹۳	-۹۳	-	۱۱
-۵۴	-۱۰۰	-۱۲۰	-۹۷	-۹۷	-۱۱۰	۱۲
-۵۸	-۱۱۰	-۱۰۵	-۹۷	-۹۷	-۱۲۴	۱۳
-۶۰	-۱۲۰	-۹۵	-	-	-۱۳۴	۱۴
-۹۰	-۱۳۰	-۹۰	-۹۷	-۹۷	-۱۶۲	۱۵

### بحث

خطوط مختلف رسم شده در شکل‌های ۵، ۶ و ۷ نشان دهنده نتایج حد تداخل آب شور و شیرین با استفاده از روش‌های مختلف در سه مقطع عرضی مورد مطالعه می‌باشند که نمودار مریبوط 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 به‌ترتیب در فاصله‌های ۴۵۰، ۴۲۰ و ۱۴۰ متری، با روش ژئوالکتریک در فاصله‌های ۳۸۰، ۵۰۰ و ۲۲۰ متری و با روش ژئوالکترومغناطیس در فاصله‌های ۵۸۰، ۵۲۰ و ۵۴۰ متری تعیین شد. همچنین در این مقطاع با استفاده از داده‌های نقاط مشاهداتی فاصله تداخل به‌ترتیب در فاصله‌های ۵۰۰ و ۶۰۰ متری به‌دست 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 حد تداخل تعیین شده توسط این روش‌ها به نتایج مشاهداتی نزدیک‌تر می‌باشند که با نتایج Duque et al (۲۰۰۸: ۵۴۷) و (۲۰۰۰: ۶۶۱) Abdul Nassir مطابقت دارد. به‌طورکلی مقایسه نتایج حاصل از روش‌های مطالعاتی نشان داد که روش ژئوالکترومغناطیس دارای دقت بیشتری می‌باشد که در نتایج (Himi et al ۲۰۱۶: ۲۳) این موضوع بیان شده است.

### مقطع اول

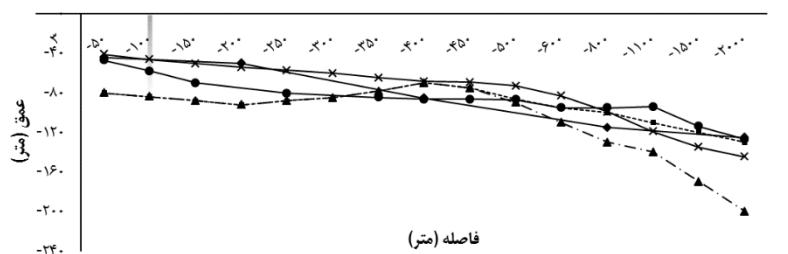
مشاهداتی —●— دستگاه الکترومغناطیسی —●— سنگ کف —▲— محاسباتی با ورودیج —×— تخمینی با زووالکتریک —■— جاده



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

### مقطع دوم

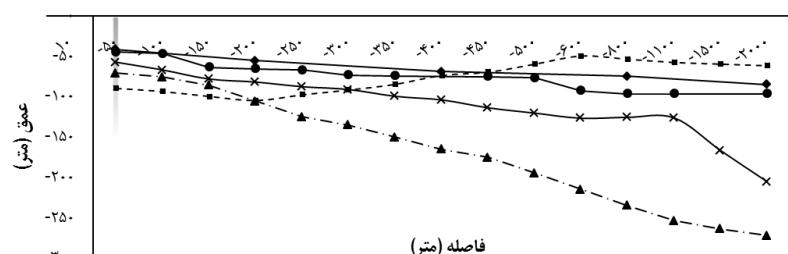
مشاهداتی —●— دستگاه الکترومغناطیسی —●— سنگ کف —▲— محاسباتی با ورودیج —×— تخمینی با زووالکتریک —■— جاده



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

### مقطع سوم

مشاهداتی —●— دستگاه الکترومغناطیسی —●— سنگ کف —▲— محاسباتی با ورودیج —×— تخمینی با زووالکتریک —■— جاده



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

### نتیجه‌گیری

استان مازندران در قسمت شمالی کشور واقع شده است و بهدلیل همچواری با دریای مازندران دارای ساحل وسیعی می‌باشد. آب‌های زیرزمینی استان مازندران با آب شور دریایی مازندران در ارتباط می‌باشند که در طی سال باتوجه به برداشت از آب‌های زیرزمینی سطح آب زیرزمینی کمی افت کرده است که منجر به پیشروی آب شور دریا به سمت ساحل شده است. 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 وروریج، 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 وروریج 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 با تجربه دارد. رابطه تجربی وروریج به طور 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. به طور 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، پایان نامه کارشناسی ارشد، (۱۳۹۲)، بررسی پدیده نفوذ آب شور در آبخوان ساحلی دشت ساری - نکاء با استفاده از روش های هیدروژئیمی و مدلسازی عددی، دانشگاه تربیت معلم ، تهران ، دانشکده علوم.
- اصغری مقدم، اصغر، قره خانی، مریم، ندیری، عطالله، 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 تعذیه آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج، *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۴ (۶۴): ۷۹-۵۹.
- صداقت، محمود، (۱۳۸۷)، *زمین و منابع آب*، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- صفارزاده، محمدمهری، 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، بهزاد عطایی، (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 هیدروژئیمی برای تشخیص نفوذ آب شور در چاههای آب (مطالعه موردی: شهر ساری). *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، جلد ۱۵ (۴): ۱۴-۱.
- کاظمی نژاد، 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 ساری گروه مهندسی آب.
- کرمی، فربیا، (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، بهزاد عطایی، (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. (۲۰۰۰). Salt-water intrusion mapping by geoelectrical imaging surveys. *Geophysical Prospecting*, ۴۸, ۶۴۷-۶۶۱.
- Adegoke, J.A., Owoeye, O.I and Ozebo, V.C. (۲۰۱۲). 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. ۱۷: ۱۶۶۹-۱۷۰۴.
- Adepelumi, A. A., Ako, B. D., Ajayi, T. R., Afolabi, O., & Omotoso, E. J. (۲۰۰۹). Delineation of salt water intrusion into the freshwater aquifer of Lekki Peninsula, Lagos, *Nigeria. Environmental Geology*, ۵۶(۵), ۹۲۷-۹۳۳.
- Bear, J., & Dagan, G. (۱۹۶۴). Some exact solutions of interface problems by hodograph method, *Geophysical Research*, ۶۹(۸), ۱۵۶۳-۱۵۷۲.
- Bear, J., Cheng, A.H.-D.(۱۹۹۹), *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, (۲۰۰۸). Combined time domain electromagnetic soundings and gravimetry to determine marine intrusion, *Hydrology*, ۳۴(۳), ۵۳۶-۵۴۷.
- Foyle,A., Henry, V. J. and Alexander, C.R. (۲۰۰۲), mapping the threat of seawater intrusion in a regional coastal aquifer-Aquitard system in the southeastern united states, *Environmental Geology*, no. ۴۳ , pp. ۱۵۱-۱۵۹.
- Garabedian, Stephen. (۲۰۱۳). Estimation of Salt Water Upcoming Using a Steady-State Solution for Partial Completion of a Pumped Well. *Groundwater*, Vol. ۵۱, N.۶. ۹۲۷-۹۳۴.
- Ghyben, W. (۱۸۸۹). Notes on the probable results of the proposed well drilling near Amsterdam, Inst. Ing. Tijdschr, ۱۸۸۸-۸۹. The Hague, ۲۱.
- Glover, R.E., (۱۹۵۹). The pattern of fresh-water flow in a coastal aquifer, *Geophysical Reserch*.۵۴ (۴): ۴۵۷-۴۵۹.

- Haghani, S., Leroy, S. A., Khdir, S., Kabiri, K., Naderi Beni, A., Lahijani, H. A. K. (۲۰۱۶). 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*, ۲۶(۱), ۳-۱۶.
- Herzberg, A., (۱۹۰۱). The water supply on parts of the North Sea coast. *Gasbeleucht Wasserversorg*, ۴۴: ۸۱۵-۸۱۹.
- Himi, M., Tapias, J., Benabdellahab, S., Salhi, A., Rivero, L., Elgettafi, M., and Casas, A. (۲۰۱۶). Geophysical characterization of salt water intrusion in a coastal aquifer, *African Earth Sciences*.
- Josselin, G. D. (۱۹۶۰). Singularity distributions for the analysis of multiple-fluid flow through porous media. *Geophysical*, ۶۵(۱۱), ۳۷۳۹-۳۷۵۸.
- Mazor, E., (۲۰۰۴), *Applied chemical and isotopic groundwater hydrology*, third edition, John Wiley, New York.
- Misut, P.E., Voss, C.L. (۲۰۰۷). Freshwater-saltwater transition zone movement during aquifer strong and recovery cycles in Brooklyn and Queens, New York City, USA. *Hydrology*, ۳۳۷, ۸۷ – ۱۰۳.
- Strack, O. D. L. (۱۹۷۶). A single-potential solution for regional interface problems in aquifers. *Water Resources Research*, ۱۲(۶), ۱۱۶۵-۱۱۷۴.
- Todd D. K., and mays,l. W. (۲۰۰۵ ), *Ground water hydrology*, John Wiley And Son , New York, ۷th edition, ۶۳۶p.
- Van Dam, J. C. (۱۹۹۹). Exploitation, restoration and management. In *Seawater Intrusion, Methods and Practices* (pp. ۷۳-۱۲۵). Netherlands.
- Verruijt, A., (۱۹۶۹). An interface problem with a source and a sink in the heavy fluid, *Hydrology*, ۸: ۱۹۷-۲۰۶.