

اثر سرعت نسبی اولیه انحلال نمک موجود در مخزن بر تغییرات شوری بستر محیط پذیرنده انحلال پذیر (مطالعه موردی: سد گتوند علیا)

علی شفیع سرارودی^{۱*} و مهدی قمشی^۲

(۱) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران، مهندسی و مدیریت منابع آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.

(۲) استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.

* نویسنده مسئول: ashafiee@scu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۸

چکیده

یکی از مهم‌ترین چالش‌های ایجاد شده پیرامون سدهای مخزنی با سازندهای تبخیری، وجود گنبد‌ها و رگه‌های نمکی در اطراف محل است که پس از آبیگری سد به زیر آب رفته و منجر به شوری بیش از حد آب درون مخزن و پایین‌دست این سدها شده است. هدف کلی در تحقیق حاضر دستیابی به یک برآورد از مقدار انحلال سنگ نمک (موجود در محدوده مخزن سد گتوند) در آب است. از این رو، ابتدا سرعت نسبی انحلال سنگ نمک و سپس تاثیر میزان نمک آزاد شده بر تغییرات شوری ارتفاع‌های مختلف آب مخزن در دوره ۲۷ روز به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق، از یک مدل فیزیکی شامل یک مخزن از جنس پلی‌اتیلن ۳ لایه عمودی و پنل الکترونیکی برنامه‌ریزی شده با استفاده از یک دستگاه پی‌ال‌سی در دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز استفاده شد. نتایج آنالیز نمونه‌های سنگ نمک حل شده بر حسب میلی‌گرم در روز نشان داد که تغییرات پروفیل شوری ابتدا افزایشی و به مرور زمان به مقداری تقریباً ثابت رسید. به گونه‌ای که به طور متوسط روزانه ۲۵ گرم از سطح سنگ نمک در آب مخزن حل شد که این امر بیانگر انحلال سالانه ۵ سانتی‌متر از سازند نمکی مخزن سد گتوند علیا بود. از سویی دیگر، تغییرات شوری بستر محیط پذیرنده انحلال‌پذیر مخزن آزمایشگاهی حاکی از تفاوت ۴۰ برابری میزان شوری اعماق پایین مخزن در مقایسه با لایه‌های بالایی و یک محیط فوق اشباع شور در محیط پذیرنده بود.

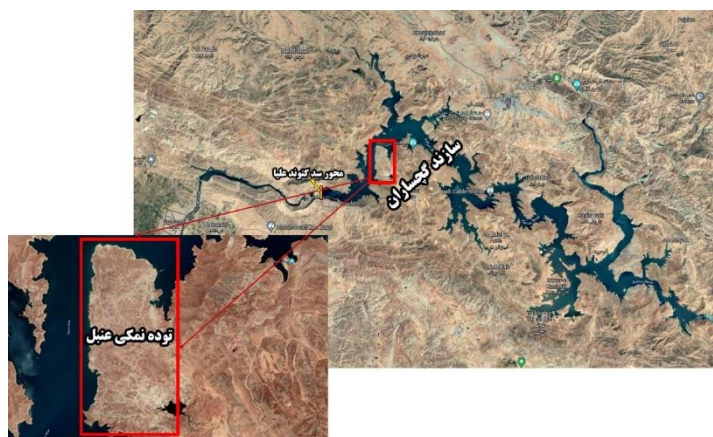
واژه‌های کلیدی: پروفیل شوری، سنگ نمک، شدت انحلال، مدل فیزیکی

مقدمه

سد و سدسازی به عنوان ابزار پُر اهمیتی می‌باشد که در راستای پاسخگویی به نیازهای آبی و تامین انرژی مورد نیاز هر کشوری مورد توجه قرار گرفته است. از این رو، احداث سد در مسیر رودخانه‌ها همزمان با گسترش جمعیت و رشد فعالیت‌های اقتصادی به امری ضروری در کشورهای مختلف تبدیل شده است (هاشمی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۷). با توجه به اینکه سدهای بزرگ به صورت چندمنظوره و با اهداف مختلف احداث می‌شوند توجه به اثرات زیست‌محیطی و پیامدهای بعدی سازندهای مخزن سد ضروری است (نجمانی، ۱۳۸۲). سد گتوند از نظر حجمی به عنوان دومین سد مخزنی آبی کشور بعد از سد کرخه با ظرفیت ۴/۵ میلیارد مترمکعب ذخیره آبی و بزرگترین سد مخزنی ساخته بر روی رودخانه کارون می‌باشد (قمشی، ۱۳۹۵). این سد از نظر موقعیت در استان خوزستان و در ۱۰ کیلومتری شمال شرقی شهرستان گتوند است و به عنوان پایین‌دست‌ترین سد مخزنی واقع در مسیر رودخانه کارون به حساب می‌آید (خانلو و همکاران، ۱۳۹۶). ارتفاع سد از پی ۱۷۸ متر و از نوع سنگریزه‌ای با هسته رسی می‌باشد (قمشی، ۱۳۹۵) که در منطقه زاگرس چین خورده با سنگ‌های تبخیری ساخته شده است (منجری و همکاران، ۱۴۰۱). اگرچه این سد به منظور اهدافی همچون کنترل سیلاب‌های فصلی، تنظیم آب کشاورزی مناطق پایین‌دست و تامین بخشی از برق کشور احداث شده است اما قرارگیری مخزن این سد بر روی سازند نمکی گچساران از معایب احداث آن است. به گونه‌ای که مخزن را با مشکل تجمع شوری و بیرون‌زدگی توده‌های نمکی در مناطق مختلف مسیر محور سد مواجه کرده است (قمشی، ۱۳۹۵). وجود سازند گچساران و رسوبات حاوی نمک‌های قابل‌انحلال یکی از مهمترین عوامل کاهش کیفیت منابع آب در خوزستان به شمار می‌رود (زارعی و اژدری، ۱۳۸۵؛ کریمی وردنجانی، ۱۳۸۸). بیرون‌زدگی‌های سازند گچساران در مخزن سد گتوند که در پنج تا نه کیلومتری بالادست محور سد و در ساحل چپ رودخانه کارون قرار دارد، دارای حجم زیادی از لایه‌های ضخیم نمکی و محلول همراه با حفره و غارهای فراوان (منجری و همکاران، ۱۴۰۱) و به طول حدود ۲۲۰۰ متر و ارتفاع ۹۰ متر می‌باشد (قمشی، ۱۳۹۵؛ کریمی وردنجانی، ۱۳۸۸).

توده نمکی عنبل درون مخزن سد گتوند یکی از مهمترین سازندهای بخش نمکی گچساران با فاصله ۴ کیلومتری از بالادست دیواره سد و حجم ۴۰ تا ۱۲۰ میلیون تن نمک است که در حال انحلال توسط آب مخزن می‌باشد (قمشی، ۱۳۹۵؛ منجری و همکاران، ۱۴۰۱)، (شکل ۱). بقاءدستگی و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی پایداری دامنه‌های سازند گچساران واقع در مخزن سد گتوند تحت‌تاثیر آبیگری مخزن و انحلال مصالح نمکی پرداختند. نتایج آنها نشان داد که لغزش‌ها در محدوده مخزن بیشتر کم‌عمق هستند و تحت‌تاثیر انحلال لایه نمکی ایجاد می‌شوند. نتایج برخی محققان نیز نشان می‌دهد که با توجه به ادامه انحلال نمک در دوره بهره‌برداری، هاله آلودگی در فاصله بین سد تا بالادست محدوده رخنمون‌های نمکی در مخزن بوجود می‌آید و در ترازهای پائین مخزن بیشترین شوری رخ خواهد داد (داموغ و زارعی، ۱۳۸۹). بنابراین، چنانچه رهاسازی آب برای پائین دست از ترازهای پائین مخزن انجام شود، بیشترین تاثیر زیان‌بار شوری را برای استفاده آشامیدنی و کشاورزی خواهد

داشت (داموغ، بنی هاشمی، ۱۳۹۰). نتایج مطالعات نشان داد که در فاصله زمانی اسفند ۱۳۹۰ تا بهمن ۱۳۹۱ تجمع شوری در مخزن سد افزایش چشمگیری داشته است به طوری که در این فاصله زمانی مقدار جرم نمک تجمع یافته از ۳/۳ میلیون تن به ۸/۷ میلیون تن رسیده است (قمشی و حق بین، ۱۳۹۲). حسنوند و همکاران (۱۳۸۹) نیز به بررسی تغییرات کیفی آب موجود در فرازبند سد گتوند علیا پرداختند و گزارش دادند که مقدار pH و EC آب در سال ۱۳۸۸ نسبت به سال ۱۳۸۶ افزایش یافت و وجود سازندهای گچساران و آغاچاری را دلیل کاهش کیفیت آب مخزن بیان نمودند. از این رو، هدف از اجرای این پژوهش بررسی اثر سرعت نسبی اولیه انحلال نمک موجود در مخزن بر پروفایل شوری بستر محیط پذیرنده انحلال پذیر در ارتفاعهای مختلف و اندازه‌گیری شدت انحلال سنگ نمک مخزن سد گتوند در شرایط آزمایشگاهی می‌باشد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی سد گتوند علیا، سازند گچساران و توده نمکی عنبل در استان خوزستان و محدوده مطالعاتی

مواد و روش‌ها

برای گردآوری اطلاعات مورد نظر در این تحقیق ابتدا از روش میدانی استفاده شد. بدین منظور نمونه‌برداری از سنگ نمک موجود در پیرامون مخزن سد گتوند علیا واقع در ساحل چپ مخزن سد و نیروگاه آبی سد گتوند علیا (۳ کیلومتری روستای امبل، جاده گتوند به لالی) در بخش جنوبی رشته کوه‌های زاگرس و به فاصله حدود ۳۸۶ کیلومتر از سرچشمه رودخانه کارون صورت گرفت (شکل ۲). سپس، نمونه‌ها برای اندازه‌گیری، طبقه‌بندی و تجزیه و تحلیل به آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی دانشکده مهندسی آب و محیط زیست واقع در دانشگاه شهید چمران اهواز منتقل شدند.

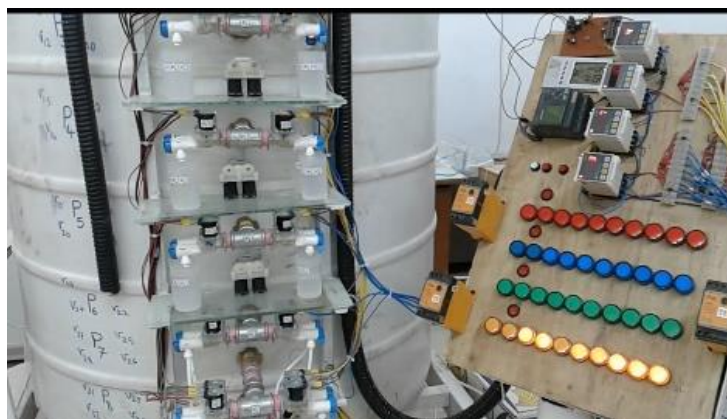
در این پژوهش اثر سرعت نسبی اولیه انحلال نمک موجود در مخزن بر محل رسیدن جریان به بستر محیط پذیرنده انحلال-پذیر بررسی و شدت انحلال و در نهایت تغییرات شوری نسبت به زمان اندازه‌گیری شد. با توجه به اینکه هدف از انجام این آزمایش برآورد میزان حلالیت سنگ نمک نمونه‌برداری شده از محل مخزن سد گتوند علیا بود، در نتیجه ابتدا درصد ترکیبات موجود در این سنگ‌ها آنالیز شد. در این مرحله سه نمونه سنگ نمک مورد آزمایش کیفیت قرار گرفت. بدین منظور ابتدا مقادیر ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵، ۵۰، ۵۵، ۶۰، ۶۵، ۷۰، ۷۵، ۸۰، ۸۵، ۹۰، ۹۵ و ۱۰۰ گرم از سنگ نمک های نمونه با

دقت ۰/۰۱ در ۱۰۰۰ سی سی آب خالص توسط هات پلیت ترکیب گردید، سپس نمونه‌های بدست آمده به‌عنوان محلول‌های ناشناخته با محلول استاندارد جهت تحلیل کمی عناصر موجود در محلول مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۲: تصویر محل نمونه برداری (مخزن سدگتوند علیا، توده نمکی عنبل)

در این آزمایش، یک مدل فیزیکی شامل یک مخزن از جنس پلی اتیلن ۳ لایه عمودی و پنل الکترونیکی برنامه‌ریزی شده با استفاده از پی‌ال‌سی در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز مهیا گردید (شکل ۳). پنل ساخته شده طوری برنامه‌ریزی گردید که در زمان‌ها و فواصل تعیین شده، مقدار مشخصی از نمونه موجود در مخزن آزمایشگاهی را برداشت نماید. به منظور کنترل لایه‌های ناهمگن تعداد ۸ لوله مشبک با فواصل مشخص در مخزن آزمایشگاهی نصب و بستر کف مدل به ارتفاع تقریبی ۱۰ سانتی‌متر از نمونه‌های سنگ نمک تهیه شده از پیرامون مخزن سدگتوند در محدوده توده نمکی عنبل پوشیده گردید. با توجه به عمق ۱/۳ متری مخزن آزمایشگاهی سه عدد دماسنج با فواصل ۳۰ سانتی‌متر درون مخزن آزمایشگاهی تعبیه شد. متوسط قطر سنگ نمک که در کف قرار داده شد ۱۶ سانتی‌متر بود و جهت جلوگیری از انحلال جداره سنگ نمک‌ها از ماسه ریزدانه استفاده گردید. در هر مرحله حجم نمونه محلول‌های برداشتی از مخزن آزمایشگاهی ۶۰ سی سی و دبی آب خروجی از مخزن آزمایشگاهی حدود ۰/۰۰۰۶ لیتر بر ثانیه بود. جهت تأمین آب جایگزین از روش هد ثابت استفاده شد. در هر مرحله نمونه‌برداری دمای محلول درون مخزن آزمایشگاهی و محیط پیرامون اندازه‌گیری و ثبت شد. جهت دقت در اندازه‌گیری نمونه‌های محلول و برای جلوگیری از تبخیر نمونه‌ها از ظروف نمونه‌برداری دارای درپوش استفاده گردید. به منظور تعیین میزان انحلال‌پذیری سنگ نمک مخزن اصلی، نمونه‌ها اندازه‌گیری و توزین شد. با توجه به حجم ذخیره آبی مخزن آزمایشگاهی، حجم و جرم سنگ نمک‌ها از جنس‌های متفاوت تهیه و در کف مخزن به صورت یکپارچه قرار گرفت. جرم سنگ نمک که در کف مخزن آزمایشگاهی قرار داده شد حدود ۱۰۰ کیلوگرم بود. پس از نصب شیرهای ذخیره روی شیر برقی‌های متصل به خروجی‌های مخزن، مدل کالیبره و آگیری شد. به منظور جلوگیری از احتمال اختلاط در لایه‌های پایینی سنگ نمک با آب، رویه‌ایی از جنس پلاستیک به روی سنگ نمک کشیده، و با ابزاری خاص رویه پلاستیکی تا پر شدن مخزن روی مکان خود ثابت ماند.



شکل ۳: مخزن ۱۰۰۰ لیتری پلی اتیلن ۳ لایه عمودی و پنل الکترونیکی

پس از آبیگری با آزاد کردن رویه پلاستیکی در شرایط آرام، با گذشت زمان مورد نیاز نمونه برداری با زمان بندی از قبل تعیین شده آغاز گردید. به منظور تأمین آب جایگزین در مخزن آزمایشگاهی و از طرفی ثابت نگه داشتن هد آب مخزن در ارتفاع معین و ثابت، با استفاده از استوانه شیشه‌ایی و بشر بزرگ بار ثابت آبی روی مخزن ایجاد شد. با توجه به شدت انحلال سنگ نمک در ابتدا فاصله زمانی ۳ ساعته برای کنترل کننده برنامه پذیر تعریف گردید. به مرور و با فاصله زمانی ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته از مخزن آزمایشگاهی نمونه برداری صورت گرفت.

به منظور محاسبه شدت انحلال سنگ نمک در آب، ابتدا حلالیت سنگ نمک در آب خالص برآورد گردید. سپس غلظت (بر حسب میلی گرم بر لیتر) و مواد جامد محلول کل (TDS) و EC آب درون مخزن آزمایشگاهی در فواصل زمانی و ارتفاع‌های مشخص اندازه گیری شد. با حل معکوس معادله پخشیدگی نمک از سنگ نمک درون مخزن آزمایشگاهی، برای تعیین ضریب پخشیدگی (D_0) در آب، از رابطه‌های زیر استفاده گردید:

$$J_d = D_0 \frac{dc}{dx} \quad \text{رابطه ۱:}$$

به منظور محاسبه شدت جریان در واحد سطح (J_d) در فواصل زمانی مختلف بر حسب $\frac{gr}{cm^2s}$ ، ابتدا سطح مقطع سنگ نمک بر حسب سانتی متر مربع و ضریب پخشیدگی (D_0) با استفاده از رابطه پخشیدگی بر حسب رابطه (۱) محاسبه شد. سپس شدت جریان در واحد سطح بر اساس رابطه (۲) به دست آمد.

$$J_d = D_0 \frac{c_1 - c_0}{x} \quad \text{رابطه ۲:}$$

در این رابطه، c_1 : حلالیت سنگ نمک در آب بر حسب گرم بر لیتر، c_0 : غلظت نمک در نقطه مشخص از سنگ نمک در آب بر حسب گرم بر لیتر، و x : فاصله سنگ نمک تا نقطه اندازه گیری، پارامتر J_d : شدت جریان در واحد سطح، در نتیجه شدت انحلال در هر مرحله بدست آمد.

با توجه به حجم اندازه‌گیری شده، ارائه نتایج بر اساس اندازه‌گیری دوره ۲۷ روزه و هر ۳ روز یکبار صورت گرفت. نتایج به صورت منحنی براساس مدل رگرسیون در زمان‌های مشخص اندازه‌گیری گزارش گردید.

نتایج و بحث

آنالیز نمونه‌های سنگ نمک

نتایج آنالیز نمونه سنگ نمک مخزن سد گتوند علیا در جدول (۱) نشان داده شده است. با توجه به نتایج این جدول مشخص گردید که نمونه سنگ نمک دارای EC ۶۰/۱ دسی‌زیمنس بر متر و مقدار سدیم (Na^+) ۳۶۰ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بود. درصد یون‌های آنیون تشکیل‌دهنده سنگ نمک شامل ۸۱ درصد Na^+ ، ۱۹ درصد Ca^{+2} و ۱ درصد Mg^{+2} بود که این امر بیانگر غلظت بسیار بالای سدیم نسبت به دیگر عناصر آنیون می‌باشد (جدول (۱)).

جدول ۱: نتایج آنالیز نمونه سنگ نمک مخزن گتوند علیا

Na^+	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl^-	Mg^{+2}	Ca^{+2}	EC
(meq/lit)	(meq/lit)	(meq/lit)	(meq/lit)	(meq/lit)	(meq/lit)	(ds/m)
۳۶۰	۶۰	۰۰	۷۰۰	۸	۲۴	۶۰/۱

شوری ناشی از انحلال موجب تغییر نسبت آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول آب می‌شود و نسبت $\frac{\text{Na}^+ + \text{K}^+}{\text{Mg}^{+2} + \text{Ca}^{+2}}$ به عنوان یکی فاکتور مهم ارزیابی کیفیت آب است (Balay, 1969). از سویی دیگر، این امر کاملاً واضح است که تماس مستقیم آب با سازندهای مختلف نمکی همچون توده نمکی عنبل به واسطه انحلال آن‌ها موجب اثرات منفی زیادی در آب تامین‌شده جهت مصارف انسانی و زیست‌محیطی و کشاورزی دارد (رسولی‌منش، ۱۳۹۳؛ حداد و همکاران، ۱۳۹۶). از این رو، شناخت عناصر تشکیل‌دهنده سنگ نمک، فرایند انحلال و سرعت انحلال و توزیع شوری در مخزن امری ضروری می‌باشد. در این تحقیق مشخص شد که بیشترین آنیون تشکیل‌شده (۸۱ درصد) شامل Na^+ می‌باشد و در صورت انحلال سنگ نمک در آب محیط پذیرنده توزیع شده و موجب شوری و کاهش کیفیت آب می‌گردد. ضیا و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعات خود گزارش دادند که تنها ۱۹ درصد توده نمکی عنبل متشکل از نمک می‌باشد و بقیه اجزا تشکیل‌دهنده این توده نمکی مارن و گچ (ژیپس) است. بنابراین، مقادیر سولفات و کلسیم تشکیل‌دهنده ژپس بیشتر از سازند نمکی می‌باشد. دهرآزما و همکاران (۱۳۹۳) گزارش دادند بالاترین مقادیر تشکیل‌دهنده سنگ نمک گتوند شامل کلر و سدیم است که با نتایج به دست آمده در این پژوهش مطابقت داشت. بالا بودن درصد آنیون و کاتیون سازند نمکی عنبل حاکی از تاثیر به سزای آن بر کیفیت آب مخزن دارد.

شدت انحلال سنگ نمک در آب

هدف از انجام این دسته آزمایش‌ها مشاهده اثر سرعت نسبی اولیه انحلال نمک بر روی بستر محیط پذیرنده انحلال پذیر بر اثر شدت انحلال سنگ نمک و نحوه پخشیدگی مولکولی و همچنین فرآیند انحلال سنگ نمک در ناحیه پایین مخزن آزمایشگاهی و مقایسه با نتایج آزمایش‌های مرحله بعدی می‌باشد.

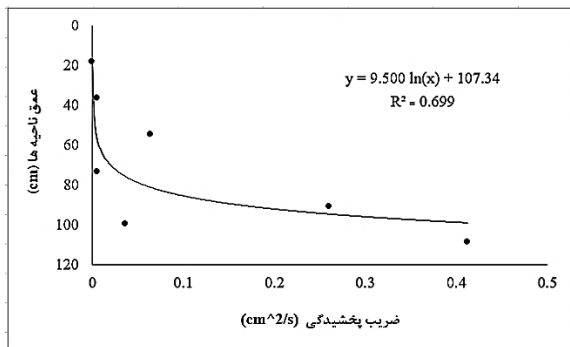
در کلیه آزمایش‌ها تغییرات شدت انحلال از همان زمان‌های ابتدایی آزمایش قابل مشاهده بود و با گذشت زمان میزان آن افزایش یافت، در این حالت انحلال سنگ نمک از بستر کف مخزن آزمایشگاهی در آخرین ناحیه شروع و در تداوم آن ذرات سنگ نمک حل شده را به پیرامون لایه فوقانی انتقال داد. این در حالی است که تأثیر این میزان انحلال سنگ نمک مربوط به ناحیه‌های پایینی مخزن آزمایشگاهی بود.

با توجه به اینکه ضریب پخشیدگی (D_0) نشان‌دهنده‌ی شدت انحلال سنگ نمک و انتقال مقدار مولکول‌ها و یون‌ها از واحد سطح است و بر مبنای مواد جامد محلول در آب بر حسب گرم در لیتر و مساحت کف مخزن بر حسب سانتی‌متر مربع از زمان آغاز آزمایش محاسبه می‌گردد؛ مخزن آزمایشگاهی با ۸ روزه خروجی نمونه‌گیری به فاصله‌های: ۱۸/۵، ۳۶/۵، ۵۵، ۷۳/۵، ۹۱، ۹۹/۵، ۱۰۸/۵، ۱۱۵/۵ سانتی‌متر و ۷ ناحیه جهت اندازه‌گیری ضریب پخشیدگی طبق جدول (۱) در نظر گرفته شده است.

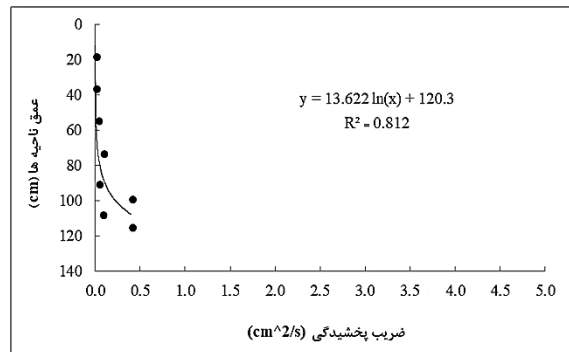
جدول ۲: ارتفاع لایه‌های مخزن آزمایشگاهی

شماره ناحیه	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم
ارتفاع (cm)	۱۸/۳	۱۸/۲	۱۸/۵	۱۷/۵	۸/۵	۹	۷

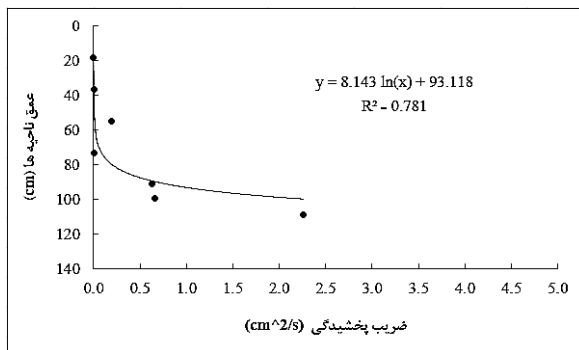
به منظور نشان دادن تغییرات میزان شدت انحلال در طول ۲۷ روز و ۹۴۴ نمونه‌برداری، مراحل به طور خلاصه در شکل‌های ۴ تا ۱۳ نشان داده شده‌اند. همانطور که ملاحظه می‌شود نرخ ضریب پخشیدگی در لایه اول ثابت و حدود ۰/۰۰۰۰۰۶ سانتی‌متر مربع در ثانیه است. حداقل نرخ انحلال در همان لایه روز پانزدهم معادل ۰/۱۷۲ سانتی‌متر مربع در ثانیه و حداکثر نرخ ضریب پخشیدگی در لایه هفتم در روز هجدهم ۲/۰۸ سانتی‌متر مربع است. این ضریب تأثیر مستقیم اثر سرعت نسبی اولیه انحلال نمک به بستر محیط پذیرنده انحلال پذیر در شدت انحلال سنگ نمک دارد.



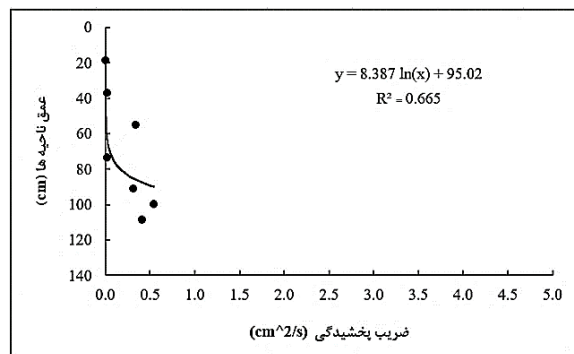
شکل ۵: نمودار شدت انحلال سنگ نمک- روز سوم



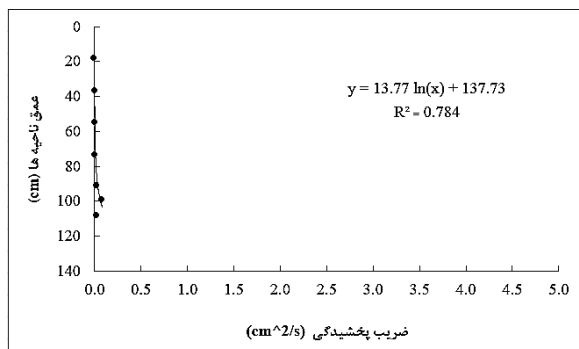
شکل ۴: نمودار شدت انحلال سنگ نمک- روز اول



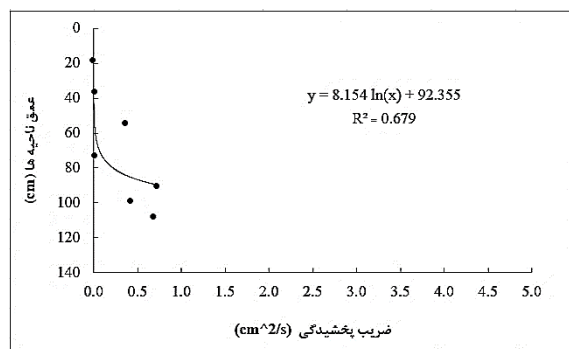
شکل ۷: نمودار شدت انحلال سنگ نمک- روز نهم



شکل ۶: نمودار شدت انحلال سنگ نمک- روز ششم

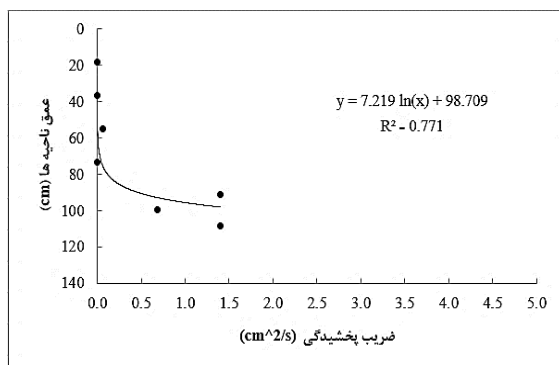


شکل ۹: نمودار شدت انحلال سنگ نمک- روز پانزدهم



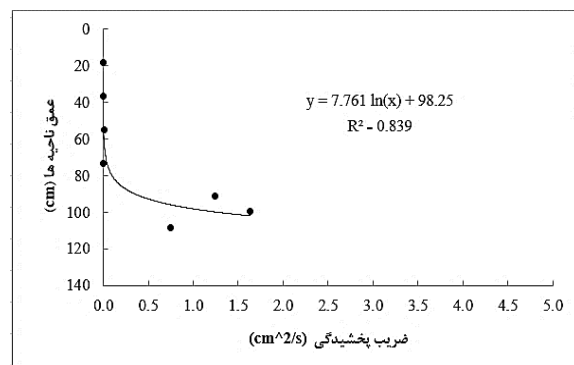
شکل ۸: نمودار شدت انحلال سنگ نمک- روز

دوازدهم



شکل ۱۳: نمودار شدت انحلال سنگ نمک- روز بیست و

هفتم



شکل ۱۲: نمودار شدت انحلال سنگ نمک- روز بیست و

سوم

قمشی (۱۳۹۵) در مطالعات خود اشاره کرد که اگرچه حجم نمک انحلال یافته از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۱ بیشتر از ۲ برابر شد اما پس از آن انحلال نمک دارای روند تغییرات کمی بود که با نتایج حاصل از این بررسی مبنی بر سرعت شیب بالای انحلال در ابتدای دوره آزمایش و سپس سرعت نسبتاً ثابت انحلال به بستر محیط پذیرنده انحلال پذیر مطابقت داشت. منجزی و همکاران (۱۴۰۱) در بررسی میانگین سرعت انحلال سنگ در طول دوره شبیه‌سازی بوسیله مدل SD را ۰/۹۲ سانتی‌متر در ساعت یا به عبارتی ۱۹/۳۴ سانتی‌متر در روز گزارش دادند. بقادشتکی و همکاران (۱۳۸۹) در بررسی شدت انحلال نمونه‌های سنگ نمک موجود در مخزن گتوند در شرایط آزمایشگاهی یک سال قبل از آگیری مخزن گتوند، مقدار ۲/۶۷ سانتی‌متر در روز را به دست آوردند. هاشمی حیدری و همکاران (۱۳۹۱) و محمد طاهری (۱۳۹۳) شدت انحلال توده سنگ نمک عنبل در سال اول آگیری سد ۱۷۰ کیلوگرم بر ثانیه و در سال دوم آگیری ۲۰۰ کیلوگرم بر ثانیه گزارش دادند. ندرخانلو و همکاران (۱۳۹۶) نیز در بررسی‌های خود نرخ انحلال سنگ نمک در اعماق مختلف سد را برآورد کردند و سرعت انحلال سنگ نمک سد گتوند را ۰/۵ تا ۷ سانتی‌متر بر سرعت گزارش دادند.

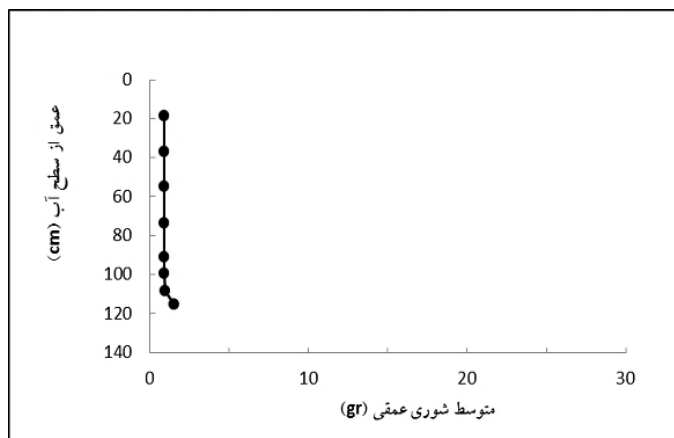
تغییرات شوری

به منظور ارزیابی تغییرات شوری آب مخزن در زمان‌های مختلف با استفاده از اطلاعات و داده‌های به‌دست‌آمده از نمونه‌های تهیه‌شده ناشی از انحلال سنگ نمک در مخزن آزمایشگاهی و ارائه نتایج حاصل از آزمایش در مدت ۲۷ روز نشان داد که انحلال سنگ نمک باگذشت زمان روندی افزایشی دارد و با توجه به محیط پذیرنده در شرایط ایستا کاهش سطح سنگ نمک قابل مشاهده بود (شکل ۱۴). سنگ نمک‌ها از ترکیباتی مانند سدیم کلرید، منیزیم سولفات، پتاسیم نیترات و ... تشکیل شده که در یون‌ها حل می‌شوند. حرکت یک یون هنگامی آغاز می‌شود که شرایط محیطی برای آن فراهم باشد. با توجه به حلالیت سنگ نمک در آب و تأثیرپذیری آن به انتقال و انتشار در سیال فاصله زمانی آزمایش شوری ۹۴۴ مرحله نمونه‌گیری میزان شوری و تأثیر ناحیه شورتر به ناحیه پیرامون به مدت ۲۷ روز و ۲۳ مرحله انجام شد.

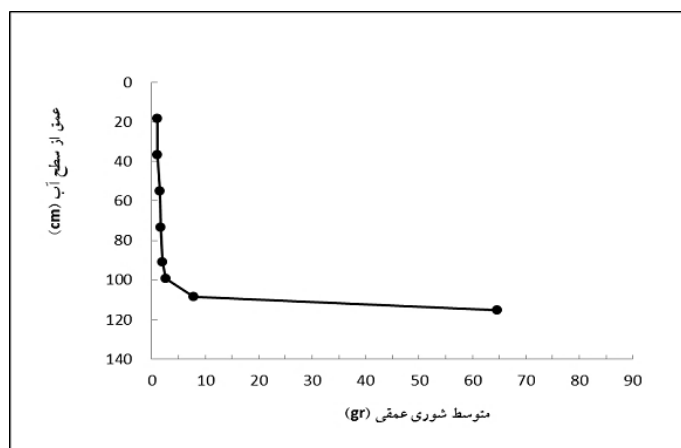


شکل ۱۴: تصویر سنگ نمک در پایان نمونه برداری

شکل های ۱۵ و ۱۶ بیانگر تجمع شوری در ناحیه پایین مخزن و نزدیک به سنگ نمک در کف مخزن آزمایشگاهی به ترتیب در ابتدا و انتهای آزمایش است. تفاوت متوسط شوری در ناحیه اول در ۹۴۴ مرحله نمونه برداری ۰/۲۱۹ میلی زیمنس متوسط شوری در اولین برداشت در ناحیه اول ۱/۸۰۱ میلی زیمنس و این مقدار در آخرین مرحله نمونه برداری به ۲/۰۲ میلی زیمنس رسید. با توجه به شرایط مخزن آزمایشگاهی در طول دوره نمونه برداری این مقدار مختصر نوساناتی داشت.



شکل ۱۵: نمودار تغییرات متوسط شوری نسبت به عمق در واحد زمان (مرحله اول: ابتدای آزمایش)



شکل ۱۶: نمودار تغییرات متوسط شوری نسبت به عمق در واحد زمان (مرحله بیست و هفت: انتهای آزمایش)

با توجه به نتایج مشاهده گردید متوسط مقدار شوری ناحیه هفتم (روزنه خروجی شماره ۸) در روز اول ۳/۳ میلی زیمنس و مقدار شوری در آخرین مرحله نمونه برداری در این ناحیه ۱۲۹/۵ میلی زیمنس است. متوسط تفاوت شوری در طول دوره آزمایش معادل ۱۲۶/۲ میلی زیمنس است و زمانی که آب مخزن آزمایشگاهی در شرایط ایستا باشد حدود ۷۰٪ تغییرات شوری ناشی از انحلال سنگ نمک که باعث شوری محیط پذیرنده می گردد در لایه های پایین (لایه پنجم تا هفتم) رخ داد و همان طور که از نمودارها مشخص شده است تأثیر شوری در لایه های بالایی مخزن آزمایشگاهی چندان مشاهده نشد. پارامترهای مؤثر بر توزیع شوری عبارتند از ضریب انحلال، پخش افقی و قائم آب، دبی آب، دما، رطوبت نسبی و رفتار توده نمکی موجود در سد

گتوند می‌باشد (هاشمی حیدری و همکاران، ۱۳۹۸). آب شور به واسطه چگالی بالاتر نسبت به آب خالص دارای وزن بالاتری بود و از این رو در لایه‌های زیرین مخزن تجمع پیدا می‌کند (Chapra, 1997؛ قمشی، ۱۳۹۵). از این رو، بالاتر بودن ۴۰ برابری شوری آب نزدیک به سنگ نمک مخزن مورد آزمایش (ارتفاع ۱۸/۵ سانتی‌متر) نسبت به بالاترین ارتفاع مخزن (ارتفاع ۱۱۵/۵ سانتی‌متر) قابل توجیه می‌باشد. از سویی دیگر، بررسی‌ها نشان داده است که همزمان با افزایش شوری آب به دنبال افزایش انحلال سنگ نمک، حجم نمک نیز در طول زمان کاهش قابل‌ملاحظه‌ای را داشت (قمشی، ۱۳۹۵؛ ندرخانلو و همکاران، ۱۳۹۶) که با نتایج به دست آمده در این تحقیق مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق اثر سرعت نسبی اولیه انحلال نمک به بستر محیط پذیرنده انحلال‌پذیر با محاسبه شدت انحلال سنگ نمک در محیط پذیرنده ساکن و تأثیر شوری در لایه‌های ناهمگن در مخزن سد گتوند علیا در شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. از سطح ۰/۷۵ مترمربعی مورد آزمایش به طور متوسط روزانه ۲۵ گرم انحلال از سطح سنگ نمک صورت گرفت که این مقدار معادل ارتفاع ۰/۱۲۶ میلی‌متر می‌باشد و بدان معنی است که سالانه از سازند نمکی مخزن حدوداً ۵ سانتیمتر انحلال صورت می‌یابد. اندازه‌گیری شوری در لایه‌های مختلف مدل آزمایشی نشان داد که اختلاف تغییرات شوری در اعماق پایین مخزن آزمایشگاهی در یک بازه زمانی ۲۷ روز حدود ۴۰ برابر بیشتر از لایه‌های بالایی بود. به طوری که در این دوره زمانی متوسط شوری در لایه فوقانی از ۱/۸ میلی‌زیمنس به ۲/۰۲ میلی‌زیمنس رسید ولی میزان تغییرات شوری در نزدیک‌ترین لایه تماس آب با سنگ نمک از ۳/۳ میلی‌زیمنس در اولین برداشت به ۱۲۹/۵ میلی‌زیمنس در آخرین نمونه‌گیری بود. به عبارتی دیگر، میزان تغییرات شوری بازه ۲۷ روز مورد بررسی در لایه فوقانی با ارتفاع از ۱۱۵/۵ سانتی‌متر برابر با ۱۰/۸۹ درصد و در لایه پایینی با ارتفاع ۱۸/۵ سانتی‌متر برابر با ۹۷/۴۵ درصد بود که این امر بیانگر شرایط یک محیط فوق اشباع شور در محیط پذیرنده است.

منابع

- بقاءدشتکی، ب.، خامه‌چیان، م. و نظری، س. م. ح. (۱۳۸۹). بررسی پایداری دامنه‌های سازند گچساران در مخزن سد گتوند تحت تأثیر تغذیه مخزن و انحلال مواد نمکی. زمین‌شناسی مهندسی، دوره ۴، شماره ۱، ص ۸۰۹-۸۲۶.
- حداد، ع.، نعیمی، م. و محمدی، ج. س. (۱۳۹۶). ارزیابی اثرات زیست‌محیطی سدها در مراحل ساخت و بهره‌برداری. چهارمین کنفرانس بین‌المللی رفتار بلندمدت و سدهای دوستدار محیط زیست. کمیته ملی سدهای بزرگ ایران. ۲۷-۲۵ مهر ۱۳۹۶، تهران، ایران.
- حسنوند، م.، دهرآزما، ب.، حافظی مقدس، ن. و کرمی، ر. (۱۳۸۹). بررسی تغییرات کیفی آب موجود در فرازبند سد گتوند علیا. چهارمین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست. دانشگاه تهران. ۱۰ آبان ۱۳۸۶، تهران، ایران.

داموغ، ن. و بنی‌هاشمی، ر. (۱۳۹۰). بررسی مشکلات ناشی از انحلال سازند گچساران در مخزن سد گتوند. گزارش نهایی پروژه پژوهشی.

داموغ، ن. و زارعی، ح. (۱۳۸۹). گسترش لایه‌های ضخیم نمکی سازند گچساران در مخزن سد گتوند علیا و تاثیر آن بر کیفیت آب. اولین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی کرمانشاه. ۲۳ اردیبهشت ۱۳۸۹، کرمانشاه، ایران.

دهرآزما، ب.، حافظی مقدس، ن.، حسنونند، م. و کرمی، ر. (۱۳۹۳). بررسی ژئوشیمی سازندهای مخزن سد گتوند علیا و تاثیر آن‌ها بر کیفیت آب سد. مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، دوره ۷، شماره ۱، ۲، ص. ۲۹-۴۰.

رسولی‌منش، م. (۱۳۹۳). ارزیابی ریسک زیست‌محیطی آلودگی شوری در مخازن سدها و راهکارهای مقابله با آن. پایان نامه کارشناسی ارشد، تهران، ایران. ۱۲۵ ص.

زارعی ح. و اژدری ع. (۱۳۸۵). کیفیت شیمیایی منابع آب حوضه آبریز سد ابوالفارس و تاثیر سازند گچساران بر آن. دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. دانشگاه تربیت مدرس. ۱۳ شهریور ۱۳۸۵، تهران، ایران.

ضیاء، ع.، غلامی، م. ع.، محجوب، د. و ابتکار، ا. (۱۳۹۴). مروری بر مسئله سازند گچساران مخزن سد گتوند علیا قسمت اول: معرفی و تشریح ابعاد مسئله. دومین کنفرانس ملی مکانیک و مهندسی پی. دانشگاه صنعتی قم. ۲۱ مهر ۱۳۹۴، قم، ایران.

قمشی، م. و حق‌بین، ا. (۱۳۹۲). آنالیز شوری در سد گتوند علیا و اثر آن بر رودخانه کارون. چهارمین همایش ملی شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز. ۷-۵ اسفند ۱۳۹۲، اهواز، ایران.

قمشی، م. (۱۳۹۵). درس‌هایی که باید از سرنوشت سد گتوند آموخت. فصلنامه مطالعات راهبردی سیاست‌گذاری عمومی، دوره ۶، شماره ۲۰، ص. ۱۸۷-۱۸۳.

کریمی وردنجانی، ح. (۱۳۸۸). هیدروژئولوژی کارست - مفاهیم و روش‌ها. انتشارات ارم شیراز، شیراز، ۴۱۴ ص.

محمد طاهری، ح. (۱۳۹۳). تحلیل داده‌های صحرایی و شبیه‌سازی توزیع شوری در مخزن سد با سازندهای نمکی، پایان نامه کارشناسی ارشد، تهران، ایران.

منجزی، س.، مؤمنی، م.، نجارچی، م.، منجزی، ن. و حسونی‌زاده، ه. (۱۴۰۱). شبیه‌سازی توزیع شوری به علت کارست نمکی فعال در سد گتوند با استفاده از سیستم داینامیک و تعیین پارامترهای مؤثر بر مقدار شوری. پژوهشی‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، دوره ۸۶، شماره ۱، ص. ۹۸-۶۷.

نجمانی، م. (۱۳۸۲). سد و محیط زیست. وزارت نیرو، کمیته ملی سدهای بزرگ ایران. چاپ اول. تهران.

ندرخانلو، و.، مظاهری، م. و محمدولی‌سالمانی، ج. (۱۳۹۶). بررسی و مدل‌سازی چالش سد گتوند علیا (هیدرودینامیک و شوری مخزن) و ارائه راهکارهای مدیریتی. محیط‌شناسی، دوره ۴۳، شماره ۲، ص. ۲۶۵-۲۵۱.

هاشمی حیدری، س. م.، جلیلی قاضی زاده، م. ر. و محجوب، د. (۱۳۹۱). بررسی عددی تاثیر ضریب انحلال نمک بر توزیع شوری در مخازن دارای سازند نمکی. نهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران. دانشگاه صنعتی اصفهان. ۱۹ اردیبهشت ۱۳۹۱، اصفهان، ایران.

هاشمی حیدری، س. م.، جلیلی قاضی‌زاده، م. ر.، احسانی، م.، احمدی، ا. و محجوب، د. (۱۳۹۸). شبیه‌سازی عددی و بررسی آزمایشگاهی انحلال کارست نمکی در مخازن سدها. نشریه مهندسی عمران مدرس، دوره ۱۹، شماره ۵، ص. ۲۲۱-۲۳۵.

هاشمی فرد، ا.، کردوانی، پ. و اسدیان، ف. (۱۳۹۷). بررسی تغییر فرم سازند گچساران در محدوده سد گتوند علیا با استفاده از داده های سنجش از دور راداری. فصلنامه جغرافیای طبیعی، دوره ۱۱، شماره ۴۰، ص ۴۹-۶۱.

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, pp: 449-455.

Chapra, S.C. (1997). Surface water-quality modeling. New York. McGraw Hill Companies, Inc.

Mudry, J., Zwahlen, F., Bertrand, C. and LaMoreaux, J.W. (2014). H2Karst Research in Limestone Hydrogeology. Springer International Publishing.

The effect of the initial relative rate of salt dissolution in the tank on the salinity changes of the dissolved receiving environment (Case study: Gotvand Olya Dam)

Ali Shafiee Sararoudi^{1*} and Mehdi Ghomshi²

- 1) Department of Water Engineering, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.
- 2) Professor of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

*Correspondence author: ashafiee@scu.ac.ir

Received Data: 2022. 05. 08

Accepted Data: 2022. 08.22

Abstract

The presence of salt domes and streaks around reservoir dams with evaporation formations is one of the most important challenges created around them, which went under water after dewatering the dam and led to excessive salinity of water in the reservoir and downstream of these dams. The general goal of the current research is to obtain an estimate of dissolution amount of rock salt (available in the Gotvand olya dam reservoir) in water. Firstly, the relative speed of rock salt dissolution and then the effect of released salt amount on the salinity changes of different heights of the reservoir water were investigated in a laboratory manner at a period of 27 days. In this study, a physical model including a polyethylene tank with 3 vertical layers and an electronic panel programmed using a PLC device was used in the Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz. The results of the analysis of dissolved rock salt samples (mg/day) showed that the salinity profile changes initially increased and reached an almost constant value over time. In such a way that on average 25 gr of rock salt was dissolved in the water of the reservoir daily, which indicated the annual dissolution of 5 cm of the salt formation of the Gotvand dam reservoir. On the other hand, the changes in the salinity of the soluble receiving environment bed of the static environment in the laboratory tank indicated a 40-fold difference in the bottom depths salinity of the tank compared to the upper layers and it was a saline supersaturated environment in the receiving environment.

Keywords: Salinity profile, Rock salt, Dissolution intensity, Physical model