

## اندازه گیری و شبیه سازی کلر در مخزن سد درودزن با استفاده از مدل HEC-5Q

مسعود نوشادی

استادیار بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز  
Email:noshadi@shirazu.ac.ir

مسعود سکوت

کارشناس ارشد بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز  
شیراز، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

تاریخ پذیرش: ۸۹/۵/۲۶

تاریخ دریافت: ۸۹/۳/۱۹

### چکیده

در این تحقیق در طول ۲۶ ماه و در هر ماه دو بار از مخزن سد درودزن در عمق‌های مختلف نمونه برداری شد و سپس غلظت کلر آب اندازه گیری گردید. بر اساس داده های اندازه گیری شده مدل HEC5-Q واسنجی و سپس با استفاده از آن مخزن شبیه سازی شد. میانگین غلظت کلر مشاهده شده و شبیه سازی شده در طول سال اول بترتیب ۵۲/۹ و ۵۵/۴ و در سال دوم بترتیب ۷۹/۷ و ۸۵/۸ میلی گرم در لیتر بوده است. تغییرات غلظت کلر اندازه گیری شده و پیش بینی شده در سال اول بترتیب بین ۳۳/۷-۱۰۶/۴ و ۳۳/۲-۸۹/۹ و در سال دوم بترتیب بین ۱۷۷/۷-۲۸/۴ و ۱۶۹-۲۸/۶ میلی گرم در لیتر بوده است. حداکثر غلظت کلر در سال اول در بهمن (۱۰۶/۴ میلی گرم در لیتر) و در سال دوم در آذر (۱۷۷/۷ میلی گرم در لیتر) بوده است. مقادیر پیش بینی شده و میانگین مقادیر d, RMSE و MAE نشان می دهد که نتایج شبیه سازی در دو سال متوالی با داده های اندازه گیری شده انطباق خوبی دارد.

کلمات کلیدی: کلر، کیفیت آب، مخزن سد، مدل HEC5-Q.

### مقدمه

همکاران ۱۹۹۷. پاول و همکاران (۲۰۰۱) کاهش تنوع زیستی (روزنبرگ و همکاران ۱۹۹۷ و ۲۰۰۰) افزایش سیکل فلزات سنگین (لوچوارن و همکاران ۱۹۹۳. لوکت و همکاران ۱۹۹۹. کاناوان و همکاران ۲۰۰۰. موننگومری و همکاران ۲۰۰۰) دارند.

عدم انطباق تقاضا با منابع موجود باعث تغییر مقدار ذخیره آب در مخازن سدها گردیده و در نتیجه روی کیفیت آب آنها اثر دارد. (مازر و مرو ۱۹۶۹. گویرتزن و همکاران ۱۹۹۷. همبرایت و همکاران ۱۹۹۷. هاکنسن و همکاران ۲۰۰۰). بنابراین نیاز به وجود یک مدل مناسب برای پیش بینی تغییرات کیفی آب توسط مدیران و محققین وجود دارد تا بتوانند سناریوهای مختلف را بررسی کنند (گیدتون و

در مناطق نیمه خشک تقاضا برای آب با کیفیت مناسب رو به افزایش است و در نتیجه فشار بر روی منابع و اکوسیستم های آبی روز به روز بیشتر می گردد. در قرن بیستم به دلیل رشد زیاد جمعیت و نیازهای صنعت، کشاورزی و شهری احداث سازه های بزرگ آبی مانند مخازن سدها افزایش یافت تا بتواند مانع کمبود آب گردد (گلیک، ۲۰۰۰. میک و همکاران ۲۰۰۰. دانی ۲۰۰۰). اما این دریاچه های مصنوعی اثرات زیست محیطی زیادی مانند مغذی شدن<sup>۱</sup> (الباز- پولیچت و همکاران ۱۹۹۷. روزنبرگ و

<sup>۱</sup> - Eutrophication

در این مدل مخازن بصورت مجموعه ای از قطعات یک بعدی هستند که هر قطعه بصورت یک المان حجمی است و توسط یک سطح، یک ضخامت و یک حجم مشخص می شود و در هر المان فرض شده که آب مخلوط شده است. با توجه به اینکه المان بندی بصورت عمقی است جابجایی جریانهای ورودی و خروجی بصورت عمودی مورد بررسی قرار می گیرند. بنابراین تعیین نواحی توزیع و تخلیه برای جریانهای ورودی و خروجی، نقش مهمی در عملکرد مدل دارد. در این مدل از روش تخصیص جریان ورودی برای مکان یابی جریانهای ورودی استفاده می شود. روش تخصیص جریان ورودی مبتنی بر این فرض است که آب ورودی در تراز با چگالی مشابه، قرار می گیرد. اگر چگالی آب ورودی خارج از دامنه چگالی های موجود در دریاچه سد باشد، بسته به اینکه چگالی آب ورودی کمتر از مینیمم یا بیشتر از ماکزیمم چگالی آب موجود باشد، جریان ورودی در سطح یا ته دریاچه سد قرار می گیرد.

از مدل HEC-5Q برای بررسی و واسنجی سد لتیان استفاده شد و نشان داد که مخزن سد لتیان دارای یک دوره لایه بندی می باشد که در اواخر اسفند یا اوایل فرودین ماه با توجه به شرایط حاکم شروع به شکل گرفتن کرده و حدوداً در اواخر مهرماه و اوایل آبان ماه اختلاط در مخزن رخ می دهد. در زمانی که شرایط لایه بندی بر مخزن حاکم است اختلاف غلظت اکسیژن محلول در اعماق به هفت میلی گرم در لیتر می رسد (ارحامی و همکاران، ۱۳۸۱). همچنین این مدل در دریاچه های سونوما<sup>۱</sup> و مندسینو<sup>۲</sup> مورد استفاده قرار گرفته است.

### مواد و روشها

در این تحقیق در طول ۲۶ ماه و در هر ماه دو بار از مخزن سد دروزن در عمقهای مختلف نمونه برداری شد و سپس غلظت کلر آب اندازه گیری گردید. نمونه گیری آب در فاصله ۲۰۰ متری از دیواره سد و در اعماق مختلف از سطح آب به فواصل پنج متر تا کف مخزن صورت گرفته است. برای نمونه گیری از یک نمونه گیر مخصوص آب استفاده می گردید که پس از قرار گرفتن در عمق مورد نظر درب های آن بسته می شد. بر اساس داده های اندازه گیری

همکاران ۲۰۰۳). مدل های عددی کیفیت آب برای ارزیابی استراتژیهای مدیریتی مختلف به طور گسترده ای برای دریاچه ها، مخازن، رودخانه ها و مناطق ساحلی استفاده می شود (رومرو و همکاران، ۲۰۰۷).

سد دروزن بر روی رودخانه کر و در حدود ۷۰ کیلومتری شمال غربی شیراز ظرفیت اولیه ۹۹۳ میلیون متر مکعب احداث شده و عمق متوسط دریاچه حدود ۴۰ متر می باشد. دبی متوسط سالانه رودخانه کر که اصلی ترین تأمین کننده آب مخزن سد است برابر ۳۰/۸۶۵ متر مکعب در ثانیه و معادل ۹۷۳/۴ میلیون متر مکعب در سال می باشد. هدف از احداث این سد که بزرگترین سد در حال بهره برداری در استان فارس است، آبیاری بیش از ۷۰۰۰۰ هکتار اراضی کشاورزی، تأمین آب آشامیدنی شهر شیراز، تأمین آب مورد نیاز کارخانجات منطقه مرودشت و اطراف آن، کنترل سیلابهای زمستان، پرورش ماهی و جلب توریست می باشد (باصری، ۱۳۸۳). در بالا دست سد دروزن حدود ۲۰ تا ۳۰ هزار هکتار شالیزار و اراضی کشاورزی وجود دارد که بخشی از آلودگی های ناشی از کاربرد کودهای شیمیایی و آفت کش ها در اراضی حاشیه رودخانه کر وارد آن شده و سپس به سد دروزن وارد می گردد. از طرف دیگر بخش عظیمی از آب مخزن به منظور آب شرب شهر شیراز، تأمین آب اراضی پایین دست و حوضچه های پرورش ماهی مورد استفاده قرار می گیرد.

بنابراین بررسی کیفی آب مخزن به دلیل ورود آلاینده

های کشاورزی و خانگی امری ضروری می باشد.

### مدل شبیه سازی کیفی HEC-5Q

مدل های شبیه سازی متنوعی مانند CE-WASP, CE-WORRS, CE-QUAL-W2, QUAL-R و HEC-5Q برای ارزیابی کیفی سیستم های منابع آب وجود دارد. هزینه محاسباتی قابل قبول و امکان جمع آوری یا برآورد نیازهای اطلاعاتی این مدل ها موجب شده است تا امروزه کاربرد گسترده ای در برنامه ریزی و مدیریت سیستم های منابع آب داشته باشند. HEC-5Q اگرچه یک مدل یک بعدی است ولی به طور گسترده در شبیه سازی مخازن و دریاچه ها مورد استفاده قرار گرفته است و نتایج نشان دهنده کارایی مطلوب آن در برنامه ریزی کمی و کیفی سیستم های رودخانه-مخزن می باشد.

<sup>1</sup> - Sonoma

<sup>2</sup> - Mendocino

شبهه‌سازی شده و  $n$  تعداد نمونه‌ها می‌باشد. مقدار NRMSE بیانگر این است که مقادیر پیش‌بینی شده چقدر از مقادیر مشاهده شده انحراف دارد و حد پایین NRMSE صفر است. MAE بیانگر مقدار متوسط خطا می‌باشد. هرچه دو پارامتر NRMSE و MAE کمتر باشند، نشان‌دهنده دقت بیشتر است.  $d$  نیز بیانگر عملکرد مدل بوده و مقدار آن بین صفر و یک می‌باشد که هر چه به یک نزدیک‌تر باشد بهتر است.

### بحث

شکل‌های (۱) تا (۳) و جدول (۱) غلظت‌های اندازه‌گیری شده و شبهه‌سازی شده‌ی کلر را به همراه پارامترهای ارزیابی مدل نشان می‌دهند. شکل (۱) مربوط به سال اول می‌باشد. در فصل بهار سال اول غلظت کلر مشاهده شده بین  $۳۳/۷ - ۶۰/۳$  با میانگین  $۴۱/۱$  و پیش‌بینی شده بین  $۳۳/۲ - ۵۱/۷$  با میانگین  $۴۲/۸$  میلی گرم در لیتر است. تغییرات غلظت کلر در ماه‌های فروردین و خرداد اندک و مخزن تقریباً یکنواخت بوده (شکل ۱- الف) و میانگین غلظت کلر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در سراسر مخزن سد درودزن در این دو ماه به ترتیب  $۳۸/۲$  و  $۳۹/۱$  میلی‌گرم در لیتر است. نتایج شبهه‌سازی نشان می‌دهد که غلظت کلر پیش‌بینی شده و مشاهده شده انطباق نسبتاً خوبی داشته‌اند (جدول ۱). در اردیبهشت (شکل ۱- الف) تغییرات غلظت کلر در مخزن نسبت به ماه فروردین بیشتر شده و بین  $۳۵/۵$  (در عمق ۱۰ متری) تا  $۶۰/۳$  (در عمق ۲۰ متری) با میانگین  $۴۵/۱$  میلی‌گرم در لیتر بوده است که تا حدود نسبتاً زیادی از این تغییرات توسط مدل نیز پیش‌بینی شده است (جدول ۱). غلظت کلر پیش‌بینی شده بین  $۴۱/۳$  تا  $۵۱/۷$  با میانگین  $۴۶/۵$  میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

در فصل تابستان سال اول غلظت کلر مشاهده شده بین  $۶۰/۳ - ۳۵/۴$  با میانگین  $۵۲/۳$  و پیش‌بینی شده بین  $۷۴/۹ - ۳۷/۲$  با میانگین  $۵۴/۱$  میلی‌گرم در لیتر است. در ماه‌های تیر و مرداد (شکل ۱- ب) تغییرات غلظت کلر در مخزن اندک بوده و میانگین غلظت مشاهده شده به ترتیب  $۴۳/۷$  و  $۵۴/۱$  میلی‌گرم در لیتر روند مقادیر پیش‌بینی شده مانند مقادیر مشاهده‌ای بوده و مدل خیلی خوب غلظت کلر را پیش‌بینی کرده است (جدول ۱). میانگین غلظت پیش‌بینی شده در ماه‌های تیر و مرداد به ترتیب  $۴۴/۰$  و  $۵۴/۱$  میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. بنابراین غلظت کلر اندازه‌گیری شده و

شده مدل HEC5-Q واسنجی گردید و سپس با استفاده از آن مخزن شبهه‌سازی شد. اطلاعات مورد نیاز مدل شامل اطلاعات هواشناسی (درصد ابری بودن، تشعشع موج کوتاه، نسبت ساعات آفتابی موجود به حداکثر ساعات آفتابی ممکن  $(n/N)$ ، دمای خشک و تر فشار بارومتریک، درجه حرارت متوسط هوا، فشار بخار، بارندگی، سرعت باد، تبخیر تعرق و ... می‌باشد)، داده‌های کیفی رودخانه ورودی به مخزن، شرایط اولیه و اطلاعات پایه مخزن سد (تعداد خروجی‌های سد، تراز هر یک از خروجی‌ها، حداکثر دبی مجاز هر یک از دریچه‌ها، عرض هر یک از دریچه‌ها، تراز حداقل و حداکثر سطح آب و تراز کف مخزن، تراز سطح آب در شروع شبهه‌سازی، میزان حجم مخزن در ترازهای مشخص شده، میزان سطح مخزن در ترازهای مشخص مخزن، عرض سد، طول تاج سد، طول مخزن سد، حجم مرده و ... می‌باشد.

### بررسی اعتبار مدل

برای ارزیابی دقت مدل از ویژگی‌های آماری جذر میانگین مربعات خطا<sup>۱</sup> (NRMSE)، شاخص تطابق<sup>۲</sup> (d) (Willmott, 1982) و میانگین قدرمطلق خطا<sup>۳</sup> (MAE) استفاده گردید. روابط NRMSE، d و MAE عبارتند از:

$$NRMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \times \frac{100}{\bar{o}} \quad (1)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|p'_i| + |o'_i|)^2} \quad (2)$$

$$p'_i = p_i - \bar{o} \quad o'_i = o_i - \bar{o}$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |p_i - o_i|}{n} \quad (3)$$

در این رابطه‌ها  $p$  و  $o$  به ترتیب مقادیر مشاهده شده و شبهه‌سازی شده،  $\bar{p}$  و  $\bar{o}$  میانگین مقادیر مشاهده شده و

<sup>۱</sup> - Normalized Root Mean Square Error

<sup>۲</sup> - Index of agreement

<sup>۳</sup> - Mean Absolute Error (MAE)

پیش بینی شده بین ۶۴/۳-۵۶/۵ با میانگین ۶۱/۳ میلی گرم در لیتر می باشد.

در زمستان سال اول غلظت مشاهده شده بین ۱۰۶/۴-۴۶/۱ با میانگین ۶۳/۸ و پیش بینی شده بین ۸۴/۹-۴۴/۶ با میانگین ۶۶/۶ است. در ماههای دی و اسفند (شکل ۱-د) وضعیت تقریباً یکنواختی در مخزن وجود دارد و میانگین غلظت کلر اندازه گیری شده و شبیه سازی شده در دی بترتیب ۵۳/۸ و ۵۰/۰ میلی گرم در لیتر و در اسفند بترتیب ۶۵/۳ و ۷۲/۲ میلی گرم در لیتر می باشد. در بهمن ماه (شکل ۱-د) نوسانات غلظت کلر زیاد است و به طور کلی از عمق صفر تا ۱۵ متری یک روند صعودی وجود دارد که غلظت از ۵۳/۲ در سطح مخزن به ۱۰۶/۴ میلی گرم در لیتر در عمق ۱۵ متری رسیده است. در عمق ۱۵ تا ۲۰ متری یک روند شدید نزولی رخ داده و غلظت از ۱۰۶/۴ به ۷۲/۷ میلی گرم در لیتر رسیده و نهایتاً با یک روند کاهشی تدریجی از ۷۲/۷ به ۶۵/۶ میلی گرم در لیتر رسیده است. میانگین غلظت در مخزن ۷۲/۴ میلی گرم در لیتر می باشد. مقادیر شبیه سازی نشان می دهد که با وجود اینکه مقادیر پیش بینی شده کمتر از مشاهده شده است ولی مدل توانسته است پیش بینی نسبتاً خوبی از تغییرات غلظت کلر در مخزن داشته باشد. غلظت کلر پیش بینی شده بین ۸۴/۹-۷۱/۵ با میانگین ۷۷/۵ میلی گرم در لیتر است.

نتایج سالهای دوم و سوم در شکل (۲) نشان داده شده است. در فصل بهار سال دوم غلظت مشاهده شده بین ۶۷/۴-۲۸/۴ با میانگین ۴۳/۳ و پیش بینی شده بین ۵۸/۹-۲۸/۶ با میانگین ۴۵/۵ میلی گرم در لیتر می باشد. بنابراین دقت شبیه سازی در حد بسیار خوبی بوده است. در فروردین (شکل ۲-الف) غلظت کلر بین ۲۸/۴ (عمق ۲۵ متری) تا ۵۳/۲ (کف مخزن) با میانگین ۴۳/۶ میلی گرم در لیتر بوده است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که مدل به خوبی روند تغییرات غلظت را پیش بینی کرده ولی در عمق هایی که تغییرات شدید غلظت رخ داده نتوانسته غلظت را به خوبی شبیه سازی کند. غلظت پیش بینی شده بین ۵۸/۹-۴۳/۲ با میانگین ۴۷/۹ میلی گرم در لیتر. در اردیبهشت ماه (شکل ۲-الف) غلظت بین ۶۷/۴-۳۳/۷ با میانگین ۴۴/۶ میلی گرم در لیتر بوده است. نتایج پیش بینی شده نشان می دهد که مدل روند و مقدار غلظت را به خوبی پیش بینی کرده ولی در عمق ۲۵ متری که حداکثر غلظت

پیش بینی شده در مرداد از تیر بیشتر است. در شهریور ماه (شکل ۱-ب) شرایط در مخزن کاملاً متفاوت است. غلظت کلر در سطح مخزن برابر ۴۶/۱ میلی گرم در لیتر است که در اعماق پایین تر افزایش یافته و در عمق ۱۰ متری به ۸۸/۶ میلی گرم در لیتر رسیده است. این مقدار نیز در اعماق پایین مخزن کاهش پیدا کرده و در کف مخزن (۲۰/۵ متری) ۴۹/۶ میلی گرم در لیتر شده است. در این ماه لایه بندی در مخزن صورت گرفته و لایه اول (ابی لیمنیون) از سطح تا عمق ۵ متری و لایه دوم (ترموکلاین) از عمق ۰ تا ۱۰ متری و لایه پایینی (هیپولیمنیون) از عمق ۱۰ متری تا کف مخزن ادامه داشته است. مدل لایه بالایی مخزن را به خوبی پیش بینی کرده و در لایه پایینی نیز روند را پیش بینی کرده، ولی مقادیر غلظت به خوبی شبیه سازی نشده است. غلظت پیش بینی شده بین ۷۴/۹-۴۸/۲ با میانگین ۶۵/۷ میلی گرم در لیتر بوده است.

در فصل پاییز سال اول غلظت کلر مشاهده شده بین ۷۰/۹-۴۷/۹ با میانگین ۵۴/۶ و پیش بینی شده بین ۶۴/۳-۵۱/۶ با میانگین ۵۸/۰ میلی گرم در لیتر است. در مهر ماه (شکل ۱-ج) غلظت کلر بین ۴۹/۶ (سطح مخزن) و تا ۵۴/۹ (عمق ۱۰ متری) با میانگین ۵۲/۱ میلی گرم در لیتر بوده و مخزن از نظر غلظت کلر تقریباً یکنواخت است. نتایج پیش بینی شده نشان می دهد که روند و مقادیر غلظت کلر پیش بینی شده مناسب بوده و غلظت بین ۶۱،۰-۵۱،۶ با میانگین ۶۵،۷ میلی گرم در لیتر می باشد (جدول ۱). در ماه آبان غلظت کلر در مخزن به جز در عمق ۱۵ متری تقریباً یکنواخت است. غلظت کلر در سطح مخزن ۴۷/۹ میلی گرم در لیتر است که در عمق ۱۵ متری به ۶۷/۴ میلی گرم در لیتر رسیده و در کف مخزن (۱۸ متری) به ۴۹/۶ میلی گرم در لیتر کاهش یافته است (شکل ۱-ج). نتایج شبیه سازی مقادیر و روند تغییرات غلظت کلر را به خوبی پیش بینی کرده ولی تغییر شدید غلظت در عمق ۱۵ متری را نتوانسته به خوبی پیش بینی کند. غلظت کلر شبیه سازی شده بین ۵۹/۱-۳۵/۵ با میانگین ۵۶/۷ میلی گرم در لیتر می باشد (جدول ۱). در آذر ماه (شکل ۱-ج) غلظت کلر بین ۵۳/۲ (در سطح و عمق ۵ متری) تا ۷۰/۹ (عمق ۱۰ متری) با میانگین ۵۸/۸ میلی گرم در لیتر می باشد. نتایج پیش بینی شده نشان می دهد که تغییرات غلظت کلر در مخزن با مقادیر مشاهده شده همخوانی بهتری نسبت به ماه قبل داشته و غلظت کلر

بوده و لایه دوم (ترموکلاين) که از ۱۰ تا ۱۵ متری است. شاید اگر عمق آب مخزن سد بیشتر بود لایه سوم (هیپولیمنیون) هم تشکیل می‌شد. روند تغییرات غلظت کلر پیش‌بینی شده با روند تغییرات غلظت کلر مشاهده شده انطباق خوبی دارد ولی باز هم مدل نتوانسته تغییر ناگهانی غلظت را پیش‌بینی کند. غلظت شبیه‌سازی شده بین ۱۶۹,۰-۱۵۵,۰ با میانگین ۱۶۱/۶ میلی‌گرم در لیتر بوده است.

در زمستان سال دوم مقادیر مشاهده شده بین ۱۴۱/۸-۴۹/۶ با میانگین ۹۳/۵ و پیش‌بینی شده بین ۶۸/۵-۱۲۵/۰ با میانگین ۱۰۳/۰ میلی‌گرم در لیتر است. داده‌های این فصل در دو سال متوالی نشان دهنده تغییرات زیاد غلظت کلر در این فصل است که علت نوسانات زیاد این فصل مربوط به ماه بهمن در هر دو سال متوالی است که به دلیل همین تغییرات نیز دقت شبیه‌سازی اندکی کاهش یافته است. در دی ماه (شکل ۲-د) غلظت کلر از ماه‌های آبان و آذر کمتر شده و بین ۱۱۷/۳-۱۰۳/۱ با میانگین ۱۱۲/۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که غلظت کلر پیش‌بینی شده در تمام اعماق مخزن بیشتر از غلظت مشاهده‌ای بوده و بین ۱۳۶/۲-۱۱۲/۳ با میانگین ۱۲۳/۲ میلی‌گرم در لیتر است. تغییرات غلظت کلر در بهمن ماه نوسانات زیادی در مخزن داشته و بین ۸۵/۱ (عمق ۱۰ متری) تا ۱۴۱/۸ (عمق ۵ متری) با میانگین ۱۰۵/۲ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد (شکل ۲-د). این تغییرات شدید در بهمن سال قبل نیز وجود داشت (شکل ۱-د) ولی در بهمن سال دوم مقادیر غلظت افزایش زیادتری داشته است. علت این افزایش‌ها در ماه بهمن هر دو سال می‌تواند مربوط به افزایش کلر ورودی همراه با رواناب باشد که منشاء آن آفت کشته‌های کلره‌ای است که در اراضی کشاورزی بالادست مخزن سد مصرف می‌شود. در این ماه غلظت کلر پیش‌بینی شده بین ۱۲۵-۱۰۵/۳ با میانگین ۱۱۳/۲ میلی‌گرم در لیتر بوده ولی تغییرات ناگهانی غلظت به خوبی پیش‌بینی نشده است. ولی روند کلی داده‌های پیش‌بینی شده متناسب با مقادیر مشاهده شده است (جدول ۱-ب). غلظت کلر در اسفند (شکل ۲-د) در اعماق مختلف مخزن تغییرات جزئی داشته و بین ۴۹۶/۶ (سطح مخزن) و ۷۰/۹ (کف مخزن) با میانگین ۶۳/۳ میلی‌گرم در لیتر است. غلظت پیش‌بینی شده توسط مدل انطباق بسیار خوبی با داده‌های

وجود دارد پیش‌بینی به خوبی صورت نگرفته است. تغییرات غلظت کلر در خرداد ماه (شکل ۲-الف) اندک بوده و مخزن تقریباً یکنواخت است. میانگین غلظت کلر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده بترتیب ۴۱/۸ و ۴۸/۲ میلی‌گرم در لیتر بوده و غلظت کلر پیش‌بینی شده نزدیک به غلظت مشاهده‌ای بوده ولی همواره از آن بزرگتر می‌باشد.

در تابستان سال دوم فقط در ماه شهریور اندازه‌گیری صورت گرفته است که غلظت کلر اندازه‌گیری شده بین ۶۰/۳-۴۲/۵ با میانگین ۵۳/۲ و شبیه‌سازی شده بین ۶۴/۵-۵۲/۸ با میانگین ۵۷/۱ میلی‌گرم در لیتر است (شکل ۲-ب). نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که تغییر ناگهانی غلظت در عمق ۱۵ متری به خوبی پیش‌بینی نشده است ولی در سایر اعماق دقت پیش‌بینی خوب بوده است.

در پاییز سال دوم غلظت کلر اندازه‌گیری شده بین ۱۷۷/۷-۵۱/۴ با میانگین ۱۱۱/۰ و پیش‌بینی شده بین ۱۶۹/۰-۶۴/۲ با میانگین ۱۱۸/۶ میلی‌گرم در لیتر است. با توجه به این داده‌ها و داده‌های پاییز سال قبل، تغییرات شدید غلظت کلر در فصل پاییز وجود دارد ولی مقادیر پیش‌بینی شده در هر دو سال و پارامترهای آماری نشان می‌دهد که شبیه‌سازی با دقت قابل قبولی صورت گرفته است. طبق شکل (۲-ج) تغییرات غلظت کلر در مخزن در ماه مهر ناچیز بوده و میانگین غلظت کلر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده بترتیب ۵۵/۸ و ۶۸/۱ میلی‌گرم در لیتر بوده و در تمامی اعماق مخزن غلظت پیش‌بینی شده بیشتر از مشاهده شده می‌باشد. در آبان ماه (شکل ۲-ج) غلظت کلر به شدت افزایش داشته و بین ۱۳۵/۱-۸۸/۹ با میانگین ۱۱۳/۷ میلی‌گرم در لیتر بوده که ۱۰۳/۸٪ بیشتر از ماه قبل می‌باشد. در این ماه لایه بندی شامل لایه بالایی یا اپی‌لیمنیون (عمق صفر تا ۵ متری) و لایه میانی یا ترموکلاين (عمق ۵ تا ۱۰ متری) و لایه پایینی یا هیپولیمنیون (عمق ۱۰ تا ۱۷ متری) در مخزن وجود دارد. شبیه‌سازی مخزن توسط مدل این سه لایه را به خوبی نشان می‌دهد. روند داده‌های شبیه‌سازی شده تا حد زیادی با داده‌های مشاهده شده انطباق دارد ولی غلظت پیش‌بینی شده از مشاهده شده بیشتر بوده و بین ۱۳۸/۵-۱۱۷/۹ با میانگین ۱۲۶ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. غلظت کلر در آذر ماه نیز مجدداً زیاد گشته و بین ۱۷۷/۷-۱۳۸/۶ با میانگین ۱۶۳/۵ میلی‌گرم در لیتر است (شکل ۲-ج). در این ماه دو لایه در مخزن وجود دارد: لایه بالایی (اپی‌لیمنیون) که از سطح تا عمق ۱۰ متری

مشاهده شده داشته و بین ۷۵/۶-۶۸/۵ با میانگین ۷۲/۵ میلی گرم در لیتر می باشد.

در سال سوم فقط در دو ماه فروردین و اردیبهشت اندازه گیری صورت گرفته است. در بهار سال سوم غلظت اندازه گیری شده بین ۴۶/۱-۱۵۲/۴ و پیش بینی شده بین ۴۶/۱-۱۳۵/۶ میلی گرم در لیتر بوده که حداکثر غلظت اندازه گیری شده و پیش بینی شده در اردیبهشت می باشد. میانگین غلظت مشاهده شده و اندازه گیری شده در این فصل بترتیب ۸۰/۴ و ۸۲/۴ میلی گرم در لیتر بوده است. در اردیبهشت (شکل ۲-ه) نیمرخ غلظت کلر در مخزن تقریباً یکنواخت بوده و غلظت مشاهده شده بین ۴۶/۱-۶۷/۴ با میانگین ۵۳/۲ میلی گرم در لیتر و پیش بینی شده بین ۵۳/۶-۵۵/۸ با میانگین ۵۰/۵ میلی گرم در لیتر می باشد (جدول ۳). در خرداد ماه تغییرات غلظت کلر زیاد بوده و بین ۵۳/۲-۱۵۲/۴ با میانگین ۱۰۷/۵ میلی گرم در لیتر است. داده های شبیه سازی شده روند مشابهی را با داده های مشاهده شده داشته ولی مقادیر غلظت را به خصوص در کف مخزن که به طور ناگهانی غلظت زیاد شده به خوبی پیش بینی نکرده است. غلظت کلر پیش بینی شده بین ۱۱۴/۲-۹۵/۶ با میانگین ۱۱۴/۲ میلی گرم در لیتر می باشد (جدول ۳).

## نتایج

میانگین غلظت کلر مشاهده شده و شبیه سازی شده در طول سال اول بترتیب ۵۲/۹ و ۵۵/۴ و در سال دوم بترتیب ۷۹/۷ و ۸۵/۸ میلی گرم در لیتر بوده است. تغییرات غلظت کلر اندازه گیری شده و پیش بینی شده در سال اول بترتیب بین ۳۳/۷-۱۰۶/۴ و ۳۳/۲-۸۴/۹ و در سال دوم بترتیب بین ۲۸/۴-۱۷۷/۷ و ۲۸/۴-۱۶۹ میلی گرم در لیتر بوده است. این مقادیر پیش بینی شده و میانگین مقادیر  $RMSE, d$  و  $MAE$  که در سال اول بترتیب ۰/۷۶، ۱۳/۸ و ۶/۳ و در سال دوم بترتیب ۰/۸۳، ۲۵/۰ و ۹/۵ می باشد، نشان می دهد که نتایج شبیه سازی در دو سال متوالی با داده های اندازه گیری شده انطباق خوبی دارد. البته دقت مدل شبیه سازی در سال دوم اندکی از سال اول کمتر شده است که دلیل آن می تواند تغییرات ناگهانی غلظت در مخزن باشد که توسط مدل به خوبی پیش بینی نشده است.

حداکثر غلظت کلر در سال اول در بهمن (۱۰۶/۴) میلی گرم در لیتر) و در سال دوم در آذر (۱۷۷/۷) میلی گرم در لیتر) بوده است.

در فصلهای بهار، تابستان، پاییز و زمستان سال اول غلظت کلر اندازه گیری شده بترتیب بین ۶۰/۳-۳۳/۷، ۴۷/۹-۷۰/۹، ۳۵/۵-۸۸/۶ و ۴۶/۱-۱۰۶/۴ میلی گرم در لیتر و غلظت کلر شبیه سازی بترتیب بین ۵۱/۷-۳۳/۲، ۴۷/۹-۷۴/۹-۳۷/۲، ۶۴/۳-۵۱/۶ و ۴۴/۶-۸۴/۹ میلی گرم در لیتر بوده است. میانگین غلظت اندازه گیری شده در این فصلها بترتیب ۴۰/۸، ۵۲/۳، ۵۴/۶ و ۶۳/۸ میلی گرم در لیتر و میانگین غلظت شبیه سازی شده بترتیب ۴۲/۸، ۵۴/۱، ۵۸/۰ و ۶۶/۶ میلی گرم در لیتر می باشد. در سال اول حداکثر غلظت های مشاهده و پیش بینی شده در فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان بترتیب در ماههای اردیبهشت، شهریور، آبان و بهمن بوده است.

در فصلهای بهار، تابستان، پاییز و زمستان سال دوم غلظت کلر اندازه گیری شده بین ۶۷/۴-۲۸/۴، ۶۰/۳-۴۲/۶، ۱۷۷/۷-۵۱/۴ و ۱۴۱/۸-۴۹/۶ میلی گرم در لیتر و غلظت کلر شبیه سازی شده بترتیب ۵۸/۹-۲۸/۶، ۶۴/۵-۵۲/۸، ۱۶۹/۰-۶۴/۲ و ۶۸/۵-۱۳۶/۲ میلی گرم در لیتر بوده است. میانگین غلظت اندازه گیری شده در این فصلها بترتیب ۴۳/۳، ۵۳/۲، ۱۱۱/۰ و ۹۳/۵ میلی گرم در لیتر و پیش بینی شده بترتیب ۴۵/۵، ۵۷/۱، ۱۱۸/۶ و ۱۰۳/۰ میلی گرم در لیتر می باشد. در این سال حداکثر غلظتهای کلر در فصلهای بهار، تابستان، پاییز و زمستان بترتیب در ماههای اردیبهشت (مشاهده شده) و فروردین (پیش بینی شده)، شهریور، آذر و بهمن (مشاهده شده) و دی (پیش بینی شده) می باشد.

در سال اول میانگین محدوده تغییرات غلظت کلر مشاهده و شبیه سازی شد به ترتیب ۶۴/۶-۴۵/۴ و ۶۰/۵-۴۸/۶ میلی گرم در لیتر بوده و میانگین غلظت کلر مشاهده شده و شبیه سازی شده در مخزن در طول سال اول به ترتیب ۵۲/۹ و ۵۵/۴ میلی گرم در لیتر می باشد.

در سال دوم میانگین محدوده تغییرات غلظت کلر مشاهده شده و شبیه سازی شده بین ۹۳/۰-۶۵/۷ و ۹۱/۷۰-۷۹/۲۱ میلی گرم در لیتر بوده و میانگین غلظت مشاهده شده و شبیه سازی شده در طول سال به ترتیب

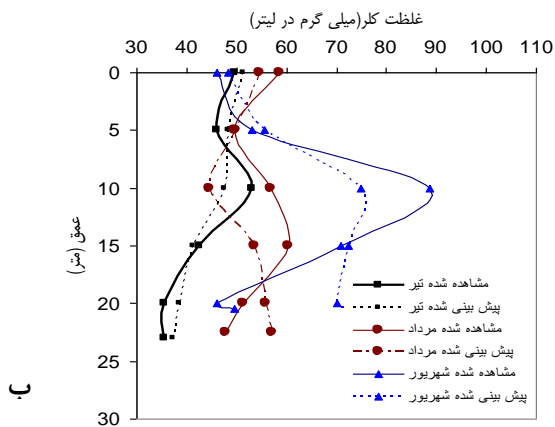
استفاده از سموم کلر در اراضی کشاورزی بالادست سد در اوایل زمستان می باشد.

۷۹/۰۷ و ۸۵/۸ می باشد که نشان میدهد در سال دوم غلظت نسبت به سال اول بیشتر شده است.

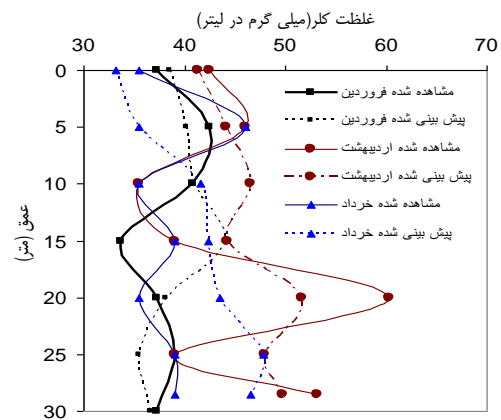
بیشترین میانگین غلظت مشاهده و شبیه سازی شده در هر دو سال متوالی در ماه بهمن رخ داده است که دلیل آن

جدول (۱) - نتایج ارزیابی مدل HEC-5Q برای شبیه سازی غلظت کلر در مخزن سد درودزن

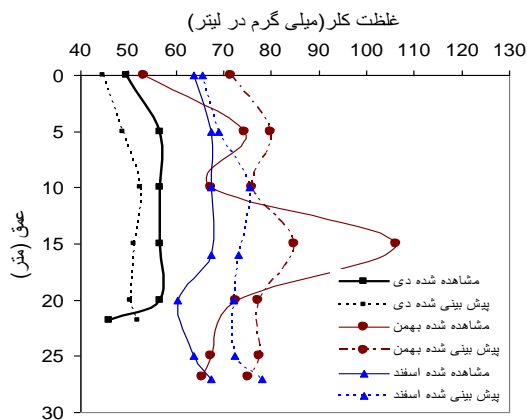
پارامترهای آماری (سال سوم)			پارامترهای آماری (سال دوم)			پارامترهای آماری (سال اول)			ماه
MAE	RMSE	d	MAE	RMSE	d	MAE	RMSE	d	
			۶/۵۶	۱۹/۱۹	۰/۵۴	۲/۷۵	۱۱/۱۵	۰/۳۵	فروردین
۶/۷۸	۱۶/۱۹	۰/۳۳	۶/۴۳	۱۹/۲۹	۰/۸	۵/۷۷	۱۵/۰۲	۰/۶۳	اردیبهشت
۱۶/۲۸	۱۹/۳۸	۰/۹۹	۵/۷۲	۱۴/۶۱	۰/۵۴	۶/۶۷	۱۸/۵۲	۰/۱۸	خرداد
						۲/۵۶	۶/۷۵	۱	تیر
						۶/۱۱	۱۳/۴۱	۰/۹۹	مرداد
			۵/۴۹	۱۲/۰۶	۰/۹۹	۱۱/۲۴	۲۵/۲۰	۰/۹۸	شهریور
			۱۲/۲۱	۲۲/۵۹	۰/۹۹	۳/۹۴	۸/۵۹	۰/۹۹	مهر
			۱۲/۲۹	۱۳/۴۷	۰/۹۹	۷/۱۸	۱۴/۱۴	۰/۹۹	آبان
			۱۲/۶۳	۸/۳۶	۰/۹۹	۵/۷۹	۱۰/۳۶	۰/۹۹	آذر
			۱۱/۱۹	۱۰/۷۷	۰/۹۹	۵/۸۲	۱۲/۸۱	۰/۹۹	دی
			۱۳/۶۳	۱۵/۳۳	۰/۹۹	۱۱/۱۸	۱۷/۴۶	۰/۶۲	بهمن
			۹/۲۱	۱۷/۳۲	۰/۴۸	۶/۹۱	۱۲/۰۳	۰/۳۹	اسفند
			۹/۵	۲۵	۰/۸۳	۶/۳	۱۳/۸	۰/۷۶	میانگین



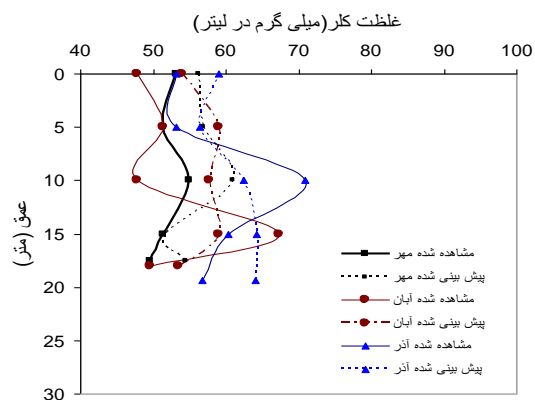
ب



الف

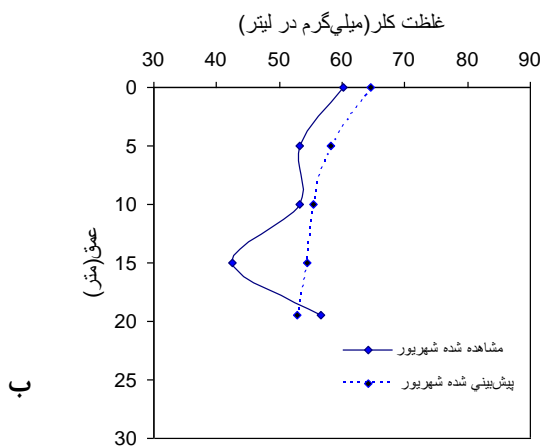


د

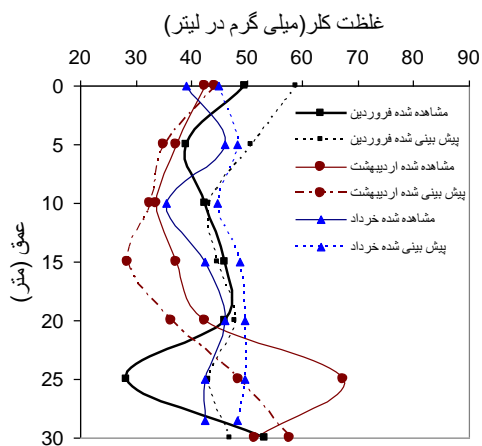


ج

شکل (۱): تغییرات غلظت کلر در مخزن سد دروزن در سال اول: الف- بهار , ب- تابستان , ج- پاییز , د- زمستان

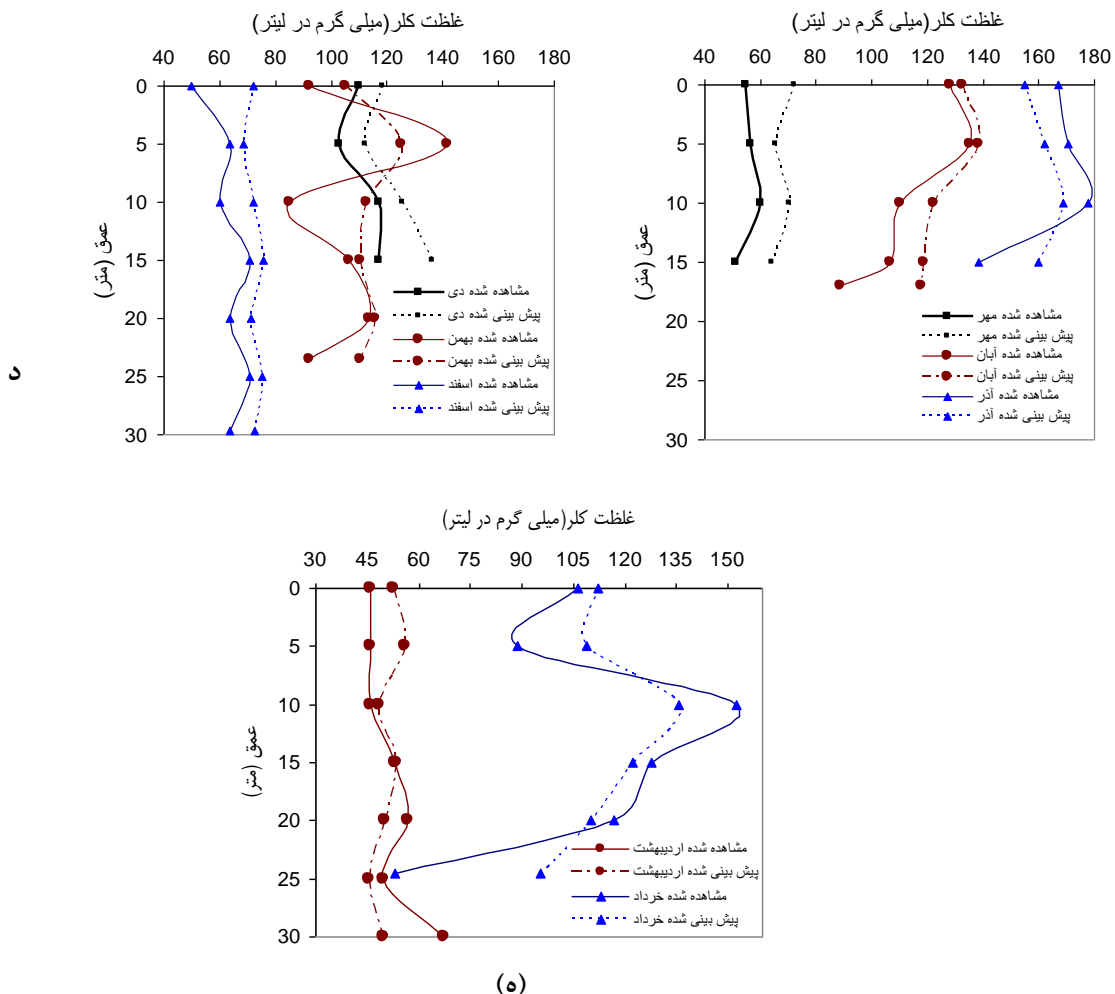


ب



الف





شکل (۲): تغییرات غلظت کلر در مخزن سد درودزن در سال دوم (الف- بهار، ب- تابستان، ج- پاییز، د- زمستان) ه- بهار سال سوم

## منابع

۱. ارحامی، ا.؛ م. تجریشی و ا. ابریشم چلی. ۱۳۸۱. مطالعات شبیه سازی تغییرات کیفی آب مخزن سد لتیان. آب و فاضلاب شماره ۴۴. صفحه ۲-۱۴.
۲. باصری، م. ۱۳۸۳. بررسی و شبیه سازی پدیده لایه بندی در مخزن سد درودزن، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه شیراز.
3. Canavan, C. M.; C. A. Caldwell; N. S. Bloom. 2000. Discharge of methylmercury – enriched hypolimnetic water from a stratified reservoir. *Sci. Total Environ.* 260, 159-170.
4. Dunn, A. M. 2000. Tree ring investigations of late Holocene drought and stream flow in south-central Texas. In: 34<sup>th</sup> Annual Meeting, Boulder, CO.
5. Elbaz – Poulichet, F.; A. Nagy; T. Cserny. 1997. The distribution of redox sensitive elements (U, As, Sb, V, and Mo) along a river-wetland-lake system (Balaton Region, Hungary). *Aquat. Geochem.* 3, 267-282.
6. Gideon, G.; J. Imberger; T. Zohary; J. Antenucci; A. Anis; T. Rosenberg. 2003. Simulating the thermal dynamics of lake Kinnerat. *Ecological modeling.* 162. 69-86.
7. Gleick, P. H. 2000. The changing water paradigm: a look at the twenty-first century water resources development. *Water Int.* 25, 127-1238.

8. Gvirtzman, H.; G. Gerven; G. Gvirtzman. 1997. Hydrogeological modeling of the saline hot springs at the Sea of Galilee, Israel. *Water Resour. Res.* 33, 913-926.
9. Hakanson, L.; A. Parparov; K. D. Hambright. 2000. Modelling the impact of water level fluctuations on water quality (suspended particulate matter) in Lake Kinneret, Israel. *Ecol. Model.* 128, 101- 125.
10. Hambright, K.; T. Zohary; W. Eckert. 1997. Potential influence of low water levels on lake kinneret: re-appraisal and modification of an early hypothesis. *Limnologica* 27, 149-155.
11. Louchouart, P.; M. Lucotte; A. Mucci; P. Pichet. 1993. Geochemistry of mercury in two hydroelectric reservoirs of Quebec, Canada. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50, 269-281.
12. Lucotte, M.; R. Schetagne; N. Therien; C. Langlois; A. Tremblay. 1999. Mercury in the Biogeochemical Cycle Natural Environments and Hydroelectric Reservoirs of North Quebec, Canada. Springer Verlag, Berlin.
13. Mace, R. E.; A. H. Chowdhury; R. Anaya; S. C. Way. 2000. Groundwater availability of the trinity aquifer, Hill Country, Texas: Numerical simulations through 2050. Texas Department of Water Resources, Austin, TX.
14. Mazor, E.; F. Mero. 1969. Geochemical tracing of mineral resources in the Lake Tiberias basin. *J. Hydrol.* 7, 276-317.
15. Montgomery, S.; M. Lucotte; L. Cournoyer. 2000. The use of stable carbon isotopes to evaluate the importance of fine suspended particulate matter in the transfer of methyl mercury to biota in boreal flooded environments. *Sci. Total. Environ.* 261,33-41.
16. Romero, J. R.; J. P. Antenucci; J. Imberger. 2007. One – and three- dimensional biogeochemical simulation of two different reservoirs. *Ecological modeling.* 174: 143-160.
17. Rosenberg, D. M.; F. Berkes; R. A. Bodaly; R. E. Hecky; C. A. Kelly; J. W. M. Rudd. 1997. Large-scale impacts of hydroelectric development. *Environ. Rev.* 5, 27- 54.
18. Rosenberg, D. M.; P. McCully; C. M. Pringle. 2000. Global- Scale environmental effects of hydrological alteration: introduction. *Bioscience.* 50, 746-751.
19. Willmott, C. J.; 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin American Meteorological Society.* 63:1309-1313.

## **Measurement and simulation of chloride in Doroodzan dam reservoir using HEC-5Q model**

**Masoud Noshadi and Masoud Sokoot**

### **Abstract**

In this study, Doroodzan dam reservoir was sampled over 26-month period and twice per month at different depths and chloride concentration were measured. Based on the measured data, HEC5-Q model was calibrated and then used to simulate the reservoir. Mean Concentrations of observed and simulated chloride in the first year were 52.9 and 55.6 and in second year 79.7 and 85.8 mgL<sup>-1</sup>, respectively. The variations of measured and predicted Cl concentrations in the first year were between 33.7-106.4 and 33.2 - 84.9 mgL<sup>-1</sup>, respectively and in the second year 28.4-177.7 and 28.6-169.0 mgL<sup>-1</sup>, respectively. The maximum Cl concentrations in the first and second years were 106.4 and 177.7 mgL<sup>-1</sup>, respectively. Comparison of predicted concentrations and amounts of statistical parameters including d, RMSE, and MAE showed that predicted values in both years were in close agreement with observed data.

**Key words:** Chloride, Dam reservoir, Water quality, HEC5-Q model.