مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران
بهار و تابستان ۱۳۹۳، جلد هفتم، شماره ۱ و۲، صفحه ۲۹ تا ۴۰

# بررسی ژئوشیمی سازندهای مخزن سد گتوند علیا و تأثیر آنها بر کیفیت آب سد

بهناز دهرآزما [۱*]، ناصر حافظی مقدس [۲]، مائده حسنوند [۳]، رامین کرمی [٤]

دریافت مقاله: ۹۰/۰۹/۰۸ پذیرش مقاله: ۹۲/۰۳/۰۱

## چکیده

سد گتوند علیا بر روی رودخانه کارون در ۲۵ کیلومتری شمال شهر شوشتر در استان خوزستان واقع شده است. هدف از این تحقیق بررسی میزان تأثیرگذاری سازندهای رخنمون یافته در مخزن سد گتوند بر کیفیت آب سد در سه تراز ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ متری بعد از آبگیری می‌باشد. نتایج نشان داد که سازندهای گچساران و میشان در هر سه تراز بالاترین مقادیر آنیون‌ها و کاتیون‌ها را در آب آزاد می‌کنند. با توجه به تأثیرگذاری سازند گچساران در تراز ۱۵۰ و ۲۰۰ متر پس از آبگیری سد، EC آب مخزن سد به ترتیب ۳٦٦۳۲ و ۲۸۸۷۲ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و جزء آب‌های با شوری بسیار بالا برآورد گردید. همچنین نتایج نشان از کاهش EC به میزان قابل توجه درآب مخزن سد در تراز ۲۵۰ متری دارد و آب مخزن سد در این تراز در رده آب‌های با شوری بالا رده‌بندی می‌گردد. در مورد سازند میشان، رده‌بندی آب در سه تراز، مشابه سازند گچساران بوده با این تفاوت که EC در تراز ۲۰۰ متری بیش از دو تراز دیگر است.

**کلید واژه‌ها:** *کیفیت آب، فلزات سنگین، سازند گچساران، سازند میشان، سد گتوند*

۱. استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود behnaz_dahrazma@shahroodut.ac.ir
۲. استاد، زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳. دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود
٤. مربی دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
* مسئول مکاتبات

Archive of SID
www.SID.ir

**۱. مقدمه**

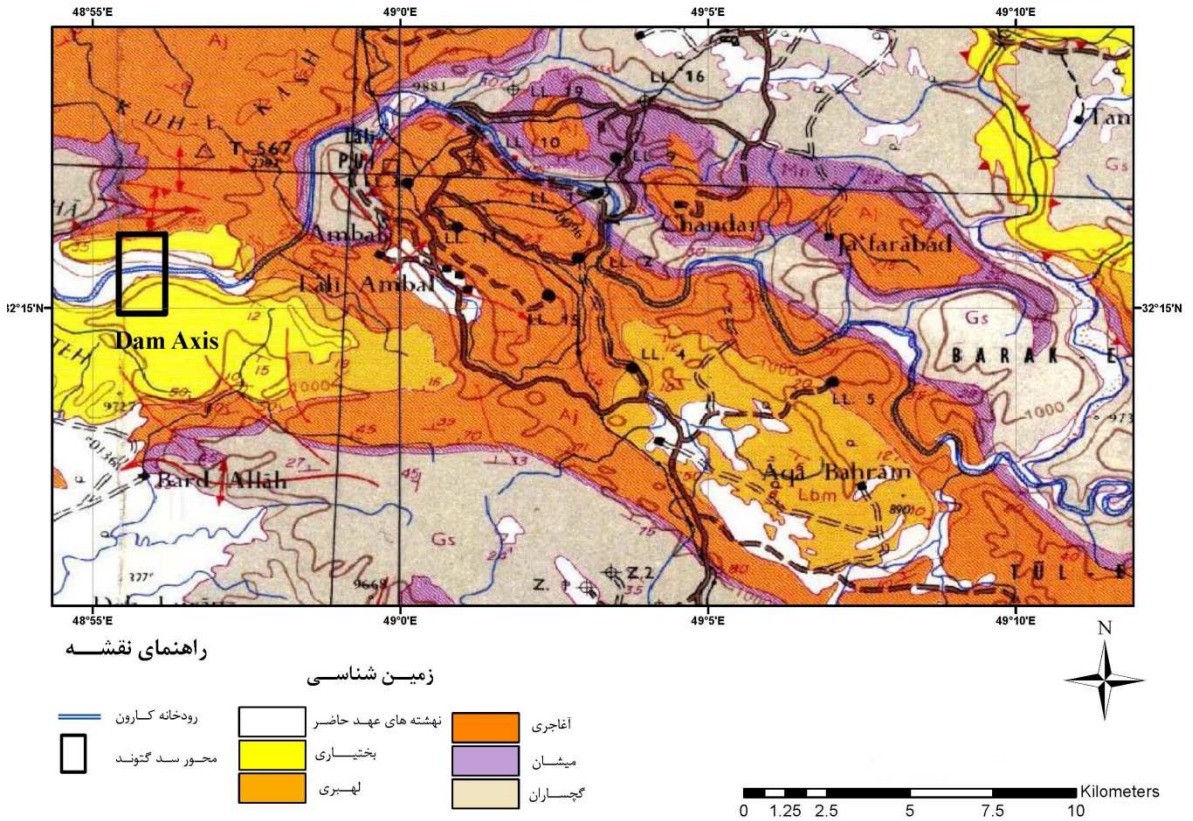
یکی از مسائلی که امروزه آب مخازن سدها و رودخانه‌ها با آن روبرو هستند، شوری و کاهش کیفیت آب می‌باشد (Nielsen et al., 2003). شوری بر دو نوع تقسیم می‌شود: نوع اول شوری مربوط به طبیعت، بافت خاک، شرایط سازند زمین‌شناسی در دوران‌های مختلف، چین‌خوردگی‌ها و اثرات نیروهای تکتونیکی است که به شوری اولیه اطلاق می‌شود. نوع دوم مربوط به شوری حاصل از فعالیت‌های انسانی از جمله شوری حاصل از آبیاری و یا شوری حاصل از شستشوی خاک می‌باشد که آن را شوری ثانویه می‌گویند (Ghassemi et al.,1995). شوری نسبت بین کاتیون‌ها و آنیون‌ها را در آب تغییر داده و سبب بر هم خوردن موازنه‌های شیمیایی و انحلال‌پذیری کانی‌ها می‌گردد. تغییر نسبت بین کاتیون و آنیون‌ها، چگونگی عملکرد موجودات آبزی را تغییر می‌دهد، لذا از نسبت $Na^+ + K^+/Mg^+ + Ca^+$ یک فاکتور مهم در ارزیابی آلودگی آب محسوب می‌شود (Balay, 1969). از دیگر عوامل آلوده‌کننده آب سدها و رودخانه‌ها فلزات سنگین می‌باشند که می‌توانند منشاءهای مختلف زمین‌شناسی و بشرزاد داشته باشند. به طور معمول بیش از ۹۹ درصد از فلزات سنگین موجود در رودخانه‌ها به شکل‌های مختلف در رسوبات رودخانه وجود دارند و با تغییر در شرایط فیزیکی- شیمیایی آب، وارد چرخه آب و زندگی ارگانیسم‌ها می‌شوند. بنابراین رسوبات در تثبیت و انتقال فلزات سنگین نقش عمده‌ای دارند. فلزات به صورت جذب سطحی توسط رسوبات، حضور در شبکه کانی‌های کربناته، سولفات‌ها، اکسیدها، تشکیل کمپلکس با ترکیبات آلی و یا حضور در شبکه سیلیکات‌ها در رسوبات حاضر می‌باشند. معمولاً با کاهش pH در رسوبات، رقابت بین $H^+$ و فلزات محلول برای تشکیل کمپلکس‌های حاوی $OH^-$, $Cl^-$, $SO_4^{2-}$, $CO_3^{2-}$ $S^{2-}$ قابل توجه خواهد بود. این فرایند باعث کاهش جذب سطحی و افزایش تحرک پذیری آنها خواهد شد (Feng Peng et al., 2009). هدف از تحقیق حاضر بررسی تأثیر سازندهای مخزن سد، به طور خاص سازندهای گچساران و میشان بر غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها، فلزات سنگین و به طور کلی بر کیفیت آب مخزن سد پس از آبگیری می‌باشد.

**۲. منطقه مورد مطالعه**

سد و نیروگاه گتوند علیا در ۲۵ کیلومتری شمال شهر شوشتر و نزدیکی شهر گتوند در استان خوزستان بر روی رودخانه کارون ساخته شده است. سد گتوند علیا دومین سد بلند خاکی ایران است و از نظر تراز ارتفاعی نیز آخرین سد احداث شده بر روی رودخانه کارون است که قبل از ورود رودخانه به دشت خوزستان احداث شده است. از مهمترین اهداف ساخت این سد، ذخیره‌سازی آب رودخانه کارون برای شرب، تولید سالیانه ٤٥٠٠ کیلووات برق، تنظیم آب کشاورزی دشت خوزستان و مهار سیلاب‌های مخرب منطقه می‌باشد. از نظر زمین‌شناسی ساختگاه و نیروگاه سد گتوند علیا در محدوده زمین‌ساختی زاگرس قرار دارد. سازندهای این محدوده مربوط به گروه فارس، متشکل از ماسه‌سنگ، مارن، آهک و رسوبات تبخیری در دوره نئوژن می‌باشند. سازندهای اصلی گروه فارس که در منطقه مورد مطالعه نیز برونزد دارند شامل سازندهای گچساران، میشان، آغاجاری، بختیاری و نهشته‌های عهد حاضر هستند (شکل۱). سنگ‌شناسی کلی سازند گچساران در خوزستان شامل انیدریت، مارن‌های رنگارنگ و به طور محدود نمک، شیل و یا لنزهای کنگلومرایی است. سن این سازند میوسن آغازین می‌باشد. سازند میشان به صورت همساز بر روی سازند زیرین خود یعنی سازند گچساران قرار می‌گیرد. سنگ‌شناسی این سازند شامل مارن‌های خاکستری، آهک‌های رسی مملو از پوسته و صدف سنگواره‌ها است. حد بالایی این سازند با سازند آغاجاری همساز و تدریجی است. سازندهای بختیاری و آغاجاری به عنوان سنگ بستر محدوده مورد مطالعه قرار می‌گیرند. پی و نیروگاه سد گتوند علیا روی سازند آغاجاری قرار گرفته است. لیتولوژی کلی سازند آغاجاری شامل تناوبی از لایه‌های ضخیم ماسه سنگ خاکستری رنگ تا قهوه‌ای، رگه‌های گچ و مارن‌های قرمز، لای سنگ و گلسنگ می‌باشد. ضخامت سازند بختیاری در موقعیت ذکر شده ۵۵۰

Archive of SID
www.SID.ir

متر است که البته در سایر نقاط متغیر است. این سازند مجموعه‌ای است از کنگلومرای آهکی و چرت‌دار که به طور متناوب میان لایه‌های ماسه سنگی و گلسنگی قرار داشته و به حالت دگرشیب روی سازند آغاجاری قرار می‌گیرد و بیشترین رخنمون آن در محل محور سد است (شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، ۱۳۸۷).




**شکل ۱.** نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ شرکت مناطق نفت‌خیز جنوب ایران از محدودی سد گتوند علیا(۱۳۸۸)

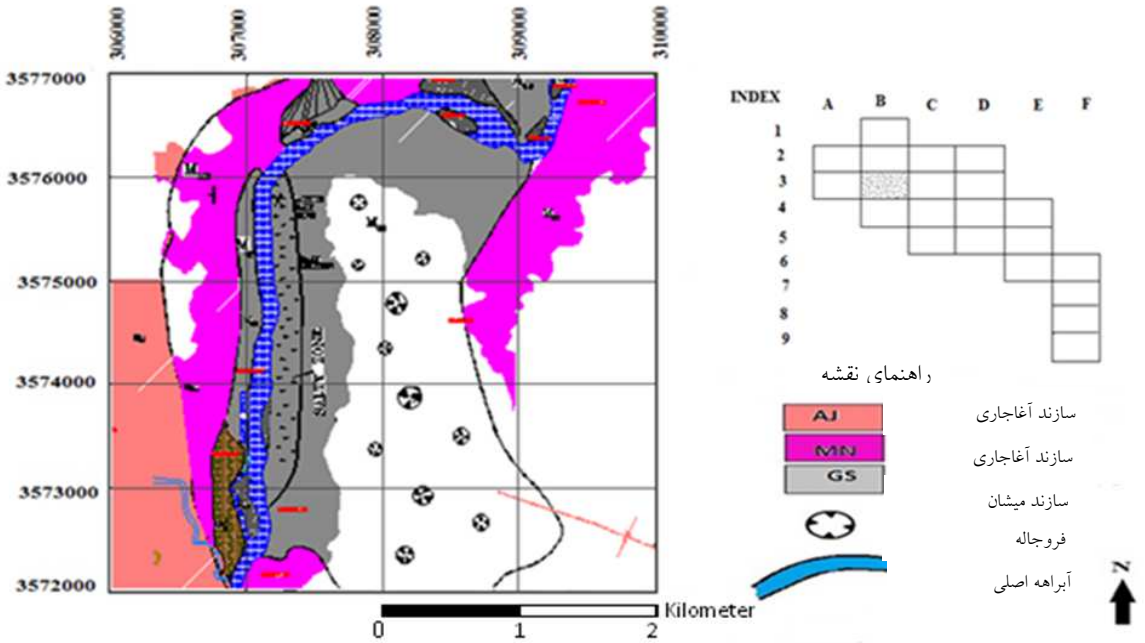
سازند گچساران بخشی از رخنمون‌های محدوده مخزن سد و حاشیه مجاور آن را تشکیل می‌دهد. در فاصله ۳/۵ تا ۷ کیلومتری بالادست محل سد، رخنمون‌های یاد شده دارای لایه‌های نسبتاً ضخیم نمک بوده (گنبد نمکی) و دو معدن فعال در حال استخراج نمک در منطقه وجود دارد (شکل۳). همین طور بخشی از ساحل چپ مخزن، حدود چند کیلومتری بالادست محل سد، از سازند گچساران پوشیده شده است که دارای واحدهای رسوبی ژیپس و نمک است (داموغ و زارعی ۱۳۸۷). متأسفانه در مطالعات مکان‌یابی این سد توجه کافی به این مساله نشده است.

**۳. تاریخچه مطالعات کیفی آب در محدوده‌ی مورد مطالعه**

در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در خصوص کیفیت آب کارون در محدوده‌ی مطالعاتی (سد تنظیمی گتوند تا شوشتر) صورت گرفته است (مظفری‌زاده و چیت‌سازان ۱۳۸۵، حسنیان و همکاران ۱۳۸۵). سازندهای موجود در مسیر رودخانه کارون، در منطقه مورد مطالعه عبارت از سازندهای گچساران، میشان، آغاجاری، بخش لهبری و بختیاری می‌باشند. بیش از ۵۰ درصد طول رودخانه کارون در این محدوده در بستری از سازند گچساران در حال حرکت می‌باشد و آب رودخانه در تماس مستقیم و دائمی با آن می‌باشد (مظفری‌زاده و چیت‌سازان، ۱۳۸۵؛ حسنوند و همکاران، ۱۳۸۹). مطالعات

www.SID.ir

مزبور و سایر بررسی‌ها نشان می‌دهد که سازندهای زمین‌شناسی بخصوص سازند گچساران و کانی‌های ژیپس و هالیت‌دار اثر زیادی در آلودگی طبیعی این رودخانه در بازه مورد نظر دارد(Sayadi et al., 2009). زارعی و آخوندعلی (۱۳۸۵) بیان داشتند که بهترین کیفیت (کمترین شوری) آب رودخانه کارون در محل سد گتوند مربوط به فصل بهار می‌باشد و بدترین کیفیت آب منطقه مربوط به فصول پاییز و زمستان است که علت آن افزایش شدت فرسایش و ورود املاح به رودخانه همراه با بارندگی‌های شدید می‌باشد. اضافه شدن شاخه‌های نسبتاً شور و پر آب مرغاب، شوراندیکا، شورلالی، شوردشت بزرگ، شور بتوند و بهلول بتوند به رودخانه کارون سبب کاهش کیفیت آب این رودخانه در پایین‌دست خواهد شد (شکل۱). از بین شاخه‌های مذکور، اثر شاخه‌های مرغاب، شوراندیکا و شور لالی که در بالادست سد گتوند قرار دارند در شوری آب مخزن سد گتوند تعیین کننده‌تر است، به‌طوری‌که اثر رودخانه‌های شوراندیکا، مرغاب و لالی در کاهش کیفیت آب فراز بند سد گتوند به ترتیب ۱۶/۵، ۸/۸ و ۶/۷ درصد می‌باشد (حسنوند و همکاران، ۱۳۸۹).

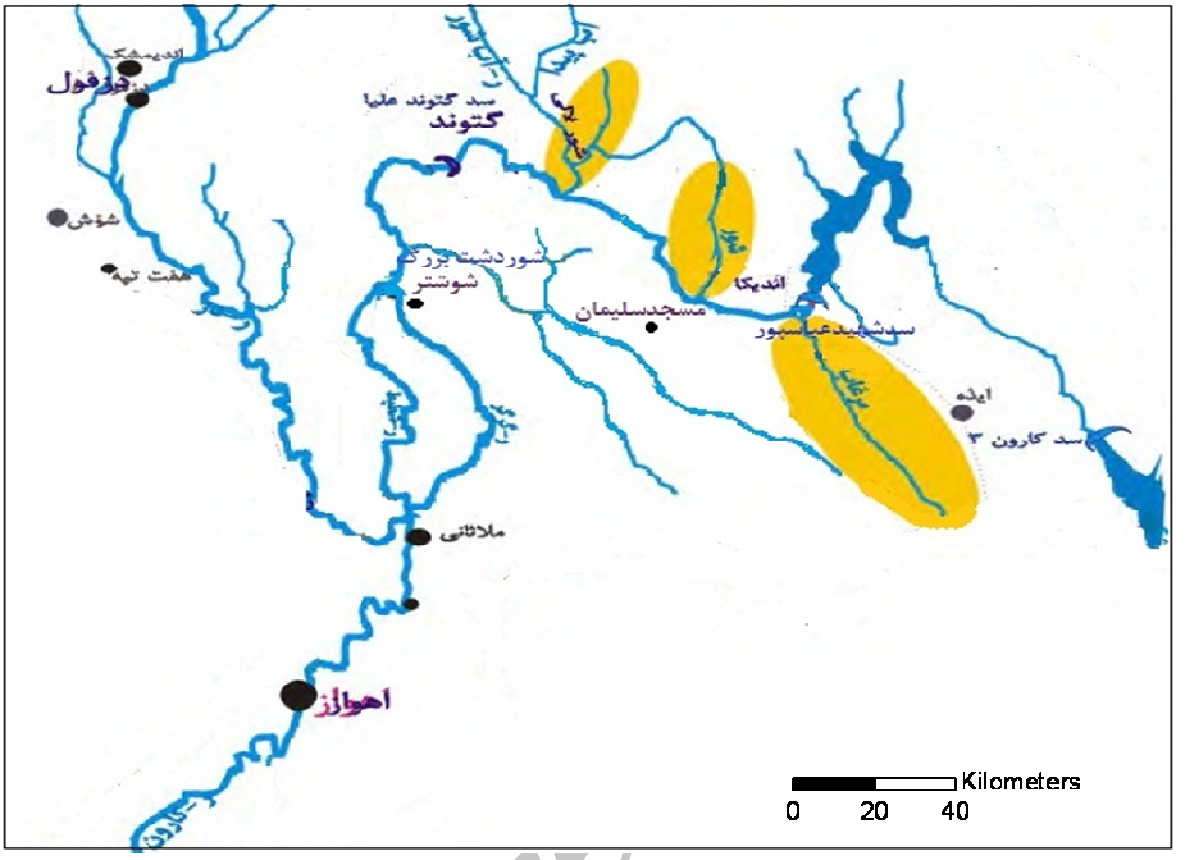



**شکل۲.** برشی از سازندهای مخزن سد در فاصله ۳/۵ تا ۷ کیلومتری بالادست محور سد(حسنوند و همکاران ۱۳۹۰)

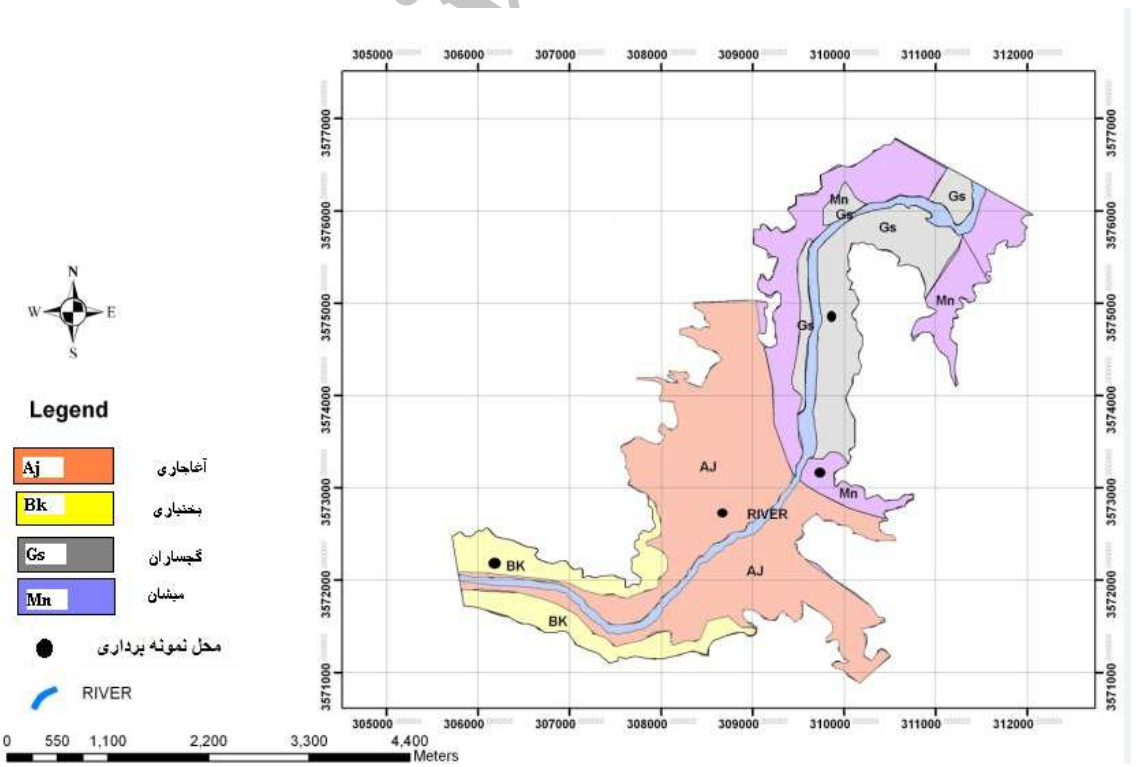
**٤. نمونه برداری**

جهت نیل به اهداف تحقیق، از آب موجود در فرازبند به عنوان آب ورودی به سد گتوند و از سازندهای دارای رخنمون در مخزن سد گتوند، در تاریخ ۲۱ بهمن ۱۳۸۸ نمونه‌برداری صورت پذیرفت. نمونه‌برداری از آب فرازبند سد، در سه عمق سطحی، ۱ و ۲ متری انجام شد که از هر عمق ۲ نمونه برداشته شد. نمونه‌برداری از سازندهای مخزن سد قبل از آبگیری در جناح راست و چپ سد انجام پذیرفت. به دلیل اهمیت سازند گچساران در کیفیت آب مخزن سد، به طور جداگانه از بخش‌های مختلف تشکیل‌دهنده سازند شامل گچ، نمک، شیل و مارن نمونه برداشته شد. در شکل ٤ محل‌های نمونه‌برداری از مخزن، از محل محور سد تا ۳/۵ کیلومتری بالادست آن نشان داده شده است. در مرحله آماده‌سازی، نمونه‌های در هاون به آرامی کوبیده تا به صورت رسوبات ناپیوسته درآیند. سپس این رسوبات از الک ۱۰ که مربوط به ذرات تا قطر ۲ میلی‌متر است، عبور داده شدند. برای اندازه‌گیری میزان انحلال نمونه‌های سازندهای برداشت شده از مخزن سد، از روش عصاره‌گیری از گل اشباع شده استفاده گردید.

www.SID.ir




**شکل۳.** نمایی شماتیک از سد گتوند و شاخه‌های شور بالادست سد




**شکل ٤.** زمین شناسی مخزن سد و محل‌های نمونه‌برداری از محل محور سد تا ۳/۵ کیلومتری بالادست محور

www.SID.ir

**۵. بحث**

بر طبق نتایج به دست آمده از مطالعات محققین مختلف، نرخ انحلال ژیپس، نمک و آهک در سازندهای گچساران و میشان به ترتیب معادل $0.22\times10^{-5}$ (باغداردخت، ۱۳۸٤) $1\times10^{-5}$ (Stiller,*et al*., 2007)، $0.13\times10^{-5}$ (Hoch,*et al*., 2004) متر بر ثانیه می‌باشد. با توجه به نرخ انحلال سازندهای گچساران و میشان و فرض زمان ماندگاری آب مخزن سد در ۳ تراز پایه (۱۵۰متری)، حداقل (۲۰۰متری) و حداکثر (۲۵۰متری)، کیفیت نهایی آب مخزن بعد از آبگیری به صورت زیر برآورد شده است:

الف- برآورد میزان انحلال از هر سازند:

$$m=\alpha_o*T_L \quad (۱)$$

در رابطه فوق $m$ میزان انحلال، $T_L$ زمان ماندگاری در هر تراز، $\alpha_o$ نرخ انحلال رخنمون مورد نظر است.

ب-برآورد حجم انحلال یافته در تراز مورد نظر($V_o$):

$$V_o=m*A_o \quad (۲)$$

که $A_o$ سطح رخنمون هر یک از سازندها است.

ج- جرم حل شده از هر یون برحسب گرم($m_i$):

$$m_i=V_o*\lambda_{io} \quad (۳)$$

$\lambda_{io}$ غلظت هر یون در هر رخنمون ($gr/m^3$) می باشد.

د- غلظت نهایی $(\lambda F_{ioL})$ هر یک از یون‌ها در مخزن سد بعد از آبگیری:

$$V_L/\lambda_{ioL}=m_i \quad (٤)$$

$$\lambda F_{ioL}=\lambda_{ioL}+\lambda_E \quad (۵)$$

$\lambda_{ioL}$ غلظت هر یک از یون‌ها حاصل از انحلال رخنمون خاص و در تراز معین، $V_L$ حجم آب در تراز مورد نظر و $\lambda_{iE}$ غلظت یون مورد نظر در آب فراز بند(رودخانه) می‌باشد.

*۵-۱. تأثیر سازند گچساران*

محاسبات انجام شده برای تعیین میزان تأثیر سازند گچساران در جدول (۱) آورده شده است. حجم نمک و ژیپس حل شده از سازند گچساران در آب در صورت آبگیری مخزن سد، در تراز ۲۰۰ متری بیش از تراز ۱۵۰ و ۲۵۰ متری است. همانطور که پیشتر اشاره شد مساحت سازند گچساران در تراز ۲۰۰ متری افزایش یافته است و این در حالی است که تراز ۲۰۰ متری، تراز بهره‌برداری برای نیروگاه است و در تمام طول سال، آب سد در این تراز قرار دارد. در تراز ۲۵۰ متری با وجود اینکه حجم نمک و ژیپس حل شده در آب مخزن سد بیش از دو تراز دیگر خواهد بود، اما به خاطر رقیق شدگی غلظت عناصر کمتر است که البته آب سد تقریباً دو ماه در سال در این تراز قرار دارد. نرخ انحلال نمک بالاتر از ژیپس بوده، بنابراین حجم نمک حل شده در آب مخزن سد در هر سه تراز ۵ برابر ژیپس حل شده خواهد بود. با توجه به ترکیب ژیپس، طبیعی است که مقادیر سولفات و کلسیم در سازند ژیپسی بیشتر از سازند نمکی بوده و در مورد سازند نمکی نیز مشاهده می‌شود که کلر و سدیم بالاترین مقادیر را دارند. مقدار منیزیم حاصل از حل شدن سازند نمکی درآب مخزن سد بیش از سازند ژیپسی خواهد بود که نشان از وجود ناخالصی‌های منیزیم‌دار هرچند به مقدار کم، دارد. بنابراین سازند ژیپس و نمکی سازند گچساران تأثیر بسزایی بر کیفیت آب مخزن سد خواهند داشت. با مقایسه غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های کل (برآورد شده) در آب مخزن سد پس از آبگیری با غلظت آنها در آب دریا، مشاهده می‌شود که در صورتی که تمهیدات خاصی در نظر گرفته نشود غلظت کلسیم در ترازهای ۱۵۰ و ۲۰۰ متری بیش از مقادیر موجود در آب دریا خواهد بود. بطوریکه کلسیم حاصل از انحلال سازند نمک و ژیپس سازند گچساران، در تراز۱۵۰ متری حدود ۱/٤ برابر و در تراز ۲۰۰ متری ۱/۱ برابر آب دریا است. در تراز ۲۵۰ این مقدار بسیار کمتر شده و تقریباً معادل ۰/۲ غلظت کلسیم موجود در آب دریا است. غلظت سدیم موجود در آب دریا ۱۱۰۰۰ گرم بر متر مکعب است و غلظت این یون در سه تراز مورد مطالعه به ترتیب معادل ۰/۱، ۰/۷، ۰/۰۸ غلظت موجود در آب دریا هستند. بنابراین در مورد این عنصر نیز بالاترین غلظت‌ها مربوط به تراز ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر است. در مورد کلر نیز روند تغییرات آن مشابه سدیم بوده و با افزایش تراز آب مخزن سد غلظت این یون کم شده است. بنابراین برآورد غلظت یون‌ها در آب مخزن سد پس از آبگیری نشان می‌دهد که آب در تراز ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر بالاترین غلظت یون‌ها را دارا خوهد بود (جدول ۱).

Archive of SID
www.SID.ir

**جدول ۱.** برآورد تأثیر تشکیلات سازند گچساران بر غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها در سد پس از آبگیری

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| تراز آب (m) | | | ۱۵۰ | ۲۰۰ | ۲۵۰ |
| حجم آب مخزن $\times 10^{-6}$ | | | ۵۱۶ | ۲۳۵۸ | ٦٤٨٥ |
| مساحت سازند ($m^2$) | گچساران | | ۲۵۵۸۲۲۰/۹ | ۸٤٨٤٥٧٨/۳ | ١٦٠٠٥٤١٩ |
| | ژیپس | | ۵۱۱٦٤٤/۱ | ١٦٩٦٩١٥/٦ | ۳۲۰۱۰۸۳/۸ |
| | نمک | | ۵۸۸۳۹۰/۸ | ۱۹۵۱٤۵۳ | ۳٦٨١٢٤٦/۳ |
| زمان ماندگاری (Day) | | | ۳٦۵ | ۳٦۵ | ٦۰ |
| انحلال در زمان ماندگاری در هر تراز (m) | | ژیپس | ٦۹/۳ | ٦۹/۳ | ۱۱ |
| | | نمک | ۳۱۵/۳ | ۳۱۵/۳ | ۵۱/۸ |
| حجم ژیپس حل شده ($m^3$) | | | ۳۵٤۹۷٤۸/۳ | ۱۱۷۵۹٦۲۵۱ | ۳٦۵۰۷۷۲۰/۸ |
| حجم نمک حل شده ($m^3$) | | | ۱۸۵۵۱۹٦۱۹/۲ | ٦۱۵۲۹۳۱۳۰/۹ | ۱۹۰٦۸۸۵۵۸/۳ |
| $Ca^{2+}$ | $10^{-6}$ (gr) ×جرم حل شده | ژیپس | ۸۸۷٤۳٦ | ۲۹۳۹۹۰٦ | ۹۱۲٦۹۳ |
| | | نمک | ۳۸۵۵۰۹ | ۱۲۷۸۵۷۹ | ۳۹٦۳٦۵ |
| | حاصل از انحلال ژیپس ($gr/m^3$) | | ۱۷۱۹ | ۱۲٤٦ | ۱٤۰ |
| | حاصل از انحلال نمک ($gr/m^3$) | | ۷٤۷ | ۵٤۲ | ٦۱ |
| | آب فرازبند ($gr/m^3$) | | | ۷۹/۸ | |
| | کل ($gr/m^3$) | | ۵۹۵/٤ | ٤۵۳/٦ | ۱۲۱/۸ |
| | غلظت در آب دریا ($gr/m^3$) | | | ٤۱۰ | |
| $Na^{+}$ | $10^{-6}$ (gr) ×جرم حل شده | ژیپس | ۳٤۷٦٦ | ۱۱۵۱۷۳ | ۳۵۷۵۵ |
| | | نمک | ۳۸۷۷۹۱٤۱۰ | ۱۲۸٦۵۵۳۳۲ | ۳۹۸۷۲۲۱٤ |
| | حاصل از انحلال ژیپس ($gr/m^3$) | | ٦۷/۳ | ٤۸ | ٦ |
| | حاصل از انحلال نمک ($gr/m^3$) | | ٤۰۱۷۷ | ۳٤۵٦۱ | ٦۱٤۸ |
| | آب فرازبند ($gr/m^3$) | | | ۱٤۰/٦ | |
| | کل ($gr/m^3$) | | ۹۳۹٤/۷ | ۸۰۹۹/۲ | ۱۵۵۵/۷ |
| | غلظت در آب دریا ($gr/m^3$) | | | ۱۱۰۰۰ | |
| $Cl^{-}$ | $10^{-6}$ (gr) ×جرم حل شده | ژیپس | ۸۰۹۳٤ | ۲٦۸۱۱۹ | ۸۳۲۳۷ |
| | | نمک | ۲۲٦۳۹۸۸٦ | ۷۵۰۸۷۲۹۷ | ۲۳۲۷۰٦۷۸ |
| | حاصل از انحلال ژیپس ($gr/m^3$) | | ۱۵٦ | ۱۱۳ | ۱۳ |
| | حاصل از انحلال نمک ($gr/m^3$) | | ٤۳۸۷۵ | ۳۱۸٤۳ | ۳۵۸۸ |
| | آب فرازبند ($gr/m^3$) | | | ۱۸۷/۳ | |
| | کل ($gr/m^3$) | | ۱۰۳۰۹/۸ | ۷۵۳۳/۷ | ۱۰۱۵ |
| | غلظت در آب دریا ($gr/m^3$) | | | ۱۹۰۰۰ | |
| $Mg^{2+}$ | $10^{-6}$ (gr) ×جرم حل شده | ژیپس | ۲۳۳۹ | ۷۷٤۹ | ۲٤۰۵ |
| | | نمک | ۹۱۸۳۲۲ | ۳۰٤۵۷۰۰ | ۹٤۳۹۰۸ |
| | حاصل از انحلال ژیپس ($gr/m^3$) | | ۱۵٦ | ۳ | ۰/۳ |
| | حاصل از انحلال نمک ($gr/m^3$) | | ۱۷۷۹ | ۱۲۹۱ | ۱٤۵ |
| | آب فرازبند ($gr/m^3$) | | | ۱۲/۳ | |
| | کل ($gr/m^3$) | | ٤۵۲/٦ | ۳۰۹/۸ | ٤۵/۷ |
| | غلظت در آب دریا ($gr/m^3$) | | | ۱۳۰۰ | |
| $SO_4^{2-}$ | $10^{-6}$ (gr) ×جرم حل شده | ژیپس | ۱۵۷۳٤٦۰ | ۵۲۱۲۵۷۱ | ١٦١٨٢٤١ |
| | | نمک | ۱۰۷۲٦۷٤ | ۳۵۵۷٦۲٤ | ۱۱۰۲۵٦۱ |
| | حاصل از انحلال ژیپس ($gr/m^3$) | | ۳۰٤۹ | ۲۲۱۰ | ۲٤۹/۵ |
| | حاصل از انحلال نمک ($gr/m^3$) | | ۲۰۷۸ | ۱۵۰۳ | ۱۷۰ |
| | آب فرازبند ($gr/m^3$) | | | ۱۳۹/۳ | |
| | کل ($gr/m^3$) | | ۱۲۲۷ | ۹۲٦/۹ | ۲۲۸/۳ |
| | غلظت در آب دریا ($gr/m^3$) | | | ۲۷۰۰ | |

Archive of SID

www.SID.ir

*۵-۲. تأثیر سازند میشان*

سازند میشان جوانتر از سازند گچساران بوده و در ترازهای بالاتر از مخزن سد قرار دارد، بطوریکه حجم حل شده از این سازند در تراز ۲۰۰ متری ۵ برابر تراز ۱۵۰ متری و ۳ برابر تراز ۲۵۰ متری است. بنابراین غلظت یون‌های متأثر از این سازند در تراز ۲۰۰ متری بیش از دو تراز دیگر است (جدول۲). سازند میشان در منطقه عموماً از ٤٠ درصد ترکیبات رسی و ٦٠ درصد آهک تشکیل شده است. بنابراین بالا بودن کلسیم در این سازند کاملاً قابل توجیه است. اما از بین عناصر مورد مطالعه، برآورد می‌گردد که غلظت سدیم و کلر بالاترین مقادیر را خواهند داشت که می‌تواند به دلیل بالا آمدگی (Uplift) ترکیبات نمکی سازند گچساران به درون این سازند و شور و نمکی شدن این سازند باشد. برخلاف سازند گچساران برآورد می‌گردد که، غلظت یون‌های حاصل از انحلال سازند میشان در تراز ۲۰۰ متری بیش از سایر ترازها باشد(جدول۲).

**جدول ۲.** برآورد تأثیر سازند میشان بر غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها در سد پس از آبگیری

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | تراز آب (m) | ۱۵۰ | ۲۰۰ | ۲۵۰ |
| | حجم آب مخزن * $10^6$ | ۵۱٦ | ۲۳۵۸ | ٦٤٨٥ |
| | مساحت سازند میشان ($m^2$) | ۲۱۲۲٤۷۲/۵ | ۱۰۹۹۰٤۳/۵ | ۱۷٦۸۲۳۰۵ |
| | زمان ماندگاری (Day) | ۳٦۵ | ۳٦۵ | ٦۰ |
| | انحلال در زمان ماندگاری در هر تراز (m) | ٤۰/۹ | ٤۰/۹ | ۷ |
| | حجم حل شده ($m^3$) | ۸٦۸۰۹۱۲۵ | ٤٤۸٦۳۳۸۷۹/۱ | ۱۱۸٤۷۱٤٤۳/۵ |
| $Ca^{2+}$ | $10^{-6}$ (gr) ×جرم حل شده | ۲۱۰۷۷۲۵ | ۱۰۸۹۲۸۳۰ | ۲۸۷٦٤۸٦ |
| | حاصل از انحلال سازند میشان | ٤۰۸٤/۷ | ٤٦۱۹/۵ | ٤۳۳/۵ |
| | آب فرازبند | | ۷۹/۸ | |
| | کل | ٤۱٦٤/۵ | ٤٦۹۹/۳ | ۵۱۳/۳ |
| | غلظت در آب دریا ($gr/m^3$) | | ٤۱۰ | |
| $Na^+$ | $10^{-6}$ (gr) ×جرم حل شده | ۳۳۳۲۷۷۵ | ۱۷۲۲۳۹۵۱ | ٤۵٤۸۳۵۵ |
| | حاصل از انحلال سازند میشان | ٦٤۵۸/۸ | ۷۳۰٤/٤ | ۷۰۱/۳ |
| | آب فرازبند | | ۱٤۰/٦ | |
| | کل | ٦۵۹۹/٤ | ۷٤٤۵ | ۸٤۱/۹ |
| | غلظت در آب دریا ($gr/m^3$) | | ۱۱۰۰۰ | |
| $Cl^-$ | $10^{-6}$ (gr) ×جرم حل شده | ۲۸٤٦۸۱۸ | ۱٤۷۱۲٤۹۹ | ۳۸۸۵۱۵۲ |
| | حاصل از انحلال سازند میشان | ۵۵۱۷ | ٦۲۳۹ | ۵۹۹ |
| | آب فرازبند | | ۱۸۷/۳ | |
| | کل | ۵۷۰٤/۳ | ٦٤۲٦/۳ | ۷۸٦/۳ |
| | غلظت در آب دریا ($gr/m^3$) | | ۱۹۰۰۰ | |
| $Mg^{2+}$ | $10^{-6}$ (gr) ×جرم حل شده | ۳۰٤۱۳۵ | ۱۵۷۱۷۸۸ | ٤۱۵۰٦٤ |
| | حاصل از انحلال سازند میشان | ۵۸۹/٤ | ٦٦٦/۵ | ٦٤ |
| | آب فرازبند | | ۱۲ | |
| | کل | ٦۰۱/۷ | ٦۷۸/۸ | ۷٦/۳ |
| | غلظت در آب دریا ($gr/m^3$) | | ۱۳۰۰ | |
| $SO4^{2+}$ | $10^{-6}$ (gr) ×جرم حل شده | ۱۰۵۷۳۳ | ۵٤٦٤۳٦ | ۱٤٤۲۹۸ |
| | حاصل از انحلال سازند میشان | ۲۰٤/۹ | ۲۳۱/۷ | ۲۲ |
| | آب فرازبند | | ۱۳۹/۳ | |
| | کل | ۳٤٤/۲ | ۳۷۱ | ۱٦۱/۵ |
| | غلظت در آب دریا ($gr/m^3$) | | ۲۷۰۰ | |

Archive of SID
www.SID.ir

*۵-۳. برآورد کلی کیفیت آب سد بعد از آبگیری*

از مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها در هر تراز مقدار TDS به دست می‌آید و با توجه به رابطه TDS با هدایت الکتریکی (EC) (رابطه ٦)، می‌توان TDS و EC آب مخزن سد را بعد از آبگیری در ترازهای مورد مطالعه برآورد کرد (جدول ۳).

$$TDS\ (mg/L) = 0.6 \times EC\ (\mu s/cm) \quad (۶)$$

**جدول ۳.** مقادیر هدایت الکتریکی و TDS کل

| تراز آب (m) | سازند گچساران | | سازند میشان | | کل | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | TDS | EC(µs/cm) | TDS | EC(µs/cm) | TDS | EC(µs/cm) |
| ۱۵۰ | ۲۱۹۷۹/۵ | ۳٦٦۳۲/۳ | ۱۷٤۱٤ | ۲۹۰۲۳/۵ | ٦۱۷۳/۹ | ۱۰۲۸۹/۸ |
| ۲۰۰ | ۱۷۳۲۳/۲ | ۲۸۸۷۲ | ۱۹٦۲۰/٤ | ۳۲۷۰۰/٦ | ۸۱۹٦ | ۱۸٦٦۰ |
| ۲۵۰ | ۲۹٦٦/۵ | ٤۹٤٤/۱ | ۲۳۷۹/۷ | ۳۹٦۵/۵ | ۷٤۲/۵ | ۱۲۳۷/۵ |

**جدول ٤.** طبقه‌بندی آب‌های شور (Rhoades et al., 1992)

| نوع آب | هدایت الکتریکی (µs/cm) | رده بندی آب |
|---|---|---|
| آب کشاورزی و آشامیدنی | ۷۰۰< | بدون شوری |
| آب کشاورزی و آشامیدنی | ۷۰۰–۲۰۰۰ | شوری کم |
| آب زهکشی اولیه | ۲۰۰۰–۱۰۰۰۰ | شوری متوسط |
| آب زهکشی ثانویه | ۱۰۰۰۰–۲۵۰۰۰ | شوری بالا |
| خیلی شور | ۲۵۰۰۰–٤۵۰۰۰ | شوری بسیار بالا |
| آب دریا | ٤۵۰۰۰< | شورابه |

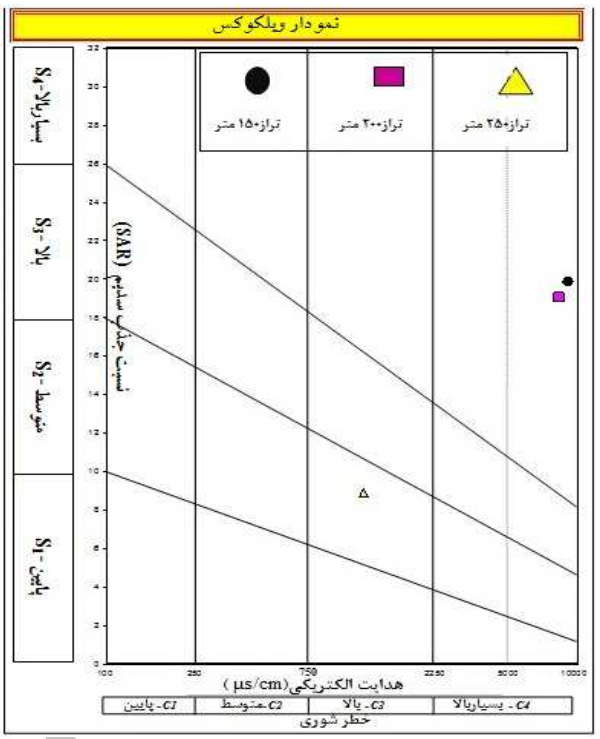
با مقایسه EC برآورد شده برای آب مخزن سد در هر سه تراز با رده‌بندی آب‌های شور (جدول٤)، مشاهده می‌شود که تحت تأثیر سازند گچساران وقتی آب در تراز ۱۵۰ متر قرار دارد، ECآب مخزن سد در محدوده ٤۵۰۰۰ µs/cm تا ۲۵۰۰۰ قرار دارد و جزء آب‌های با شوری بسیار بالا است (Very Highly Saline). در تراز ۲۰۰ متری EC آب ۲۸۸۷۲ میکروزیمنس بر سانتی‌متر است که مانند تراز ۱۵۰ متری، آب مخزن در رده آب‌های با شوری بسیار بالا قرار دارد. در تراز ۲۵۰ متری EC به میزان قابل توجهی کاهش یافته و آب مخزن سد در این تراز در رده آب‌های با شوری متوسط قرار دارد. تحت تأثیر سازند میشان، رده‌بندی آب در سه تراز مشابه سازند گچساران بوده با این تفاوت که EC در تراز ۲۰۰ متری بیش از دو تراز دیگر است. در برآورد حاصل از تأثیرگذاری هر دو سازند، با توجه به مساحت‌های سازندهای گچساران و میشان در سه تراز مورد مطالعه، معلوم می‌سازد که EC آب پس از آبگیری در رده ۱۰۰۰۰ – ۲۵۰۰۰ µs/cm قرار می‌گیرد و آب دارای شوری بسیار بالا است. در نهایت از برآورد آنیون‌ها و کاتیون‌های کل حاصل از سازند میشان و گچساران (جدول ۵) و نمودار ویلکوکس برای رده بندی آب جهت استفاده کشاورزی، رسم گردید (شکل ۳).

**جدول ۵.** غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های کل حاصل از سازند میشان و گچساران و استانداردها

| $Na^+$ | $Mg^{2+}$ | $Cl^-$ | $So_4^{2-}$ |
|---|---|---|---|
| ۲۵۰۱ | ۱۵۷/٦ | ۲۵۲٤/۳ | ۲۳٦ |
| ۳۳٦٤/۸ | ۲۲٤ | ۲۹۹۰ | ۲۳۳ |
| ۳۷٤/۹ | ۱۹ | ۲٦۹ | ۲۳ |
| ۲۰۰ (WHO ۲۰۰۸) | ۱۵۰ (ایران ۱۰۵۳) | ۲۵۰ (WHO ۲۰۰۸) | ۲۵۰ (WHO ۲۰۰۸) |
| ۱۱۰۰۰ | ۱۳۰۰ | ۱۹۰۰۰ | ۲۷۰۰ |

Archive of SID

www.SID.ir




**شکل ۵.** نمودار ویلکوکس آب مخزن سد بعد از آبگیری در سه تراز مورد مطالعه

همانطور که در نمودار ویلکوکس مشاهده می‌شود (شکل۵)، آب مخزن سد در تراز ۱۵۰ و ۲۰۰ متری در کلاس $C_4S_4$ قرار دارد که آب با شوری بسیار بالا است. آب مخزن در تراز ۲۵۰ متری در کلاس C3S2 قرار دارد که آب در این تراز دارای شوری متوسط تا بالا است.

## ٦. نتیجه گیری

مطالعه حاضر قبل از آبگیری سد گتوند با هدف تخمین کیفیت آب در این سد بواسطه رخنمون سازندهای گچساران و میشان که به ترتیب ۱۳ و ۱۵ درصد از سطح مخزن را می‌پوشانند صورت گرفته است. نتایج نشان می‌دهد آب مخزن سد در تراز ۱۵۰ و ۲۰۰ متری در کلاس $C_4S_4$ قرار می‌گیرد که دارای آب با شوری بسیار بالا است و در تراز ۲۵۰ متری در کلاس $C_3S_2$ یا آب با شوری متوسط تا بالا قرار خواهد داشت. به طورکلی با توجه به شرایط زمین‌شناسی مخزن سد گتوند انتظار می‌رود با آبگیری سد کیفیت آب رودخانه کارون بسیار نامناسب گردد. البته برای جلوگیری از این اتفاق قبل از آبگیری پوششی رسی بر روی بخش‌های انحلال‌پذیر در درون مخزن کشیده شده است که در کوتاه‌مدت ممکن است مؤثر باشد اما بعد از مدتی با انحلال نمک و فروریزی این پوشش شرایط به وضعیتی بحرانی که در این مقاله پیش بینی شده خواهد رسید.

## منابع

باغداردخت، ز، ۱۳۸٤. ارزیابی ژئوتکنیکی ساختگاه سد تنگ شمیران با تأکید بر مساله انحلال‌پذیری توده سنگ‌های سولفاته سازند گچساران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا همدان.

حسنوند، م، دهرآزما، ب، حافظی‌مقدس، ن، ۱۳۸۹ الف. بررسی تأثیر شاخه‌های شوراندیکا، شور لالی و مرغاب بر کیفیت آب فرازبند سد گتوند علیا. چهاردهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. دانشگاه ارومیه.

حسنوند، م، دهرآزما، ب، حافظی مقدس، ن، کرمی، ر، ۱۳۸۹ ب. بررسی تغییرات کیفی آب موجود در فرازبند سد گتوند علیا. چهارمین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران.

حسنوند، م، دهرآزما، ب، حافظی مقدس، ن، ۱۳۹۰ج. برآورد مساحت سازندهای مخزن سد گتوند و تأثیر هریک از این سازندها بر کیفیت آب سد. هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران. دانشگاه صنعتی شاهرود. شهریور ۱۳۹۰

حسینی زارع، ن، سعادتی، ن، موبد، پ، ۱۳۸۵. کیفیت آب سرشاخه‌های کارون و نقش و اهمیت آن در تعدیل شوری رودخانه‌ها و

Archive of SID
www.SID.ir

مسیل‌های شور طبیعی حوزه میانی. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود، دانشگاه شهرکرد

حسنیان، س، موبد، پ، حسینی زارع، ن، آخوردزاده، ح، حمید، ی، سعادتی، ن، کمایی، ه، ۱۳۸۵. طبقه‌بندی کیفیت رودخانه کارون و دز در بازه گتوند تا خرمشهر و دزفول تا بامدژ با استفاده از شاخص WQI و بررسی انتروباکتریاسه‌های جدا شده در این مقطع. هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.

راهنمای مطالعات کیفیت آب مخازن سدهای بزرگ، ۱۳۸۸. نشریه شماره ۳۱۳- الف، ص ۸۱

زارعی، ح، آخوندعلی، ع، ۱۳۸۵. بررسی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب رودخانه کارون در بازه گتوند- شوشتر و تأثیر رود شور بر کیفیت آن. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود، دانشگاه شهرکرد.

شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران ۱۳۸۷. خلاصه برداشت از گزارش زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی محدوده سد گتوند.

فکور، ح، نامداری، ح، ۱۳۸۱. تعیین عوامل شوری رود بتوند و امکان بهره‌برداری از آن. ششمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، اهواز.

مظفری‌زاده، ج، چیت‌سازان، م، ۱۳۸۵. تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کیفیت آب رود کارون در بازه محدوده گتوند- شوشتر. چهاردهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه بیرجند.

مظفری‌زاده، ج، چیت‌سازان، م، ۱۳۸٦. بررسی تأثیر سازندهای زمین‌شناسی برروی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت گتوند. اولین همایش زمین‌شناسی زیست‌محیطی و پزشکی، دانشگاه شهید بهشتی تهران.

نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ از محدوده مخزن سد گتوند، شرکت مناطق نفت‌خیز جنوب ۱۳۸۸

Balay, I., 1969. The occurrence of calanoid copepods in athalassic saline waters in relation to salinity and ionic proportions" Internationale Vereinigung fur Theoretische and Angewandte Limnologie Verhandlungen 17: 449-455.

Chen , S., Wang ,Y., Li ,X., Song, J., 2000. Geographical variations of trace element in sediments of the major rivers in eastern China" Environmental Geology, 39(12):1334–40.

Feng Peng, J., Song, Y.,Yuan, P.,Cui, X., Qiu, G., 2009. The remediation of heavy metals contaminated sediment. Journal of Hazardous Materials, 161: 633–640.

Hoch, A, Linklater, C, Noy, D, Rodwe, W, 2004. Modeling the interaction of hyper alkaline fluids with simplified rock mineral assemblages. Applied Geochemistry, 19: 1431–1451.

Ghassemi, F., Jakeman., A, H, Nix., 1995. Salinisation of land and water resources: human causes, extend, management and case studies. University of New South Wales Press.

Mating, R., Olaleye, A., O., Johanne, M., 2010. Assessment of water quality in Mohale dam and associated rivers in Lesotho" Second Ruforum Biennial Meeting 20 - 24 September, Entebbe, Uganda.

Nielsen, D., Brock, M., Rees, G., Baldwin, D., 2003. Effects of increasing salinity on freshwater ecosystems in Australia. Australian Journal of Botany, 51: 655-665.

Rhoades, J., Kandiah, A., Mashali, A., 1992. The use of saline waters for crop production – FAO irrigation and drainage paper 48" Chapter 2 - Saline waters as resources.

Archive of SID

www.SID.ir

Sayadi, A., Khodadadi, A., Partani, S., 2009. Environmental impact assessment of Gotvand Hydro-Electric Dam on the Karoon River Using ICOLD Technique" World Academy of Science, Engineering and Technology 54.

Stiller, M., Yechieli, Y., Gavrieli, I., 2007. The rate of dissolution of halite in diluted Dead Sea brines" Geological Survey of Israel, page 16-17.

Archive of SID

www.SID.ir