

## سدهای زیرزمینی و تاثیر آن بر ذخیره آب آبخوان ها

نجمه رضازاده

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران [n.r.civil@yahoo.com](mailto:n.r.civil@yahoo.com)

فاطمه ترابی کچوسنگی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران [fatemeh.torabi@gmail.com](mailto:fatemeh.torabi@gmail.com)

اکبر باغوند

استادیار دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران [Baghvand@ut.ac.ir](mailto:Baghvand@ut.ac.ir)

### چکیده

سدهای زیرزمینی اساساً یک رویکرد بسیار مفید برای افزایش ذخیره آب موجود در آبخوان ها محسوب می شوند. همچنین این سدها می توانند در کنترل سطح آبهای زیرزمینی مفید واقع شوند. برای مثال ساخت یک سد زیرزمینی در یک آبخوان ساحلی باعث می شود تغذیه آبی که به سمت دریاجاری می شود کاهش یافته و در عوض باعث افزایش ذخیره آبی آبخوان شود. در این مقاله سعی شده است توضیحاتی راجع به سدهای زیرزمینی، انواع و فواید آنها آورده شود و سپس دو مثال موردی تحت آنالیز قرار گیرد. در مثال اول یک آبخوان فرضی بررسی شده و در مثال دوم یک آبخوان واقعی همراه با اطلاعات منطقی مورد توجه قرار گرفته است و شبیه سازی عددی برای شناخت تاثیر سد روی رفتار آبهای زیرزمینی به کار گرفته شده است. هر دو مثال موثر یا عدم موثر بودن سدهای زیرزمینی را به عنوان یک ابزار قابل توسعه برای ذخیره آب تشریح می کند.

**واژه های کلیدی:** سدهای زیرزمینی، سطح آب زیرزمینی، شبیه سازی عددی، آبخوان ساحلی

### مقدمه

با توسعه همه جانبه آبهای سطحی و پیشرفت و ارتقاء سد سازی، مشخص شد آبهای سطحی به تنهایی پاسخگوی نیاز آبی جوامع نیست بنابراین استفاده از آبهای زیرزمینی مورد توجه قرار گرفت. گذشته از این در مناطق خشک، جایی که منابع آبهای سطحی بسیار کمیابند یا حتی وجود ندارند، آبهای زیرزمینی تنها منابع موجود می باشند. استفاده و توسعه آبهای زیرزمینی نیاز به روشی دارد که برای یک زمان نامحدود ادامه داشته باشد بدون آنکه باعث پیآمدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی غیر قابل قبول شود (Alley et al. 1999). در دهه جاری توانایی منابع آب یکی از دغدغه ها و نگرانی های کشور هاست و حرکت به سمت استفاده از آبهای زیرزمینی اجتناب نا پذیر است.

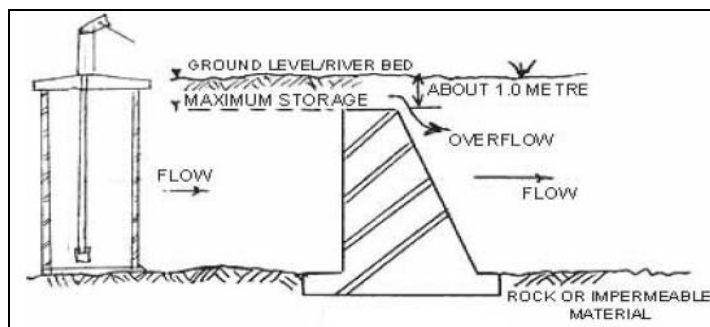
کنفرانس Rio در سال 1992 به منظور تولید منابع آب بیشتر، اجرا و پیاده سازی سدهای زیر سطحی را به عنوان اولین هدف در دستور جلسه شماره 21 خود قرار داد. سدهای مذکور برای استفاده به عنوان ذخایر آب با مقیاس کوچک در مناطق خشک و نیمه خشک مناسب هستند. این سدها برای آبیاری محصولات کشاورزی، بالا آوردن تراز آب زیرزمینی و کاهش میزان تبخیر استفاده می شوند (Beaumont and Kluger, 1973). سدهای آب زیرزمینی ممکن است روشی مفید برای مقابله با بیابان زدایی نیز باشد.

## مروری بر سدهای زیرزمینی

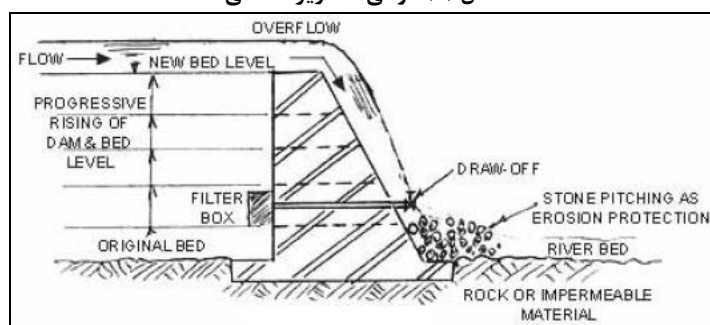
یک سد زیرزمینی سازه ای است که مانع جریان های طبیعی آبهای زیرزمینی می شود و آب را زیر لایه های سطحی خاک ذخیره می کند. به طور اساسی دو نوع سد زیرزمینی وجود دارد:

- (a) سدهای زیرسطحی
- (b) سدهای ذخیره شنی

یک سد زیر سطحی زیر تراز زمین ساخته می شود و مانع ورود آب به سفره طبیعی می گردد در حالی که یک سد ذخیره شنی آب را در رسوبات نگه می دارد و باعث جمع شدن خودبخودی آب در آن مکان می شود (Hanson and Nilsson, 1986). مقطع عرضی یک سد زیر سطحی و یک سد ذخیره شنی به ترتیب در شکل 1 و 2 نشان داده شده است.



شکل (1): نوعی سد زیر سطحی

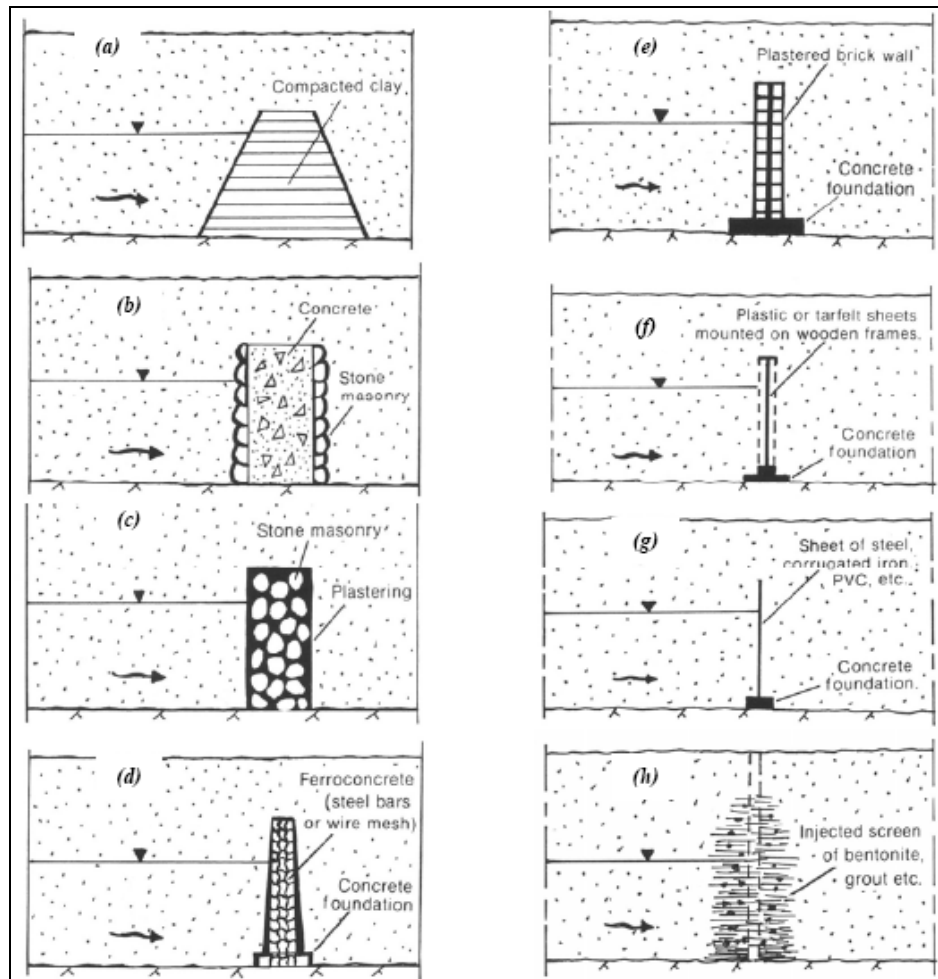


شکل (2): نوعی سد ذخیره شنی

## سد زیر سطحی

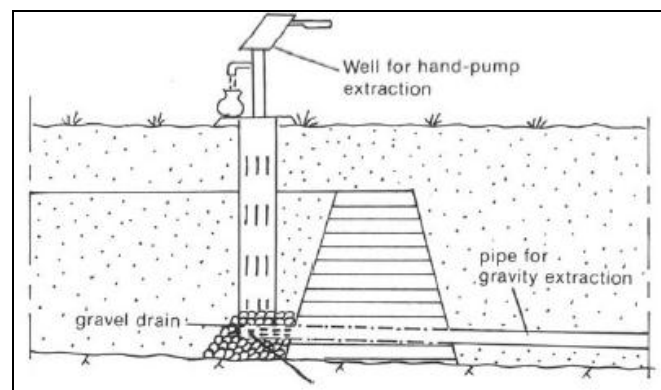
اساس ساخت سد زیر سطحی بسیار ساده است: ترانشه ای از این سوی دره به آن سوی آن است که از پایین به سنگ بستر یا لایه نفوذ ناپذیر می رسد. در ترانشه یک دیوار نفوذ ناپذیر یا سد ساخته می شود و دوباره با مواد حفاری پر می شود. بدین ترتیب یک مخزن زیرسطحی ایجاد می شود که در فصل مرطوب آب را نگه می دارد و می تواند به عنوان یک منبع آب در فصول خشک سال استفاده می شود. مواد مختلفی برای ساخت سدها استفاده می شود تا لایه ای نفوذناپذیر ایجاد شود مثل رس، بتن، دیوار سنگی، بتن مسلح، آجر، پلاستیک، نمد قیر اندود، ورقه های فولادی و PVC (Nilsson, 1988).

نفوذ ناپذیری همچنین می تواند به وسیله صفحه تزریق شده به دست می آید. انتخاب اینکه کدام روش مناسب است به فاکتورهایی مثل شرایط هیدرولوژی محلی، وجود و قیمت مصالح، سهولت ساخت سد، نیاز به نیروی انسانی چیره دست و ... بستگی دارد. در شکل 3 بعضی از انواع سدهای زیر سطحی نشان داده شده است. متوسط ارتفاع سدهای زیرسطحی به طور کلی بین 2 تا 6 متر متفاوت است (Nilsson 1988). به هر حال تزریق صفحه می تواند تا 10 متر یا بیشتر ادامه یابد که این روش در Cesme در Izmir ترکیه برای جلوگیری از نفوذ آب دریا به منابع آب شیرین انجام شده است. (Sargin, 2003 and Kocabas, 2003).



شکل (3): انواع سد زیر سطحی (a) خاکریز رسی ، (b) سد بتنی ، (c) سد دیوار سنگی ، (d) سد بتن مسلح ، (e) دیوار آجری گچ اندود ، (f) ورقه های نمدی قیر اندود یا پلاستیکی ، (g) PVC و (h) صفحات تزریق شده (Nilsson and Hanson 1986)

انتهای بالایی سد زیرزمینی معمولا در عمقی زیر سطح نگه داشته می شود تا از ایجاد مانع برای عبور آب در روی سطح زمین اجتناب شود. آب به کمک چاه که می تواند در مخزن جاگذاری شود و اگر شرایط توپوگرافی اجازه دهد با کمک لوله های آب ثقلی استخراج می شود (شکل 4).

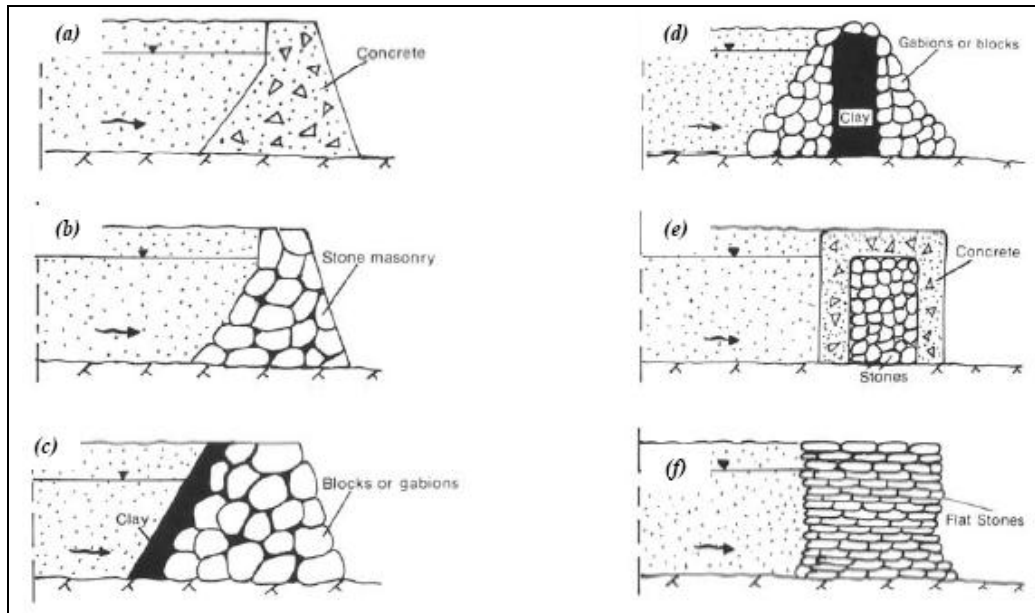


شکل (4): پیشنهادات استخراج آب از یک سد زیر سطحی

با استفاده از استخراج ثقلی از مشکلاتی نظیر نصب پمپ ، اجرا و نگهداری و پشتیبانی تجهیزات اجتناب می شود (Nilsson, 1988). سد های زیر سطحی به طور کلی در انتهای فصل خشک وقتی که مینیمم آب در آبخوان است ساخته می شوند. در طی کار نیز باید مکان از آب خالی شود و زهکشی انجام شود.

## سدهای ذخیره شنی

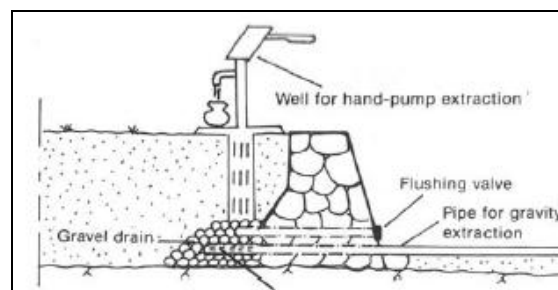
اصول کلی یک سد ذخیره شنی به شرح زیر است: یک خاکریز با اندازه مناسب در بستر رودخانه در جهت عرضی ساخته می شود، شن های حمل شده بوسیله جریانات سنگین طی باران ها در محل خاکریز دپو می شوند و مخزن از شن پر می شود. این آبخوان مصنوعی هر سال طی فصول بارانی پر می شود و آب ذخیره شده در فصول خشک استفاده می شود. (Wipplinger 1958). انواع سدهای ذخیره شنی شامل بتن، دیوار سنگی، گابیون با پوشش رسی، گابیون با هسته رسی، بتن سنگی و ... است. بعضی از سدهای ذخیره شنی مذکور در شکل 5 نمایش داده شده اند.



شکل (5): انواع سد ذخیره شنی (a) سد ذخیره شنی بتنی، (b) سد ذخیره شنی سنگی، (c) سد ذخیره شنی گابیونی با پوشش بتنی، (d)

سد ذخیره شنی گابیونی با هسته رسی، (e) سد ذخیره شنی بتنی سنگی و (f) سد ذخیره شنی سنگی (Nilsson 1988)

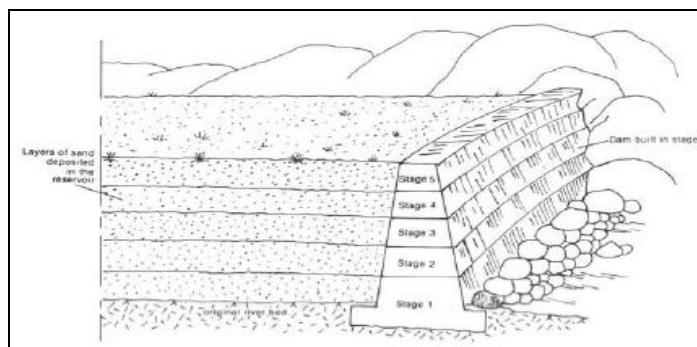
سد ذخیره شنی باید با اندازه کافی بزرگ باشد تا در برابر فشار جریان آب رودخانه ایستادگی کند و به طور صحیح و محکم و مقاوم ساخته شود. یک سد ذخیره شنی باید به خوبی در مقابل فرسایش در طول و در پای سد محافظت شود. ارتفاع یک سد ذخیره شنی 1 تا 4 متر است. آب به طور کلی به وسیله نصب یک زهکش در انتهای مخزن در طول جهت بالادست سد استخراج می شود و زهکش به یک چاه یا یک لوله ذخیره ثقلی در سراسر دیواره سد مرتبط می شود. سدهای ذخیره شنی برای استخراج ثقلی از سدهای زیر سطحی مناسب ترند (شکل 6).



شکل (6): پیشنهادات استخراج آب از یک سد ذخیره شنی (Nilsson and Hanson 1986)

طراحی سد ذخیره شنی با توجه به دو بخش انجام می شود. بخش اول با محاسبه اندازه کلی لازم برای ذخیره مقدار آب مورد نظر صورت می گیرد. این کار نیاز به محاسبه ظرفیت سد و بازدهی رسوبات متفاوت دارد. دومین بخش از طراحی به شکل

دپو شدن رسوبات می پردازد. یک سد ذخیره شنی طی مراحل که در شکل 7 نشان داده شده است ساخته می شود. بازدهی سد و ارزش هر کدام از روش های ساخت توسط Burger در سال 1970 بررسی شده است.



شکل (7): اصول سازه ای سد ذخیره شنی

## تحلیل با مدل سازی عددی

اساس ساخت سدهای زیر زمینی ساحلی ، توسعه آب زیرزمینی است زیرا با ذخیره آب در آبخوانی که آب آن بدون استفاده اقتصادی به دریا تخلیه می شود ، یک راه حل قابل توجه برای مشکلات کمبود آب ایجاد می شود. همچنین ساخت این سدها از نفوذ نمک به آب داخل آبخوان جلوگیری می کند. مناسب بودن یک سد زیرزمینی به شرایط مناسب محل سد و خصوصیات آبخوان ، شرایط هیدرولیکی و زمینه ژئولوژیکی محل بستگی دارد.

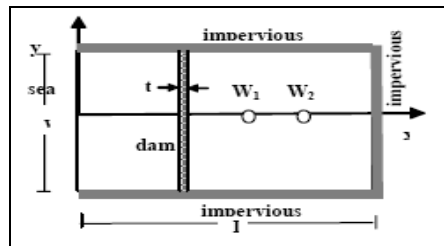
اطلاعات ژئولوژیکی از ابتدا همراه با تحلیل مدل برای تخمین ذخیره آب زیرزمینی و بازدهی آبخوان مورد نیاز است. در شروع فرآیند مدل سازی ، داده های مورد نیاز اغلب برای تحلیل عددی کیفی و کمی کافی نیست. بنابراین مدل سازی مرحله به مرحله که از ابتدا از یک مدل ساده با داده های موجود استفاده می کند انجام می شود و وقتی داده های اضافه بدست آمد به نسخه های بعدی مدل پیچیدگی های لازم اعمال می شود. برای تحلیل عددی ، از مدل MODFLOW استفاده می شود. MODFLOW یک مدل جریان آب زیرزمینی سه بعدی است که توانایی شبیه سازی شرایط زود گذر و قابلیت دریافت پهنه وسیعی از مشخصه های هیدرولوژی سیستم را دارد.

این مدل ، جریان آب زیرزمینی را با استفاده از روش دیفرانسیل جزئی (finite-difference) شبیه سازی می کند به این صورت که حوزه جریان در مدل به بلوک های مستطیلی با شبکه های سه بعدی تقسیم می شود . مدل به وسیله ردیف ها ، ستونها و لایه ها سازمان دهی می شود و هر بلوک یک سلول خوانده می شود. خصوصیات هیدرولیکی و ضخامت باید برای هر سلول در سیستم آبهای زیر زمینی تعیین شود. همچنین ویژگی آبهای سطحی با ردیف ها ، ستونها و لایه هایی مشخص می شوند. دستور العمل مدل به طور تکرار شونده برای دهانه ها و جریان ها در حوزه داده شده به مدل تحلیل می شود.

## نتایج شبیه سازی

### مثال 1 : مطالعه موردی فرضی

در این مثال ، یک آبخوان نا محدود مربعی فرضی ایده آل که اندازه ای برابر 4000 متر در 800 متر دارد در یک منطقه ساحلی فرض شده است. پلان آبخوان و موقعیت چاهها و سد زیرزمینی در شکل 8 نشان داده شده است. آبخوان یک لایه دارد و فرض شده است که ایزوتروپیک و همگن با ضریب هدایت هیدرولیکی  $0.02\text{m/s}$  است . عمق آب در نواحی ساحلی 1 متر است.



شکل (8): نمای طرح آبخوان مربعی فرضی با دیوار سد و 2 چاه پمپاژ

یک سیستم شبکه از 8 ردیف و 40 ستون روی شبکه ساخته شده است. استفاده از بسته کامپیوتری MODFLOW، شبیه سازی را برای جریان یکنواخت و غیر یکنواخت اجرا و برای تحلیل تاثیر سد زیر زمینی و محل قرار گیری آن روی محل ذخیره و خصوصیات بازدهی آبخوان، برنامه را run می کند.

### شرایط جریان یکنواخت

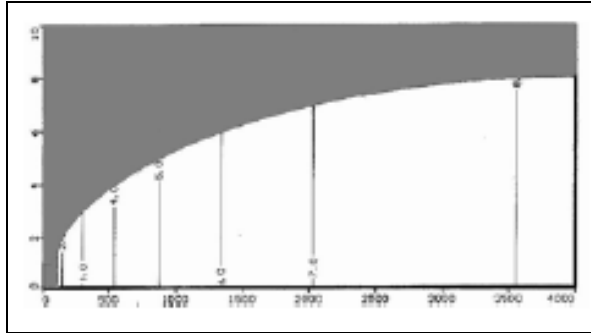
ابتدا یک شبیه سازی تحت شرایط در نظر گرفته شده انجام می شود. سپس چاهها فعال می شوند و بازدهی آبخوان قبل از ساخت سد تعیین می گردد. هدف بعدی شبیه سازی این است که ببینیم چطور ظرفیت ذخیره بعد از ساخت سد افزایش می یابد. در نهایت چطور بازدهی آبخوان با ساخت سدی که در آخرین شبیه سازی مشاهده شده افزایش یافته است. در جدول 1 پارامترهای متفاوت و مقادیر عددی آنها گرد آمده است.

جدول (1): پارامترهای گوناگون مثال 1

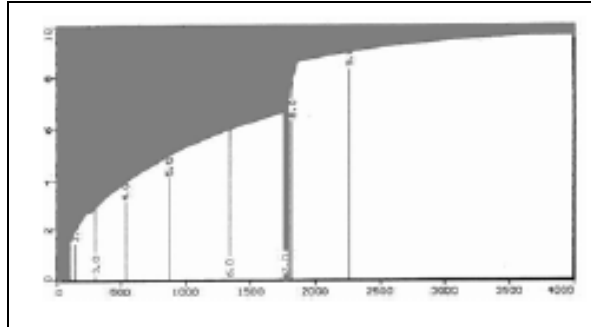
پارامتر	واحد	مقدار عددی
طول آبخوان	m	4000
عرض آبخوان	m	800
ضخامت آبخوان	m	10
ضخامت دیواره سد	m	8
میانگین تراز دریا	$h_{sea}(m)$	1
هدایت هیدرولیکی خاک	$K_s(m/s)$	0.02
هدایت هیدرولیکی سد	$K_w(m/s)$	0.0001
تغذیه	$R(m/day)$	0.007
تخلیه از چاه 1	$Q_1(m^3/day)$	-5000
تخلیه از چاه 2	$Q_2(m^3/day)$	-5000
بازدهی ویژه	$S_y(-)$	0.02
تخلخل موثر	$n_{ef}(-)$	0.02

تغییرات بالا آمدگی ستون آب در طول محور x از نتایج شبیه سازی MODFLOW برای موارد مختلف جدول بالا بدست آمد که در اشکال 11، 10، 9، 13.9، 12 آمده است.

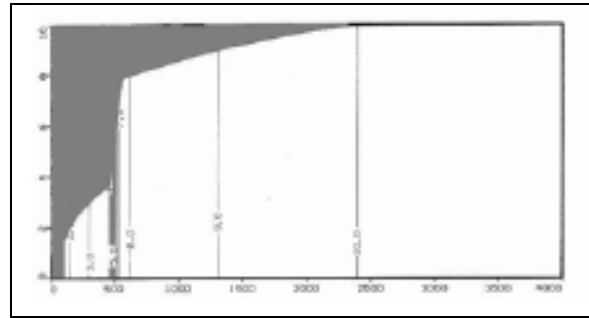
مقایسه شکل 9 و 10 نشان می دهد که چطور ظرفیت ذخیره آبخوان با ساخت سد افزایش می یابد. تغییر ناگهانی در بالا آمدگی ستون آب در مقطع دیواره سد یادداشت می شود. تاثیر محل دیوار سد روی ستون آب و روی ظرفیت ذخیره سد با مقایسه شکل 10 و 11 قابل مشاهده است.



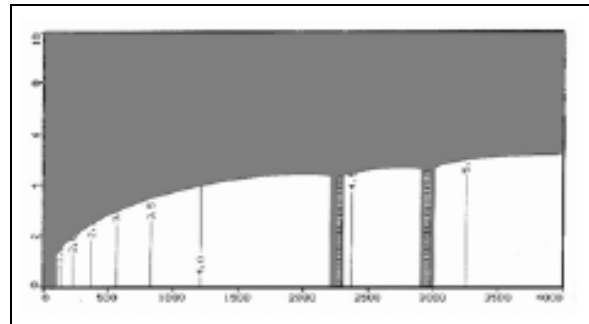
شکل (9): تغییر ستون آب در طول محور x تحت شرایط طبیعی



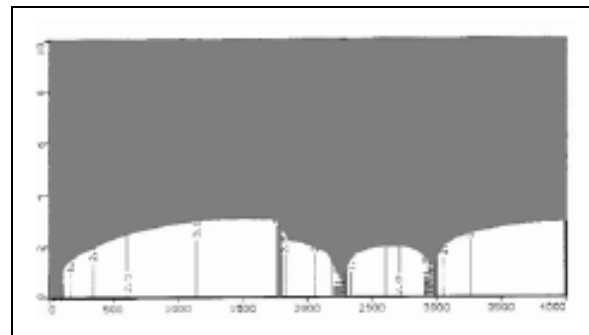
شکل (10): تغییر ستون آب در طول محور x بعد از ساخت سد در  $x=1700m$



شکل (11): تغییر ستون آب در طول محور x بعد از ساخت سد در  $x=500m$



شکل (12): تغییر ستون آب در طول محور x با 2 چاه تخلیه با دبی  $Q_1=Q_2=5000m^3/day$



شکل (13): تغییر ستون آب در طول محور x با ساخت سد و 2 چاه تخلیه با دبی  $Q_1=Q_2=5000m^3/day$

اگر ساخت سد به نوار ساحلی نزدیک تر شود، شرایط مرداب (از 2400 تا 4000 متر) رخ می دهد. این وضع گرفتن نتیجه نامطلوب از آبخوان است. حداکثر دبی پمپ با شبیه سازی های تکرار شده توسط فرآیند آزمون سعی و خطا  $5000 \text{ m}^3/\text{day}$  بدون سد و  $7005 \text{ m}^3/\text{day}$  برای سد تعیین شده است. شرایط متقابل ستون آب به منظور مقایسه در شکل 12 و 13 نشان داده شد است.

### شرایط جریان غیر یکنواخت

شبیه سازی های غیر یکنواخت جریان آب زیرزمینی در امور مدیریتی آبخوان ها بحث های مهمی هستند. موارد نشان داده شده در شکل 10 ( هنگامی که آبخوان کاملا پر است) و در شکل 13 ( هنگامی که آبخوان خالی است) دو وضعیت جریان یکنواخت را فراهم آورده است.

در انتهای یک دوره آبیاری وقتی که آبخوان کاملا خالی است این سوال مطرح است که چند روز طول می کشد تا آبخوان به شرایطی کاملا پر در شروع آبیاری بعدی برسد؟ نتایج شبیه سازی MODFLOW برای جریان غیر یکنواخت نشان می دهد که در 110 روز مخزن سد زیرزمینی پر می شود و تغییر افزایش در ارتفاع آب آبخوان به طور جزئی انجام می گیرد و شرایط جریان یکنواخت به دست می آید.

سوالی مشابه مطرح می شود که چند روز طول می کشد تا آبخوان با یک دبی پمپاژ  $Q_1=Q_2=7005 \text{ m}^3/\text{day}$  کاملا خالی شود. شبیه سازی MODFLOW برای جریان غیر یکنواخت این زمان را تقریباً 200 روز نشان می دهد. ملاحظه می شود یک فصل خشک به زمانی گفته می شود که متوسط دبی تغذیه از  $R=0.007 \text{ m}/\text{day}$  به مقدار  $R=0.003 \text{ m}/\text{day}$  افت می کند. فرض می شود که دبی پمپاژ به همان مقدار  $Q_1=Q_2=7005 \text{ m}^3/\text{day}$  ثابت نگه داشته شود و تقاضای فصل آبیاری 90 روز پمپاژ باشد شبیه سازی MODFLOW نشان می دهد بعد از یک دوره 20 روزه، چاهها با دبی تخلیه  $Q_1=Q_2=7005 \text{ m}^3/\text{day}$  خالی می شوند و مقدار تغذیه مخزن به  $R=0.003 \text{ m}/\text{day}$  خواهد رسید.

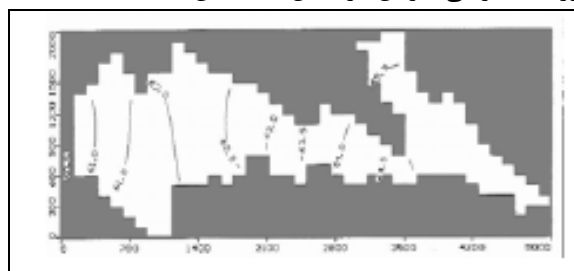
با فرض اینکه در فصل خشک قرار داریم وقتی که متوسط دبی تغذیه  $R=0.003 \text{ m}/\text{day}$  است نیاز به 90 روز پمپاژ برای آبیاری باشد حال این سوال مطرح می شود که چه دبی ای باید از مخزن سد برداشت شود؟ شبیه سازی MODFLOW نشان می دهد دبی استخراج ماکزیمم از چاهها برای 90 روز برابر  $3500 \text{ m}^3/\text{day}$  است.

سوالاتی از این دست اغلب در مدیریت آبهای زیرزمینی مطرح می شود که اصولاً برای آنها به راحتی نمی توان پاسخی یافت. با شبیه سازی به صورت مد غیر یکنواخت در MODFLOW می توان پاسخ این سوالات را یافت. در اجرای شبیه سازی برای تعدادی از پارامترها مانند دبی تغذیه گاهی مقادیر عددی اغراق آمیز برای درک تاثیر آنها روی رفتار آبهای زیرزمینی استفاده می شود. باید توجه کرد که مقادیر واقعی این پارامترها از اندازه گیری های میدانی به دست می آید.

## مثال 2: مطالعه موردی واقعی ( در ترکیه)

### توصیف شرایط مورد مطالعه

منطقه مورد نظر بین  $36^\circ 57'$  و  $37^\circ 00'$  شمال جغرافیایی و بین  $28^\circ 15'$  و  $28^\circ 18'$  شرق جغرافیایی واقع شده است. مساحت آن حدود 25 کیلومتر مربع است. آبخوان می تواند به عنوان یک شکل تک لایه ای فرض شود. از اندازه گیری های میدانی بوسیله DSI(1999) متوسط هدایت هیدرولیکی (K) آبخوان  $4.24 \times 10^{-4} \text{ m}/\text{s}$  تخمین زده شده است و متوسط ضخامت لایه 68 متر است. قلمرو مرزهای تقریبی جریان در شکل 14 نشان داده شده است.



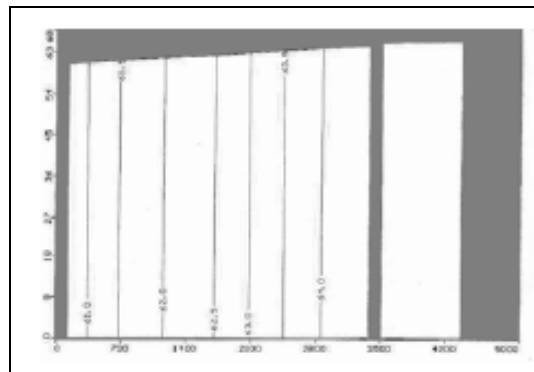


#### شکل (14): نقشه خطوط حد فاصل تحت شرایط طبیعی و بدون سد

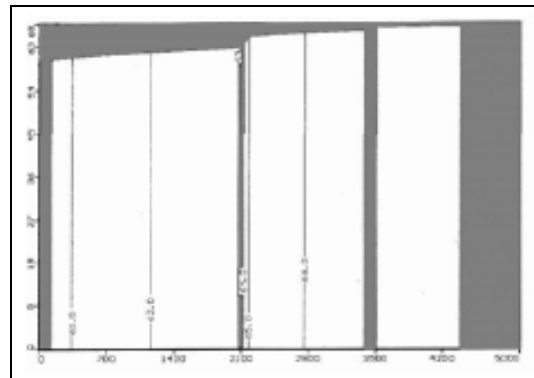
دلیل انتخاب این منطقه این است که DSI مطالعات هیدروژئولوژیکی مقدماتی روی آن انجام داده است و اطلاعات مورد نیاز برای برنامه در اختیار است. نوع سد ساخته شده صفحه تزریق شده است که برای افزایش ظرفیت ذخیره آبخوان و همچنین رفع یا کاهش ورود آب شور به آبخوان ساخته و ارتفاع آن برابر با عمق آبخوان در نظر گرفته شده است. از آنجایی که باز هم داده های مورد نیاز برای شبیه سازی عددی ناکافی بود از یک سری فرضیات تقریبی برای اجرای MODFLOW استفاده شد و مانند مثال قبل هردو شبیه سازی یکنواخت و غیر یکنواخت انجام شده است.

#### شبیه سازی جریان آب زیرزمینی تحت شرایط متفاوت

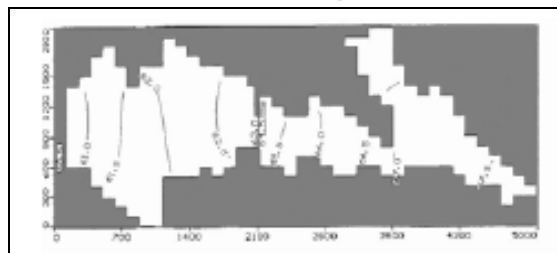
جریان آب زیر زمینی در آبخوان تحت شرایط طبیعی جایی که فقط استخراج از سیستم صورت می گیرد شبیه سازی شده است. خالص دبی تغذیه 25٪ میزان رطوبت متوسط سالانه است. تغییرات ارتفاعی ستون آب در شبیه سازی MODFLOW به عنوان خطوط حد فاصل در نقشه در شکل 14 نشان داده شده است. این تغییرات ی روی سطح مقطع در فاصله طولی در شکل 15 ارائه شده است. در شکل 16 تاثیر یک صفحه تزریق شده روی رفتار آب زیرزمینی گرد آمده است. خطوط حد فاصل ستون آب بعد از ساخت سد در شکل 17 نشان داده شده است. به طور منطقی این تاثیر باید به عملکرد هدایت هیدرولیکی، موقعیت و ارتفاع سد زیرزمینی مربوط باشد. شکل 18 برای موردی که هریک از 2 چاه با یک دبی ثابت  $4302\text{m}^3/\text{day}$  ارتفاع ستون آب را نشان میدهد.



شکل (15): تغییرات ستون آب در طول محور x تحت شرایط طبیعی

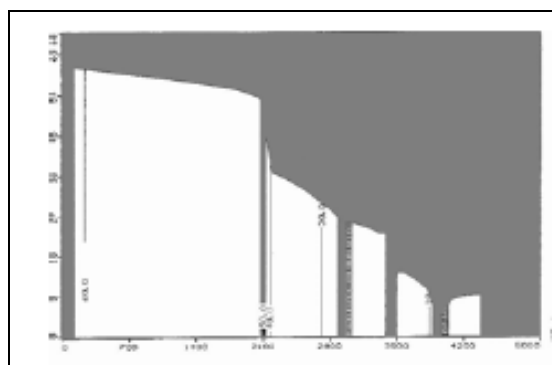


شکل (16): تغییرات ستون آب در طول محور x بعد از ساخت سد



شکل (17): نقشه خطوط حد فاصل تحت شرایط طبیعی بعد از ساخت سد

تغییر ناگهانی در ارتفاع آب زیرزمینی مقطع دیوار سد می تواند به آسانی در شکل 16 و 18 دیده شود. همان طور که در شکل 18 دیده می شود ، شیب هیدرولیکی مقطع دیواره سد به سمت داخل است در نتیجه یک جریان آب شور از دریا به آبخوان وجود دارد بنا براین دبی پمپاژ  $4302\text{m}^3/\text{day}$  نمی تواند به عنوان بازدهی ایمن پذیرفته شود چرا که نتیجه ای نامطلوب ایجاد می کند. دبی پمپاژی برابر با  $1200\text{m}^3/\text{day}$  می تواند به عنوان ماکزیمم دبی ای که نتایج نامطلوبی از قبیل نفوذ آب شور به آبخوان و خشک شدن چاه نمی شود انتخاب گردد. این مقدار با توجه به این معیار به دست می آید که شیب ستون آب روی خط ساحلی دیواره سد باید به سمت دریا باشد. به طور مشهود دبی پمپاژ مذکور می تواند با کاهش هدایت هیدرولیکی  $K_w$  دیوار سد یا با ایجاد دیوار سد نفوذ ناپذیر افزایش یابد. جزئیات بیشتر می تواند در مقاله Yilmaz,2003 یافت شود.



شکل (18): تغییرات ستون آب در طول محور x بعد از ساخت سد و با 2 چاه پمپاژ بادی  $Q_1=Q_2=4302\text{m}^3/\text{day}$

از آنجایی که داده های مورد نیاز کامل نیستند و از بعضی فرضیات استفاده شده است نتایج با مقداری احتیاط در نظر گرفته می شوند. وقتی که داده های اضافه جدید به دست آمد ، اجراهای جدیدی از برنامه می تواند برای ایجاد سیستم های پیچیده تر تولید شود.

جدول (2): پارامترهای مثال 2

پارامتر	واحد	مقدار عددی
طول آبخوان	m	5000
عرض آبخوان	m	2000
ضخامت آبخوان	m	68
ضخامت دیواره سد	m	10
میانگین تراز دریا	$h_{sea}(m)$	60.5
هدایت هیدرولیکی خاک	$K_s(m/s)$	0.000424
هدایت هیدرولیکی سد	$K_w(m/s)$	0.0000025
تغذیه	$R(m/day)$	$8.175 \times 10^{-4}$
تخلیه از چاه 1	$Q_1(m^3/day)$	-900
تخلیه از چاه 2	$Q_2(m^3/day)$	-900
بازدهی ویژه	$S_y(-)$	0.15
تخلخل موثر	$n_{ef}(-)$	0.15

## توضیح نتایج

وقتی منابع آب موجود و درجه سودمندی آنها مورد توجه باشد مشاهده می شود کشور های زیادی جزء کشورهای کم آب محسوب می شوند. شرایط در بسیاری از کشورها شبیه هم هستند. از آنجایی که روند حاضر در جهت افزایش جمعیت بومی و گسترش توریسم است ، تقاضای آب بالاتر از منابع آب موجود می باشد. این امر نشان می دهد که کمبود منابع آب شیرین در آینده نه چندان دور ایجاد خواهد شد. اقدامات متفاوتی مانند اندازه گیری و توسعه پتانسیل های منابع آب و مدیریت تقاضا لازم تا مشکل کمتر شود.

توسعه حوزه آبهای زیرزمینی و مفهوم ذخیره سازی آب در زیر سطح یک راه حل عملی برای مشکل کمبود آب است ، بویژه به دلیل تاثیرات نامطلوب زیست محیطی و اجتماعی نسبتا پایین روش مذکور به نظر می رسد یک پتانسیل فوق العاده باشد. در عین حال از نفوذ آب دریا نیز جلوگیری می کند.

ذخیره آب پشت سدهای زیرزمینی مزایایی نسبت به سدهای سطحی دارد که تعدادی از آنها در زیر به خلاصه آمده است:

- از تبخیر کاسته شده ویا اجتناب می شود.
- مخزن طراحی شده برای زمانی طولانی باقی می ماند.
- این سدها مستعد پذیرش آلودگی و مواد غیر بهداشتی کمتری هستند.
- زمین بالای آب ذخیره شده می تواند برای اهداف دیگری استفاده شود.
- ساخت این سدها نیاز به هزینه کمی دارد.

## منابع

1. قلی زاده، م.، 1388، بررسی آلودگی نیترات و فسفات آبخوان منطقه چابکسر و تهیه مدل ریاضی MODFLOW، پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی عمران-محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، 95ص.
2. نون کرسیک، 1381، مدل سازی آبهای زیرزمینی وحل مسایل هیدروژئولوژی، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز
3. Alley, W.M., Reily, T.E. , and Franke, O. L. 1999, Sustainability of Ground-Water Resources, U. S. Geological Survey Circular 1186, Denver, Colorado.
4. Akdeniz, U., 2003, 'Personal Communication'. DSI Geotechnical Services and Groundwater Department, Ankara
5. Beaumont, R. D., Kluger J. W. , 1973, 'Sedimentation in reservoirs as a means of water conservation' IAHR Congress, Istanbul, 3-7 Sep. 1973, pp. A28-1-A28-6(211-216).
6. Burger, S.W. , Beaumont, R.D. , 1970, 'Sand storage dams for water conservation.' Convention: Water for the future. Water Year 1970. Republic of South Africa, 9pp.
7. Hanson, G., Nilsson, A. , 1986, 'Ground-Water Dams for Rural-Water Supplies in Developing Countries'. Ground Water, Vol. 24, No. 4 , July-August 1986, pp. 497-506.
8. Kokabas, I., 2003, 'Personal Communication'. DSI Geotechnical Services and Groundwater Department, Ankara.
9. McDonald, M. G. , and A. W. Harbaugh, 1988. ' MODFLOW-A Modular Three Dimensional Finite-Difference Groundwater Flow Model'. USDI, U.S. Geological Survey, National Center, Reston, Virginia.
10. Nilsson, A., 1988, Groundwater dams for small-scale water supply. IT Publications, London.
11. Prinz, D. and Singh, A. 2000. Technological Potential for Improvements of Water Harvest, World Commission on Dams, Cape Town.
12. Sargin, A. H., 2003, 'Personal Communication'. DSI Geotechnical Services and Groundwater Department, Ankara.
13. Tsumuro, T., 1998, Applying Environment Related Technology: Environmental Measures in the Construction Industry, Business Leaders' Inter-Form for Environment 21, Japan.
14. Wateraid, [http://www.wateraid.org.uk/site/in\\_depth/technology\\_notes/302.asp](http://www.wateraid.org.uk/site/in_depth/technology_notes/302.asp)
15. Yilmaz, M., 2003, ' Control of Groundwater by Underground Dams' , M.S. Thesis, Dept. of Civil Eng., METU, Ankara.
16. Onder, H. and Yilmaz, M. , 2005, ' A Tool of Sustainable Development and Management of Groundwater Resources' , European Water 11/12:35-45