

## ارزیابی روشهای کنترل هجوم آب شور آبخوانهای ساحلی / کویری

محمدحسن نادری

دانشجوی کارشناسی ناپیوسته مهندسی آب، آموزشکده کشاورزی وزارت جهادکشاورزی

(مرکز آموزش عالی امام خمینی کرج) Irrigationkaraj86@gmail.com

### چکیده

یکی از عواملی که موجب شوری سفره های آبهای زیرزمینی به ویژه در سواحل شمالی و جنوبی و سواحل دریاچه های داخلی کشوری گردد نفوذ آب شور به آبخوانهای مجاور می باشد که به علت برداشت بیش از تغذیه از منابع آب زیرزمینی رخ می دهد. پیامد مستقیم این تغییر، پیشروی مرز مشترک آب شور و شیرین به طرف لایه آبدار می باشد که منجر به آلوده شدن سفره آب شیرین گردیده است. علیرغم مشاهده آثار هجوم آب شور در اکثر مناطق ساحلی دریای مازندران و خلیج فارس و دریای عمان و همچنین تعدادی از دشتهای ساحلی دریاچه ارومیه متاسفانه تاکنون اقدام مؤثری جهت جلوگیری از آنها بعمل نیامده است. یکی از چالش های پیش روی صنعت آب کشور، یافتن راهکارهای بهینه برای توسعه بهره برداری از منابع آب زیرزمینی در آبخوانهای ساحلی / کویری می باشد. هجوم آبهای شور از یکسو و در اختیار نبودن منابع آب سطحی شیرین از سوی دیگر، توسعه اقتصادی اجتماعی با اتکا به چنین آبخوانهایی را دشوار و یا احتمالاً ناممکن می سازد. در این مقاله راهکارهای مختلف مطرح در صنعت آب برای کنترل هجوم آب شور به آبخوانها شامل بهینه سازی عملیات پمپاژ، تغذیه مصنوعی، ایجاد خط افت موازی با ساحل (لاوک پمپاژ)، افزایش تراز سطح آب زیرزمینی در امتداد ساحل، کنترل نفوذ آب شور از طریق سیستم چاههای تزریق - بهره برداری، احداث سدهای زیرزمینی معرفی شده و به استفاده از روشهای عددی و مدل ریاضی، برتری نسبی برخی از روشها نشان داده شده است. در این پژوهش به چگونگی پاره ای از پارامترهای مهندسی چون هندسه موقعیت مکانی چاهها و آهنگ تزریق / برداشت نیز توجه شده و در خاتمه بهترین حالت از میان روشهای نامبرده که بتوان آب برداری را متعادل نمود پیشنهاد می شود.

واژگان کلیدی: آبخوانهای ساحلی، هجوم آب شور، توسعه پایدار، منابع آب زیرزمینی

### مقدمه

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

یکی از عواملی که موجب شوری سفره های آبهای زیرزمینی به ویژه در سواحل شمالی و جنوبی و سواحل دریاچه های داخلی کشوری گردد نفوذ آب شور به آبخوانهای مجاور می باشد که به علت برداشت بیش از تغذیه از منابع آب زیرزمینی رخ می دهد. علیرغم مشاهده آثار هجوم آب شور در اکثر مناطق ساحلی دریای مازندران و خلیج فارس و دریای عمان و همچنین تعدادی از دشتهای ساحلی دریاچه ارومیه متاسفانه تاکنون اقدام مؤثری جهت جلوگیری از آنها بعمل نیامده است. مطالعات انجام شده در این زمینه نیز فراگیر نبوده و گفته

می شود که در تعدادی از دشتهای در حال انجام است. نکته نگران کننده دیگر در مورد دشتهای ساحلی ایران بویژه سواحل جنوبی کشور، محرز شدن آلودگی سفره ها، نه تنها در اثر هجوم آب دریا، بلکه بدلیل آنکه سازندهای تشکیل دهنده اکثر دشتهای آبرفتی این منطقه حاوی گچ و نمک هستند، می توانند حتی بدون هجوم آب دریا نیز خود عامل شور کننده سفره هابه شمار آیند. علاوه بر سفره های ساحلی اکثر آبخوانهای آبرفتی واقع در حاشیه کویر ایران که تنها تامین کننده آب مورد نیاز اهالی منطقه می باشد، به دلیل بهره برداری بی رویه دچار آلودگی شده و بعضی از آنها دچار گردیدن هیدرولیک از جانب کویر به سفره ها شده اند. در مورد این سفره ها نیز می توان با بهره گیری مناسب از روش های موجود و تجربیات سایر کشورها، از وارد شدن صدمات بیشتر جلوگیری به عمل آورد.

## روشهای جلوگیری از نفوذ آب شور

بهره برداری دراز مدت از آب شیرین سفره های ساحلی و مجاور کویرها سبب تغییر میزان تخلیه آب شیرین به دریاچه ها و یا کویرها شده است. پیامد مستقیم این تغییر، پیشروی مرز مشترک آب شور و شیرین به طرف لایه آبدار می باشد که منجر به آلوده شدن سفره آب شیرین گردیده است. به منظور جلوگیری از نفوذ آب شور و کنترل آن در چنین نواحی، روشهایی وجود دارد که با توجه به وضعیت بهره برداری، ساختمان زمین شناسی، نوع سفره و... متفاوت می باشد. ذیلاً شرحی مختصر از چند روش متداولتر در گستره بهره برداری از آبهای زیرزمینی ارائه می گردد.

### 1- بهینه سازی عملیات پمپاژ

آسان ترین و کم هزینه ترین روش جهت جلوگیری از پیشروی آب شور، کاهش پمپاژ تا به حدی است که سطح ایستابی یا تراز سطح پیژومتریک در سفره آب زیرزمینی بالاتر از سطح آب شور (دریا) قرار گرفته و منجر به تداوم شیب ملایمی به سمت منبع آب شور (دریا) گردد. شایان ذکر است که در برخی نواحی ممکن است با تغییر در محل پمپاژ و برنامه بهره برداری از پمپ ها بتوان به نتایج مشابه رسید. در برخی موارد هم که بهره برداری از سفره آب شیرین در منطقه تغذیه آبخوان (ورود جریان) صورت می پذیرد، ممکن است در بعضی شرایط، شیب هیدرولیکی تند حاصله از پمپاژ، باعث افزایش حجم جریان شیرین ورودی به آبخوان (Induced infiltration) شود.

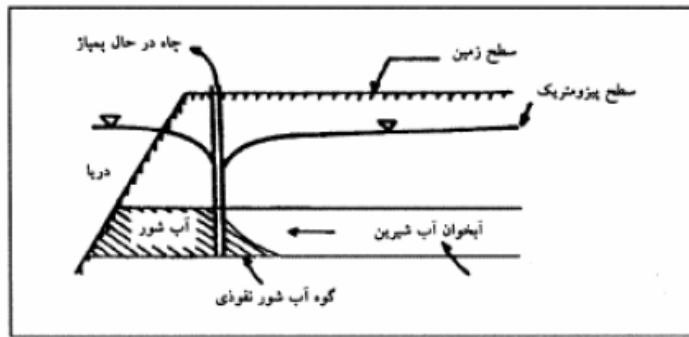
### 2- تغذیه مصنوعی

روش مطمئن کنترل هجوم آب شور (دریا)، تغذیه مصنوعی در آبخوان ساحلی از طریق پخش آب در استخرهای سطحی برای آبخوانهای آزاد و چاههای تغذیه برای آبخوانهای محبوس است. در شرایطی که تامین منبع آبی در فصولی از سال میسر باشد (مثلاً آبهای سطحی شهری ناشی از بارش رگبارهای زمستانه) می توان از طریق تغذیه مصنوعی سطح آب سفره را بالا آورده و از پیشروی آب شور جلوگیری نمود. در بسیاری از مناطق جهان از این روش برای ثابت مرز مشترک آب شور و شیرین استفاده نموده اند. باین ترتیب که برای سفره های آزاد از روشهای تغذیه سطحی مانند پخش آب استفاده نموده و برای سفره های تحت فشار از چاههای تزریقی استفاده شده است. اما باید در نظر داشت که ممکن است اگر آهنگ پمپاژ از آبخوان بهینه سازی نشود، ساخت و بهره برداری از تأسیسات تغذیه مصنوعی از دیدگاه اقتصادی به صرفه نباشد. در بسیاری از پروژه های انتقال بین حوزه ای مشاهده شده است که وارد کردن آب تکمیلی خوش کیفیت از دیگر منابع به داخل یک حوضه و تغذیه کردن آبخوان زیرزمینی و بالاخره پمپاژ آن در ناحیه های تحت پوشش و نزدیک، زنجیره ای از عملیات گران را در بردارد که در یک دوره دراز مدت، موجب بالا رفتن بی جهت هزینه تهیه آب می گردد.

### 3- ایجاد خط افت موازی با ساحل (لاوک پمپاژ)

در این روش روی یک خط موازی و نزدیک ساحل تعدادی چاه حفر نموده و با پمپاژ همزمان در این چاهها و ایجاد مخروط افت، خط افتی در سطح آب زیرزمینی (لاوک) به موازات ساحل ایجاد می کنند. بنابراین آب شیرین سفره با آب شور منطقه نفوذی (گوه آب شور)

مخلوط شده و پمپاژ می شود. این عمل سبب تثبیت گوه آب شور در طرف رو به خشکی لاوک و در نتیجه باعث ثابت ماندن مرزآبی مشترک آب شور و شیرین در فاصله معینی از دریا می گردد. شکل (1) نمایانگر یک سفره تحت فشار ساحلی با لاوک پمپاژ است.



شکل (1): کنترل نفوذ آب دریابوسیله پمپاژ چاههای حفر شده بموازات ساحل

اشکال این روش در از بین بردن حجمی از آب سفره زیرزمینی است که در زمان پمپاژ با آب شور دریا مخلوط شده و بدلیل کیفیت نامناسب از دست می رود. همین عامل سبب بالارفتن هزینه های تولید آب قابل استفاده خواهد شد، لذا بهره گیری از این روش فقط برای مقابله سریع با هجوم آب شور توصیه شده لیکن استفاده از آن برای مدت طولانی معمولاً از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نمی باشد.

#### 4- افزایش تراز سطح آب زیرزمینی در امتداد ساحل

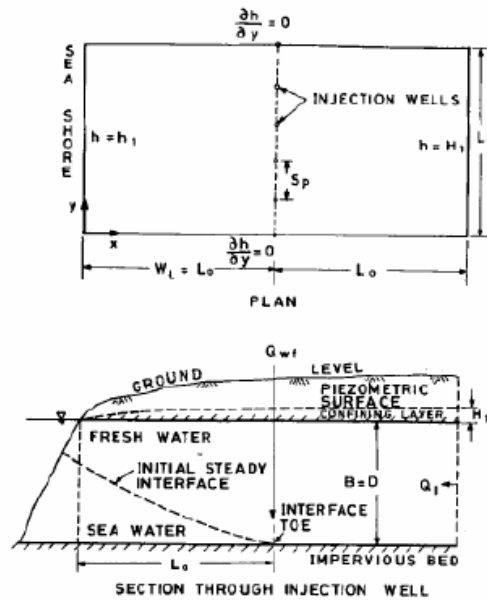
ایجاد بلندای مازاد برای پس زدن آب شور، که عملیاتی برعکس روش ایجاد لاوک افت می باشد، در بسیاری از موارد توانسته نتایج مطلوبی بدست دهد. در این روش بجای لاوک، ایجاد و نگهداری از یک تیغه پس زننده آب شیرین در نزدیکی و به موازات ساحل مورد نظر است که در سفره های آزاد می توان از طریق پخش آب، یک تیغه در سطح سفره آب زیرزمینی ایجاد نمود و در آبخوانهای تحت فشار چندین چاه تغذیه واقع بر روی یک خط موازی با ساحل، تیغه فشاری را در سطح پیژومتری ایجاد نمود.

برای پس راندن آب دریا، تیغه ایجاد شده باید به اندازه کافی بالاتر از سطح دریا قرار گیرد. در این روش نیز قسمتی از آب تغذیه شده وارد دریا شده و به هدر می رود و بخشی دیگر از آب تزریقی، بوسیله پمپاژ بازیافت می شود. چنانچه از چاههای تغذیه استفاده شود ارتفاع سطح پیژومتری در اطراف چاهها بالاتر از دیگر جاها بوده و بین چاهها نوعی زین تشکیل می شود. ارتفاع زین ها بستگی به فاصله بین چاهها، میزان تغذیه و سرعت جریان خروجی از چاهها دارد. محل چاه تغذیه و دبی تغذیه از اهمیت شایانی برخوردار است. در یک دستورات عمل ساده، توصیه شده است که محل ایجاد این چاه در طرف رو به خشکی جبهه شورانتخاب شود. در غیر اینصورت آب دریا در طرف خشکی چاه باقیمانده و در اثر تغذیه، بیشتر از پیش بدخل خشکی نفوذ می کند. دبی کم تغذیه نیز قادر به پس راندن آب شور نخواهد بود.

#### ارزیابی عددی روشهای کنترل نفوذ آب شور

تغذیه آب شیرین از طریق چاههای تزریقی می تواند با ایجاد یک مانع هیدرولیکی، نفوذ آب شور در آبخوانهای ساحلی را بی اثر کند. این روش برای آبخوانهای محصور، آزاد و چند لایه مفید خواهد بود.

نمایی از مسئله مورد بحث در شکل (2) نشان داده شده که مربوط به آبخوانی به ضخامت یکنواخت B بوده و کف آن در عمق D زیر سطح دریا قرار گرفته است و از بالا و پایین توسط لایه های نفوذ ناپذیر محصور شده می باشد. تعادل اولیه بین آب شور و آب شیرین با یک جریان  $Q_I$  به طرف دریا نگهداشته می شود. یک سری چاه تزریق نیز در فاصله  $W_L$  از ساحل با دبی تزریق ثابت به مقدار  $Q_{wf}$  قرار گرفته اند. تزریق آب شیرین به این طریق، یک مانع هیدرولیکی در برابر هجوم آب شور ایجاد می کند. بنابراین گوه آب شور از موقعیت اولیه در  $L_1$  به موقعیت تعادل جدید،  $L_2$  در زمان  $t = \infty$  منتقل می شود.



شکل (2) : تعریف مسئله در پلان و برش

معادلات پیوستگی (1) و (2) در حالت قائم، بیر (1979) برای آب شور و شیرین برای بلندای پیزومتری مربوطه بصورت زیر می باشد:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{fx} B_f \frac{\partial h_f}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{fy} B_f \frac{\partial h_f}{\partial y} \right) + Q_{wf} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{sx} B_s \frac{\partial h_s}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{sy} B_s \frac{\partial h_s}{\partial y} \right) = 0 \quad (2)$$

که در معادلات (1) و (2)،  $K$  = ضریب هدایت هیدرولیکی،  $B$  = ضخامت آبخوان،  $h$  = هد پیزومتری در حالت عمودی،  $Q_{wf}$  = دبی تزریقی آب شیرین برای هر چاه،  $x, y$  = محورهای مختصات و اندیسهای  $f$  و  $s$  به ترتیب مربوط به آب شیرین و شور می باشد. هندسه مرز مشترک بین آب شور و آب شیرین با رابطه (3) بیان می گردد.

$$z = \frac{1}{\alpha} [(1 + \alpha)h_s - h_f] \quad (3)$$

که در رابطه (3)،  $Z$  = ارتفاع سطح مشترک (مثبت به طرف بالا فرض می شود) و  $\gamma$  = وزن مخصوص و

$\alpha$  = نسبت چگالی اضافی  $\gamma_s - \gamma_f / \gamma_f$  می باشد.

متغیرهای مؤثر در آنالیزها بصورت پارامترهای بی بعد در معادلات (4)، (5)، (6)، (7)، (8) و (9) زیر دسته بندی می شوند:

$$W'_L = W_L / L_0 \quad (4)$$

$$S'_p = S_p / L_0 \times 100 \quad (5)$$

$$\bar{x} = \alpha K x / |Q_f| \quad (6)$$

$$\bar{z} = \alpha K z / |Q_f| \quad (7)$$

$$Q'_f = Q_{wf} / \alpha K D^2 \quad (8)$$

$$P = L_0 - L_1 / L_0 \times 100 \quad (9)$$



شرط پیوستگی در سطح مشترک آب شور و آب شیرین را می توان با معادله (3) تبیین کرد. آبخوان محبوس در نظر گرفته شده و سنگ کف آن در عمق  $D$  از سطح دریا قرار دارد. لاوک پمپاژ به علت استخراج آب شور، سبب سمت دریا راندن پنجه گوه شور می شود. بطوریکه آن را از موقعیت اولیه ( $L_0$ ) به موقعیت نهایی ( $L_T = \infty$ ) عقب می راند. اینک می توان معادلات (10) و (11) را برای محاسبه بلندای پیزومتريک آب شور و آب شیرین نوشت.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{fx} B_f \frac{\partial h_f}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{fy} B_f \frac{\partial h_f}{\partial y} \right) = Q_{wf} \quad (10)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{sx} B_s \frac{\partial h_s}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{sy} B_s \frac{\partial h_s}{\partial y} \right) = Q_{ws} \quad (11)$$

که در آن  $Q_{ws}$  = دبی استخراج آب شور می باشد و بقیه پارامترها قبلا معرفی شده اند. نحوه انجام آزمایش ها در این قسمت مانند روش قبلی می باشد. چاههای بهره برداری در یک گروه و در فواصل  $W_L = 0.025L_0, 0.1L_0, 0.2L_0, 0.3L_0$  از ساحل قرار می گیرند. فاصله بی بعد چاهها از یکدیگر ( $S'p$ ) برابر با  $1/5, 5/3, 7/5, 10, 12/5, 15, 17/5$  می باشد. دامنه تغییرات بهره برداری از  $Q_s = 0.05$  تا  $0/6$  برای هر چاه بوده و تعداد چاهها در هر گروه با توجه به فاصله چاهها از یکدیگر از 11 تا 21 متغیر می باشد.

در پژوهشی دیگر، از یک سری چاه های تزریق آب شیرین کن در ترکیبی با چاههای بهره برداری استفاده کرده اند. موقعیت چاههای استخراج برای این هدف در  $0.1L_0$  ثابت شده و چاههای تزریق آب شیرین در فواصل  $0.7L_0, 0.8L_0, 0.9L_0, L_0$  از ساحل قرار داشته اند. از یافته های این پژوهش برای هر دو سیستم چنین بر می آید که هر چه فاصله چاهها از یکدیگر بیشتر شود درصد کاهش نفوذ کمتری شود. در مورد چاههای بهره برداری هر چه فاصله چاهها از ساحل زیادتر باشد، مقدار نفوذ آب شور کمتر شده و در نتیجه مقدار استخراج آب شیرین زیادتر می شود. ولی هر چه فاصله چاهها از ساحل بیشتر شود ارزش آب شیرین استخراج شده افزایش می یابد و ممکن است مقرون به صرفه نباشد. این موضوع در مورد ترکیب چاههای بهره برداری - تزریق برعکس می باشد. یعنی هر چه فاصله چاههای تزریق از ساحل بیشتر شود درصد کاهش نفوذ آب شور کمتر می شود.

ایشان مشاهده کرده اند که بهترین نتایج مربوط به چاههای تزریق و بدترین نتایج مربوط به چاههای بهره برداری می باشد و ترکیبات چاههای بهره برداری - تزریق در بین این دو قرار می گیرند و بین این ترکیبات بهترین حالت مربوط به حالت  $0.7 - W_L/L_0 = 0.1$  می باشد. همانطور که پیشتر اشاره شد، اگر چه بهره گیری از چاههای تزریق بهترین نتایج را بدست می دهد، لیکن یکی از مشکلات مهم این روش در اختیار نبودن منابع آب شیرین ارزان برای تزریق می باشد که باعث رد کردن این روش می شود.

## 6- احداث سدهای زیرزمینی

احداث سدهای زیرزمینی، نفوذپذیری یک آبخوان را تا به آن اندازه که از نفوذ آب دریا جلوگیری نماید، کم می کند. در آبخوانهای نسبتاً کم عمق، دیواره هایی از صفحات فلزی، آسفالت، بتن و گل رس همراه با ماسه می تواند انجام این عمل را امکان پذیر سازد. برای جلوگیری از حفاری تمام طول مورد نظر می توان غشاء نفوذ ناپذیری را از طریق قیرامولسیون شده، ساروج، سیمان، دوغاب بنتونیت، ژل سیلتی و اکریلات کلسیم را در چاههای کم عمق واقع بر روی یک خط پدید آورد. علاوه بر موارد فوق در بعضی از شرایط می توان از طریق تزریق هوا نیز از پیشروی آب شور جلوگیری نمود. مسلماً استفاده از هریک از موارد فوق بستگی به شرایط منطقه و ساختار زمین شناسی سفره آب زیرزمینی دارد.

مناسبترین محل برای ساختمان سد زیرزمینی، دره های باریک و کم عمق واریزه ای می باشد که به آبخوان بزرگتری متصل می شوند. اگر چه هزینه اولیه احداث سد زیرزمینی قابل توجه است ولی هزینه نگهداری آن ناچیز می باشد. علاوه بر آن در این روش می توان از ظرفیت ذخیره آبخوان نیز بطور کامل استفاده نمود.

از میان روشهایی که نام برده شد روشهایی از قبیل لاوک پمپاژ و تیغه فشار و... نمی توانند مسئله اصلی نفوذپذیری آب دریا، یعنی آب برداری بیش از حدرا کنترل نمایند. تنها وقتی که بتوان آب برداری را متعادل کرد مسئله حل شده است که برای این حالت سدهای زیرزمینی بهترین حالت می باشند.

## نتیجه گیری و توصیه ها :

بر پایه یافته های این پژوهش، می توان نتیجه گیری کرد که با ترکیب مناسبی از چاههای بهره برداری- تزریق که بخوبی مکان یابی شده و با آهنگ ازپیش تعیین شده ای که در آنها جریان (تخلیه و/ یا تزریق) برقرار شود ، می توان به نوعی تعادل در بین آبهای شور و شیرین دست یافته و از این طریق اهداف توسعه پایدار را ارضاء کرد. این مفهوم مهندسی لزوم بکارگیری فناوری های محاسباتی جدید در ساماندهی به مشکلات و چالش های پیش روی صنعت آب را یادآور می شود.

از آنجا که پارامترهای هیدرودینامیکی و ژئوتکنیکی آبخوانهای ساحلی و کویری با یکدیگر تفاوت های بارز دارند، لذا پیشنهاد می شود با بوجود آوردن یک بانک اطلاعاتی یکپارچه برای ساماندهی به داده ای میدانی گسترده و پراکنده ای که در مورد این نوع آبخوانها وجود دارد ، پژوهشگران علاقه مند به بررسی و ارائه راهکارهای بهینه موردی برای هر آبخوان مفروضی را یاری کنند.

## منابع

- 1- سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور. 1383. "راهنمای بررسی پیشروی آبهای شور در آبخوانهای ساحلی و روشهای کنترل" نشریه شماره 277.
  - 2- نادری، م، ح ، فلکی، ق. 1389. ارزیابی مقایسه ای روشهای جلوگیری از هجوم آب شور به آبخوانهای ساحلی / کویری. نخستین کنفرانس پژوهشهای کاربردی منابع آب ایران. شرکت مدیریت منابع آب ایران. کرمانشاه
- 3-D.K.Todd . 1997. "Grond water hydrology." John willey& son,New York
- 4-Bear,J .1979 . Hydraulics of ground water. McGraw- Hill Book Co.,New York