

## شبیه سازی شرایط کیفی مخازن سدها (مطالعه موردی - مخزن سد طرق)

مصطفی خیامی<sup>۱\*</sup> - شهناز دانش<sup>۲</sup> - سعید رضا خدا شناس<sup>۲</sup> - کامران داوری<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۸۶/۱۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۱/۲

### چکیده

در این تحقیق با کاربرد مدل *Dynamic Reservoir Simulation* و آمار موجود، شرایط کیفی آب مخزن سد طرق از نقطه نظر تغییرات زمانی پارامترهای دما، شوری و اکسیژن محلول مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که در سالهای پرآب مانند سال ۱۹۹۸ که در آن دبی رودخانه ورودی بیش از میانگین دبی دراز مدت آن است، به دلیل بالا بودن تراز سطح آب (بیش از ۵۰ متر)، لایه بندی حرارتی به صورت کامل از اواسط بهار تا اواخر تابستان در داخل مخزن اتفاق می افتد که این امر تغییرات خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب را در ترازهای مختلف به دنبال دارد. ولی در سالهایی مانند سال ۲۰۰۲ به علت کم بودن حجم آب ورودی و بالا بودن نسبی میانگین درجه حرارت سالانه، تراز سطح آب در مخزن تقلیل می یابد و به حدود ۱۶ تا ۲۰ متر می رسد. در این شرایط لایه بندی حرارتی یا تشکیل نمی شود و یا اگر تشکیل گردد، از نظر زمانی زودتر شروع شده و طول دوره استقرار آن نیز کوتاه می شود. بر اساس نتایج این مطالعات، در سال ۱۹۹۸ میانگین دمای لایه های سطحی و عمقی مخزن اختلافی معادل ۱۰ و ۱۱ درجه سانتیگراد را به ترتیب در فصول بهار و تابستان نشان دادند. این در حالیست که تفاوت مذکور برای بهار سال ۲۰۰۲، حدود ۱/۵ درجه سانتیگراد مشاهده گردید. در ارتباط با تغییرات شوری، نتایج حاصل از بررسی ها دلالت بر آن داشت که همزمان با لایه بندی حرارتی، لایه بندی شوری نیز در آب مخزن اتفاق می افتد و غلظت املاح از سطح به عمق افزایش می یابد. در سال ۱۹۹۸، تفاوت مشاهده شده در میانگین غلظت های املاح بین لایه های بالایی و پایینی مخزن به ترتیب معادل ۴۳ میلیگرم در لیتر برای فصل بهار و ۱۰ میلیگرم در لیتر برای فصل تابستان بود. شبیه سازی میزان اکسیژن محلول در دوره های لایه بندی حرارتی، دامنه تغییراتی بین صفر تا ۹ میلیگرم در لیتر را بین ترازهای بالایی و پایینی مخزن نشان دادند. با شروع پدیده لایه بندی حرارتی از اردیبهشت ماه، به تدریج غلظت اکسیژن محلول در اعماق پایین تر از ۲۰ متر کاهش می یابد به طوری که در اواسط تیر ماه یک لایه بی هوازی به ضخامت ۱۰ متر در کف مخزن توسعه می یابد که شرایط را برای تولید بو، رنگ و طعم نامطبوع مهیا می سازد. در کلیه سالهای مورد مطالعه (۱۹۹۸ تا ۲۰۰۴)، در فصول پاییز و زمستان، به دلیل اختلاط آب مخزن و یکنواخت شدن شرایط، تفاوتی در میزان شوری و سایر خصوصیات کیفی آب در ترازهای مختلف مشاهده نگردید.

**واژه های کلیدی:** مدل های کیفی آب، لایه بندی حرارتی، شوری آب، اکسیژن محلول، مخزن سد

### مقدمه

خود می تواند به سبب مجموعه عواملی مانند تبخیر، ساکن بودن آب، لایه بندی حرارتی در مخزن، رسوب گذاری، غنی شدن آب دریاچه از عناصر غذایی و ... موجبات تغییر در خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب مخزن را فراهم آورد (۸). یکی از عوامل بسیار مهمی که خصوصیات آب دریاچه ها و مخازن سدها را تحت تأثیر قرار می دهد، لایه بندی حرارتی است که در اواخر بهار و در طی تابستان در مخازن عمیق (عمق بیش از ۱۰ متر) اتفاق می افتد. در این شرایط، معمولاً سه لایه با میانگین های حرارتی مختلف به شرح ذیل ایجاد می شود (۸،۲۰):  
۱- لایه اپیلمنیون که بالاترین لایه را تشکیل می دهد. در این

خصوصیات طبیعی حوضه آبخیز، کمیت و کیفیت آبهای ورودی به مخزن، خصوصیات اقلیمی منطقه (درجه حرارت، وزش باد، میزان نزولات جوی و ...) و میزان فعالیت های مختلف انسان در حوضه آبخیز از جمله عواملی هستند که کیفیت آب مخازن سدها را تحت تأثیر قرار می دهند. از طرفی دیگر، احداث سد و ذخیره کردن جریان سطحی،

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد (\* - نویسنده مسئول: Email: mostafa.136231@yahoo.com)  
۲- استادیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

کیفیت آب در مخازن سدها موجود می‌باشد که با توجه به خصوصیات آنها (مانند میزان دقت محاسباتی، وسعت و نوع داده‌های مورد نیاز، نوع کاربری مدل و ...) و شرایط موجود، می‌توان بهترین گزینه مدل را برای سیستم آبی مورد نظر انتخاب نمود. مدل‌هایی که به بررسی شرایط کیفی آب در دریاچه‌ها و مخازن سدها می‌پردازند، از دیدگاه بعد محاسباتی در چهار گروه طبقه بندی می‌شوند که عبارتند از: الف) مدل‌های صفر بعدی (۹)، ب) مدل‌های یک بعدی (۱۲، ۱۳، ۱۷)، ج) مدل‌های دوبعدی (۱۹، ۲۱) و د) مدل‌های سه بعدی (۲۱).

در بین مدل‌ها، مدل یک بعدی DYRESM ایمرگر و پترسون به دلایل مختلف مانند دقت محاسباتی بالا، امکان استفاده در کلیه شرایط آب و هوایی، در نظر گرفتن تغییرات پارامترهای مختلف آب و هوایی و قابلیت بررسی تأثیر روند تغییرات آنها بر روی خصوصیات حرارتی و شوری آب، توانایی انجام شبیه سازی برای دوره‌های زمانی کوتاه مدت و بلند مدت، و نیز عدم احتیاج به کالیبراسیون، کاربرد وسیعی را در بررسی و پیش بینی خصوصیات کیفی آب دریاچه‌ها و مخازن سدها پیدا نموده است (۱۵). هان و همکاران (۱۶) با استفاده از این مدل اقدام به شبیه سازی دمایی مخزن سد Sau در اسپانیا نمودند. ایشان با استفاده از داده‌های دمایی موجود از مخزن سد، اقدام به تست مدل کرده و تأثیر ورودی و خروجی‌ها را در شرایط لایه بندی دمایی مخزن مورد بررسی قرار دادند. آسادا و همکاران (۱۰) به منظور بررسی و کنترل جلبکها در مخزن سد Terachi در غرب کشور ژاپن، از مدل مذکور به همراه مدل CAEDYM<sup>۱</sup> استفاده نمودند. گال و همکاران (۱۵) نیز با استفاده از این مدل، خصوصیات حرارتی دریاچه Kineret واقع در فلسطین اشغالی را شبیه سازی نموده و نتایج حاصل از مدل را با داده‌های دمایی موجود از دریاچه مقایسه کردند. آنها شرایط حرارتی حاصل از شبیه سازی توسط مدل را با استفاده از تغییر پارامترهای تابش طول موج کوتاه، سرعت باد و ضریب روشنایی مورد بررسی قرار دادند و متوجه شدند که حساسیت مدل نسبت به پارامتر ضریب روشنایی بیش از سایر پارامترها بوده است. همچنین لوسیه و همکاران (۱۸) جهت بررسی نقش گردش کربن، نیتروژن و فسفر بر روی پارامترهای مختلف کیفی آب و چگونگی لایه بندی آنها در دریاچه Kineret (واقع در فلسطین اشغالی) از مدل‌های DYRESM و CAEDYM استفاده نمودند. بالیستریری و همکاران (۱۱) نیز در تحقیقات خود در ارتباط با تغییرات دما و شوری دریاچه Pexter Pit در ایالت نوادای آمریکا، مدل DYRESM را به کار گرفتند. نتایج کار آنها که بر مبنای مقایسه خروجی‌های حاصل از شبیه سازی مدل با داده‌های دمایی اندازه گیری شده از دریاچه بود، نشان داد که مدل مذکور در انجام شبیه سازی دمایی و شوری آب از دقت بسیار بالایی برخوردار است.

لایه گردش و حرکت آب بوسیله باد تولید می‌شود. اکسیژن محلول در این لایه زیاد بوده و درجه حرارت آن به علت تماس با اتمسفر متغیر است.

۲- لایه متالیمنیون یا ترموکالین که لایه میانی را تشکیل می‌دهد. از مشخصات این لایه، عمق کم و کاهش سریع دما نسبت به عمق است. اکسیژن محلول آن نیز کمتر از لایه اپیلمنیون می‌باشد.

۳- لایه هیپولیمنیون، پایین ترین لایه را در بر می‌گیرد. در این لایه اختلاط و اکسیژن گیری وجود ندارد. از طرفی دیگر کمترین درجه حرارت را نسبت به لایه‌های دیگر دارا است. در لایه هیپولیمنیون مقدار اکسیژن محلول بسیار جزیی بوده و حتی ممکن است شرایط بی‌هوای نیز در آن استقرار یابد.

در فصل پاییز با کاهش دمای هوا، اپیلمنیون سردتر می‌گردد و به حدی می‌رسد که جرم حجمی آن بیش از لایه هیپولیمنیون شده و این امر باعث اختلاط آب مخزن می‌گردد. در مناطق با آب و هوای سرد، علاوه بر پدیده‌های فوق، پدیده لایه بندی در زمستان و پدیده چرخش در بهار نیز انجام می‌پذیرد. به این ترتیب دریاچه‌هایی که در آب و هوای معتدل قرار دارند، حداقل دارای یک سیکل لایه بندی و اختلاط می‌باشند.

وجود لایه بندی حرارتی در مخزن سد عامل و بیانگر تغییرات کیفیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب در ترازهای مختلف است که در صورت تداوم می‌تواند منجر به نامناسب شدن شرایط کیفی آب در مخزن گردد (۸، ۱۴). دمای آب بر روی نوع و میزان فعالیت گونه‌های بیولوژیکی، انحلال گازها، سرعت واکنشهای شیمیایی و سرعت رسوب گذاری تأثیر گذاشته به طوری که به ازای افزایش ۱۰ درجه سانتیگراد، سرعت واکنشهای شیمیایی و بیوشیمیایی دو برابر می‌شود. در فصل تابستان به علت بالا بودن درجه حرارت و شدت تابش نور خورشید، به خصوص در شرایطی که عناصر غذایی گیاهی نیز فراوان باشد، رشد جلبکها در لایه‌های سطحی به شدت افزایش می‌یابد که این امر می‌تواند کیفیت آب را از نظر رنگ، بو و طعم دچار تغییرات زیادی نماید. از طرفی دیگر به دلیل کاهش انحلال اکسیژن در آب و همچنین زیاد شدن سرعت فعالیت‌های متابولیسمی آبزیان و تجزیه مواد تجمع یافته در رسوبات، شرایط در ترازهای عمقی آب می‌تواند کاملاً بی‌هوای شده و منجر به تشکیل ترکیبات مولد بو و یا طعم نامطبوع گردد (۳).

در دو دهه گذشته استفاده از مدل‌های ریاضی برای شبیه سازی اکولوژیکی و واکنشهای مؤثر بر کیفیت آب در منابع آبهای سطحی رواج یافته است و براساس نتایج حاصل از آنها، روشهای جامع و مناسبی نیز در جهت کاهش بار آلودگیها و نوع کاربریهای بهینه از اینگونه منابع ارائه گردیده است.

به طور کلی مدل‌های کیفی متنوعی در جهت بررسی و پیش بینی

مدل اقدام به ارزیابی کیفیت آب جهت مصارف شرب و کشاورزی نمود.

با توجه به اهمیت سد طرق در تأمین بخشی از آب شرب و کشاورزی شهر مشهد، هدف از این تحقیق ارزیابی شرایط کیفی آب مخزن سد طرق و چگونگی روند تغییرات آن با استفاده از مدل هیدرودینامیکی یک بعدی DYRESM می باشد.

### مواد و روش ها

سد طرق در ۲۵ کیلومتری جنوب شرقی شهر مشهد و در طول جغرافیایی ۳۳° ۵۹' و عرض جغرافیایی ۱۳° ۳۶' واقع شده است. این سد در سال ۱۳۶۷ با هدف بهره برداری از آب آن، جهت مصارف شرب و کشاورزی و کنترل سیلابهای سالانه بر روی رودخانه طرق ساخته شد. رودخانه طرق یک رودخانه فصلی است و در طی مسیر خود از تعدادی روستا عبور می کند که این امر باعث ورود آلودگیهای انسانی و حیوانی به داخل مخزن سد می گردد. تراز رودخانه نسبت به سطح دریا ۱۱۵۹/۷ متر می باشد. خصوصیات هیدرومتری این رودخانه در ایستگاهی به نام ایستگاه هیدرومتری کرتیان که در ۳ کیلومتری بالادست سد احداث شده است اندازه گیری می شود. سد طرق دارای ۴ آبگیر در ترازهای صفر، ۲۸، ۳۹ و ۵۱ متری از کف مخزن می باشد. در جداول (۱) و (۲) به ترتیب مشخصات کاملی از سد طرق و ایستگاه هیدرومتری کرتیان ارائه گردیده است.

در دهه اخیر توجه به وضعیت کیفیت آب در مخازن سدها در سطح کشور ایران نیز اهمیت زیادی پیدا نموده است. در سال ۱۳۷۹ امین سارنگ و همکاران (۴) با استفاده از مدل یک بعدی HEC5-Q اقدام به شبه سازی کیفیت آب مخزن سد بوکان بر روی رودخانه زرینه رود در استان کردستان نمودند. در این تحقیق پارامترهای PH، DO، BOD<sub>5</sub>، EC و TDS در مخزن سد مذکور شبه سازی شده و نتایج حاصل از مدل با داده های اندازه گیری شده از مخزن سد مورد مقایسه و سنجش قرار گرفت. توحیدی (۳) در سال ۱۳۷۷ اقدام به بررسی پارامترهای کیفی آب در مخزن سد طرق (واقع در استان خراسان رضوی) نمود. وی در این تحقیق با انجام آزمایشات فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و باکتریایی و انجام تجزیه و تحلیل نتایج نمونه برداریها با استفاده از مدل های آماری و رگرسیونی توسط برنامه های SURFER و STATGRAPHICS تغییرات عمقی و زمانی پارامترهای کیفی آب مخزن سد طرق را طی یک دوره ۳ ماهه در سال ۱۳۷۷ مورد ارزیابی قرار داد. شیعی (۵) در سال ۱۳۸۰ اقدام به مطالعه شرایط کیفی آب مخزن سد دوستی نموده و آب این سد را به لحاظ شوری و دمایی با استفاده از مدل VDYRESM بررسی کرد. سپس با توجه به نتایج حاصل از شبه سازی مدل، کیفیت آب را در ترازهای مختلف آبگیری (آبگیر تحتانی و فوقانی) مورد ارزیابی قرار داد. همچنین در سال ۱۳۸۵ شیعی (۶) با استفاده از مدل VDYRESM مخزن سد شورپیچ (واقع در استان خراسان رضوی) را به لحاظ حرارتی و دمایی مورد بررسی قرار داده و با توجه به نتایج

(جدول ۱) - مشخصات کلی سد طرق (۲)

نوع سد	مشخصات سازه ای			مشخصات سرریز		مشخصات هیدرولوژیکی				اهداف کاربردی		
	طول	عرض	ارتفاع	ظرفیت	نوع سرریز	حجم کل	حجم مفید	حجم قابل	مساحت دریاچه	سطح اراضی	تأمین آب	تأمین آب
	(m)	(m)	(m)	(CMS)		(MCM)	(MCM)	(MCM)	(hec)	(hec)	کشاورزی	شرب
بتنی دو قوسی	۳۲۲	۴/۸	۶۰	۲۴۰	نیلوفری	۳۳/۱	۳۱/۱	۱۶	۱۹۳/۵	۱۳۰۰	۶	۱۰

MCM: میلیون متر مکعب

CMS: متر مکعب بر ثانیه

(جدول ۲) - مشخصات ایستگاه هیدرومتری کرتیان (۲)

نام رودخانه	نام ایستگاه	کد بانک اطلاعاتی	ارتفاع ایستگاه (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نام حوضه آبریز	مساحت حوضه (کیلومتر مربع)	ارتفاع متوسط حوضه (متر)
طرق	کرتیان	۶۴۰۲۹	۱۱۷۰	۵۸° ۳۵' ۵۲"	۳۶° ۱۷' ۴۰"	کشف رود	۱۴۰	۱۸۰۰

### داده‌های ورودی به مدل

این داده‌ها شامل داده‌های هواشناسی، داده‌های جریان ورودی به مخزن سد طرق، داده‌های جریان خروجی از مخزن و داده‌های مربوط به مشخصات هندسی مخزن سد طرق می‌شدند.

### داده‌های هواشناسی

میانگین روزانه پارامترهای تشعشع موج کوتاه، درصد ابرناکی، درجه حرارت هوا، فشار بخار، سرعت باد و بارندگی، از محل ایستگاه سینوپتیک مشهد (وابسته به سازمان هواشناسی) تهیه گردید. به علت عدم وجود ایستگاه اندازه گیری داده‌های هواشناسی در محل سد، لذا از نزدیک ترین ایستگاه سینوپتیک، یعنی ایستگاه سینوپتیک مشهد که در ۱۲ کیلومتری محل سد قرار دارد، استفاده گردید. داده‌های این ایستگاه بعد از بررسی و ارزیابی از نظر کمی و کیفی، طی یک دوره آماری ۷ ساله (۱۹۹۸ تا ۲۰۰۴) تصحیح و مورد استفاده قرار گرفت (۱).

### داده‌های جریان ورودی به مخزن

مدل DYRESM توانایی شبیه سازی کیفی آب را با توجه به جریان‌های ورودی به مخزن (جریان‌های ورودی سطحی و زیر زمینی)، دارا می‌باشد. در مورد سد طرق تنها یک جریان ورودی سطحی (رودخانه طرق) موجود می‌باشد. داده‌های هیدرومتری مورد نیاز (دبی رودخانه، دمای آب رودخانه و میزان شوری آب) از محل ایستگاه هیدرومتری کرتیان تهیه گردید (۲). دبی رودخانه به صورت روزانه طی دوره آماری ۷ ساله (۱۹۹۸ تا ۲۰۰۴) مورد استفاده قرار گرفت. در خصوص رودخانه طرق، آماری در خصوص پارامتر دمای آب موجود نبود. لذا در این مورد، با توجه به راهنمای مدل، از میانگین دمای هوای چهار روز قبل، جهت دمای آب رودخانه استفاده گردید. همچنین با توجه به اینکه آماری در ارتباط با شوری آب رودخانه بصورت روزانه موجود نبود، لذا از طریق ایجاد رابطه همبستگی بین داده‌های شوری (TDS) موجود و دبی جریان و نهایتاً استخراج بهترین رابطه همبستگی، مقادیر شوری آب، بصورت روزانه محاسبه و در مدل به کار گرفته شد.

### داده‌های جریان خروجی از مخزن

داده‌های مربوط به جریان‌های خروجی روزانه از مخزن در مدل مورد استفاده قرار گرفت. جریان خروجی از مخزن شامل نیاز روزانه بخش کشاورزی و شرب می‌باشد.

### داده‌های مربوط به مشخصات هندسی مخزن سد طرق

مشخصات هندسی مورد نیاز در ارتباط با مخزن سد، شامل رابطه سطح، حجم و ارتفاع، تراز آبیگری و تراز سرریز و شیب کف مخزن سد بود که براساس اطلاعات اولیه و نقشه‌های توپوگرافی مخزن سد تهیه و در مدل به کار گرفته شد.

### تعیین دوره شبیه سازی

معمولاً جهت تعیین دوره شبیه سازی، از منحنی متحرک ۳ و ۵ ساله دبی جریان استفاده می‌شود (۷). از آنجایی که داده‌های مورد نیاز فقط برای یک دوره ۷ ساله (۱۹۹۸ تا ۲۰۰۴) موجود بود، لذا خصوصیات کیفی آب مخزن در طی این دوره شبیه سازی شد. با توجه به میانگین دراز مدت دبی رودخانه که معادل ۰/۵۶ متر مکعب بر ثانیه است و همچنین با در نظر گرفتن نتایج میانگین متحرک ۳ و ۵ ساله‌های دبی‌های جریان ورودی، دوره آماری مذکور به دو بخش، الف- دوره آبی متوسط (از سال ۱۹۹۸ تا سال ۲۰۰۰) و ب- دوره خشک (از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۰۴) تقسیم بندی گردید.

### محاسبه میزان خطا

با توجه به اینکه هر گونه مدل‌های کامپیوتری بر اساس روابط ریاضی سازماندهی می‌شوند و همچنین با توجه به اینکه در ساختار فرمولی مدل‌ها تمهیداتی جهت پیش بینی پدیده‌های طبیعی در نظر گرفته می‌شود، لذا این گونه مدل‌ها دارای خطاهایی در انجام محاسبات خود می‌باشند. جهت بررسی این مهم، اقدام به مقایسه نتایج حاصل از مدل و داده‌های اندازه گیری شده از مخزن سد طرق در ارتباط با پارامترهای دما، شوری و تراز آب گردید. جهت محاسبه میزان خطا از فرمول زیر استفاده شده است.

$$d = \sqrt{\frac{\sum (X_i - Y_i)^2}{N}} \quad (1)$$

در این فرمول d درصد خطا،  $X_i$  داده‌های اندازه گیری شده (داده‌های واقعی)،  $Y_i$  داده‌های حاصل از شبیه سازی مدل و N تعداد داده‌ها می‌باشد.

### نتایج و بحث

#### تغییرات دمای هوا

بررسی روند تغییرات درجه حرارت هوا در منطقه بیانگر این است که میانگین دمای ماهانه هوا از ماه فوریه تا آگوست (اواسط بهمن تا اواسط مرداد) روندی صعودی و از آگوست تا انتهای سال میلادی (اواسط مرداد تا اواسط بهمن) روندی نزولی را دارد. در طول دوره ۷ ساله مورد بررسی، دامنه تغییرات میانگین ماهانه دمای هوا، بین ۱ درجه سانتیگراد تا ۲۸/۵ درجه سانتیگراد می‌باشد. چنین دامنه ای از

رودخانه طرق، تنها جریان سطحی می‌باشد که مخزن سد طرق را تغذیه می‌کند. لذا تغییرات دبی این رودخانه تنظیم کننده حجم مخزن می‌باشد. شکل ۳ تغییرات حجم آب ورودی سالانه به مخزن را طی دوره مورد مطالعه نمایش می‌دهد. همان گونه که از نتایج بر می‌آید از سال ۱۹۹۸ تا سال ۲۰۰۲ میزان حجم آب ورودی به مخزن کاهش یافته و از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۴ حجم آب افزایش یافته است. رودخانه طرق در سال ۱۹۹۸ با حجم معادل ۴۷/۳ میلیون متر مکعب و در سال ۲۰۰۲ با حجمی معادل ۱/۴ میلیون متر مکعب به ترتیب بیشترین و کمترین حجم آب را به مخزن وارد کرده است.

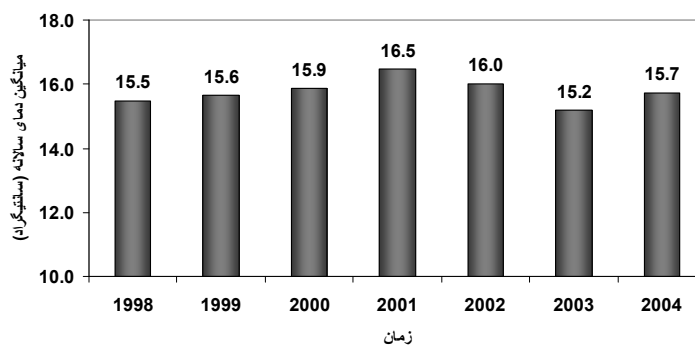
بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل آمار مربوط به میانگین دمای هوا و حجم آب ورودی به مخزن در طی دوره ۷ ساله می‌توان چنین نتیجه گرفت که سال ۲۰۰۲ از نظر عوامل مذکور گرمترین و خشکترین سال و سال ۱۹۹۸ سردترین و پر آب ترین سال بوده است. با توجه به این مطلب و همچنین با توجه به اینکه در سالهای گرم و خشک تبخیر از مخزن افزایش یافته و میزان مصرف آب از مخزن نیز افزایش می‌یابد، سال ۲۰۰۲ به عنوان بحرانی ترین سال و سال ۱۹۹۸ به عنوان دوره ای که مخزن بالاترین تراز سطح را دارا بوده است در نظر گرفته می‌شود و لذا نتایج حاصل از شبیه سازی شرایط کیفی مخزن برای این دو سال در ادامه ارائه می‌گردد.

تغییرات دمای هوا می‌تواند دمای آب را نیز تحت تاثیر قرار دهد. شکل ۱ روند تغییرات میانگین سالانه دما را نشان می‌دهد. همان گونه که در شکل مشاهده می‌گردد سالهای ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ با میانگین‌های سالانه به ترتیب ۱۶/۵ و ۱۶ درجه سانتیگراد گرمترین سالها در طی دوره آماری ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۴ بوده اند. بدیهی است در سالهایی که میانگین درجه حرارت، بیشتر باشد، میزان تبخیر از سطح آب نیز افزایش می‌یابد. این مسئله می‌تواند، از یک سو، باعث کاهش حجم مخزن و از سوی دیگر، سبب افزایش شوری آب مخزن گردد.

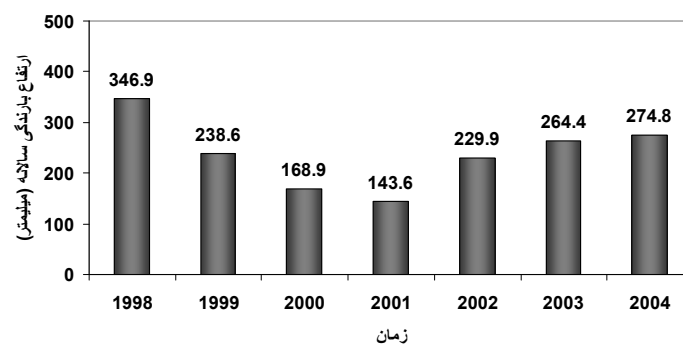
### تغییرات بارندگی

نتایج بررسی تغییرات بارندگی سالانه در شکل ۲ ارائه گردیده است. با توجه به این شکل، مقدار بارندگی سالانه، از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱ روندی نزولی و از سال ۲۰۰۱ تا سال ۲۰۰۴ سیری صعودی را طی کرده است. سال ۱۹۹۸ با مجموع بارندگی سالانه ۳۴۶/۹ میلیمتر و سال ۲۰۰۱ با مجموع بارندگی ۱۴۳/۶ میلیمتر، به ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقادیر بارندگی، طی دوره آماری مورد نظر بوده است.

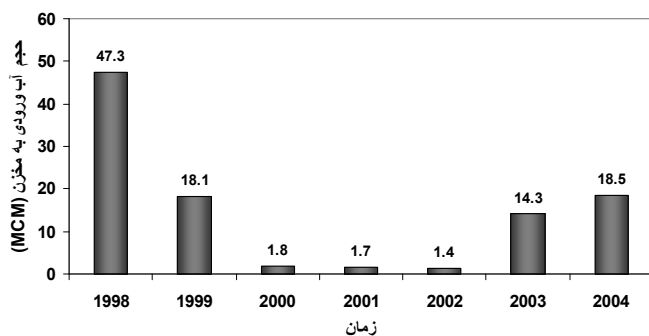
### تغییرات دبی ورودی به مخزن



(شکل ۱) - میانگین سالانه درجه حرارت هوا طی دوره ۷ ساله (۱۹۹۸ تا ۲۰۰۴)



(شکل ۲) - ارتفاع بارندگی سالانه طی دوره ۷ ساله (۱۹۹۸ تا ۲۰۰۴)



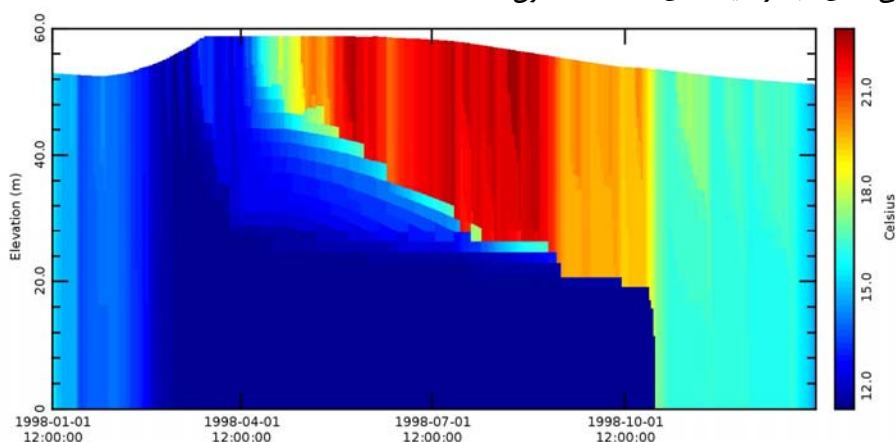
(شکل ۳) - حجم آب ورودی به مخزن سد طرق طی دوره ۷ ساله (۱۹۹۸ تا ۲۰۰۴)

### تغییرات حرارتی در مخزن سد طرق

نتایج حاصل از شبیه سازی حرارتی مخزن سد طرق در سال ۱۹۹۸ که در شکل ۴ ارائه شده بیانگر آن است که در ابتدای این سال (فصل زمستان) به دلیل اختلاط کامل مخزن، لایه بندی حرارتی تشکیل نشده و دمای آب در تمامی ترازهای مخزن یکسان بوده است. با شروع فصل بهار و گرم شدن هوا، تدریجاً از اواسط بهار، لایه بندی حرارتی در مخزن تشکیل شده و در اواسط تابستان به اوج خود رسیده و تا انتهای تابستان ادامه یافته است. در این دوره اختلاف دما بین لایه سطحی و لایه های پایینی به دلیل افزایش دمای آب در لایه های سطحی و عدم وجود شرایط اختلاط بین لایه های مختلف مخزن، افزایش پیدا کرده است. همچنین تشکیل لایه بندی حرارتی در مخزن، به تدریج باعث افزایش ضخامت لایه اپیلمنیون شد به طوری که در انتهای فصل تابستان ضخامت این لایه به ۳۵ متر رسید.

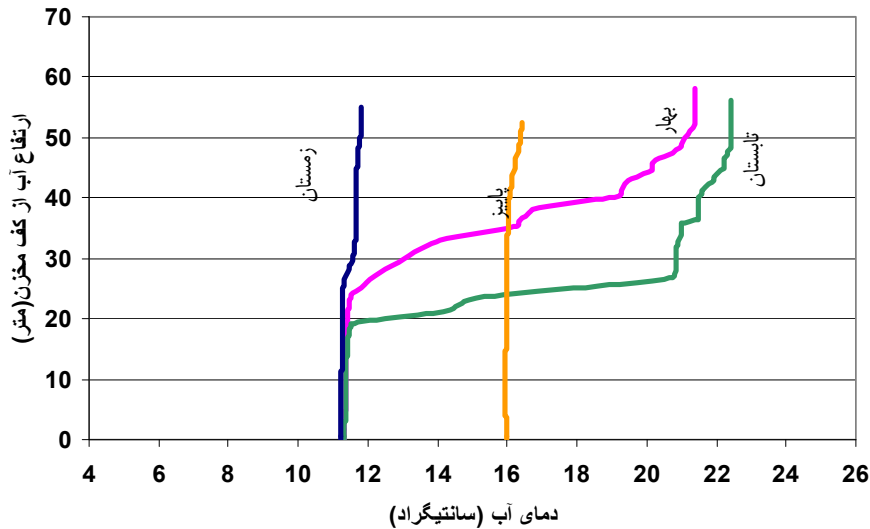
با شروع فصل پاییز و آغاز دوره سرما، مجدداً اختلاط در مخزن سد اتفاق افتاده است. اختلاط آب مخزن در این دوره، باعث یکنواخت شدن دما و سایر شرایط کیفی آب از قبیل شوری و غلظت اکسیژن محلول در تمامی ترازها می شود.

شکل ۵ میانگین فصلی دمای آب در لایه های مختلف مخزن



(شکل ۴) - نقشه لایه بندی حرارتی آب مخزن سد طرق در سال ۱۹۹۸

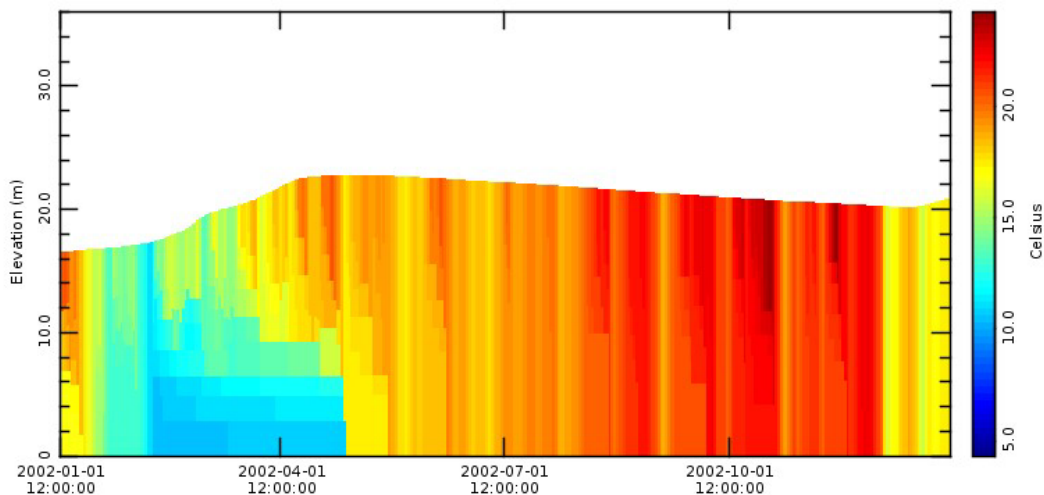
نشان می دهد. با توجه به این شکل، در فصول بهار و تابستان با شروع لایه بندی حرارتی، تغییرات دمایی در ترازهای مختلف مخزن افزایش یافته است. در فصل بهار متوسط دمای لایه اپیلمنیون و هیپولیمنیون به ترتیب ۲۱/۵ و ۱۱/۵ درجه سانتیگراد و در فصل تابستان ۲۲/۴ و ۱۱/۵ درجه سانتیگراد بوده است. این اختلاف دما، می تواند باعث تفاوت در شرایط کیفی آب در لایه های مذکور شود و پاره ای از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی آب را در ترازهای مختلف مخزن تغییر دهد. به عنوان مثال افزایش فرایندهای بیولوژیکی و شیمیایی از جمله رشد جلبکها در لایه سطحی، می تواند باعث تولید بو، طعم و رنگ نامناسب شود. در طول فصول بهار و تابستان لایه هیپولیمنیون دارای دمایی یکسان بوده و عدم وجود شرایط اختلاط در آب این لایه، می تواند باعث ایجاد شرایط بی هوازی شود. وجود شرایط بی هوازی باعث تجزیه بی هوازی برخی ترکیبات در آب شده و این فرآیند می تواند مولد رنگ، بو و طعم نامطبوع در آب شود. در فصول زمستان و پاییز به دلیل اختلاط مخزن، دمای آب همواره در تمامی ترازها یکنواخت است. در فصل زمستان میانگین دمای آب ۱۱/۵ درجه سانتیگراد و در فصل پاییز ۱۶ درجه سانتیگراد مشاهده شد.



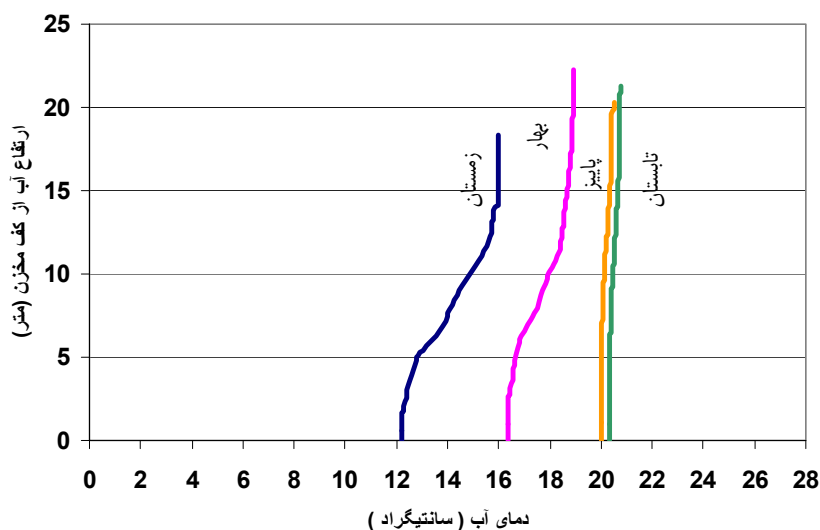
(شکل ۵) - میانگین فصلی درجه حرارت آب مخزن سد طرق در سال ۱۹۹۸

شکل ۷ میانگین فصلی دمایی را در اعماق مختلف مخزن در سال ۲۰۰۲ ارائه می‌دهد که مویده مطالب فوق می‌باشد. در فصول زمستان و بهار میانگین دمایی لایه سطحی مخزن به ترتیب ۱۶ و ۱۸ درجه سانتیگراد و میانگین دمایی لایه زیرین ۱۲/۵ و ۱۶/۵ درجه سانتیگراد بوده است. این اختلاف دما باعث تفاوت در چگالی آب و عدم به هم خوردن آب مخزن در ترازهای مختلف می‌شود. با شروع دوره گرما (از اواخر بهار) به تدریج دمایی مخزن یکنواخت شده و به ۲۰/۵ درجه سانتیگراد رسیده است. که این امر شرایط اختلاط در داخل مخزن را فراهم آورده است. در فصل پاییز نیز یکنواختی شرایط حرارتی ادامه یافته ولی متوسط دما به ۲۰ درجه سانتیگراد تقلیل یافته است.

نتایج حاصل از شبیه سازی حرارتی مخزن سد طرق در سال ۲۰۰۲ در شکل ۶ نشان داده شده است. در این سال به علت بالا بودن نسبی درجه حرارت سالانه (۱۶ درجه سانتیگراد) و کم بودن حجم آب ورودی (۱/۴ میلیون متر مکعب)، تراز سطح آب در مخزن به کمترین مقدار خود (۱۶ تا ۲۰ متر) در طول کل دوره مورد بررسی (۱۹۹۸ تا ۲۰۰۴) رسیده است. لایه بندی حرارتی در این دوره به دلیل کم بودن حجم آب مخزن، با شرایط حرارتی مخزن طی دوره‌های قبل، کاملاً متفاوت می‌باشد. همان گونه که از نتایج مدل بر می‌آید لایه بندی حرارتی در این سال فقط در یک دوره کوتاه تقریباً چهار ماهه (از اواسط زمستان تا اواسط بهار) تشکیل شده و در بقیه اوقات سال شرایط دمایی در تمامی اعماق تقریباً یکنواخت بوده است.



(شکل ۶) - نقشه لایه بندی حرارتی آب مخزن سد طرق طی سال ۲۰۰۲



(شکل ۷) - میانگین فصلی درجه حرارت آب مخزن سد طرق در سال آبی ۲۰۰۲

### تغییرات شوری در مخزن سد طرق

نتایج حاصل از شبیه سازی شوری آب مخزن توسط مدل برای سالهای ۱۹۹۸ و ۲۰۰۲ نشان داد که روند تغییرات شوری کاملاً مشابه روند تغییرات حرارتی آب مخزن می‌باشد به طوری که در فصول بهار و تابستان سال ۱۹۹۸ میانگین املاح آب در لایه بالایی غلظتی به ترتیب معادل ۲۸۰ و ۳۰۰ میلیگرم در لیتر و در لایه پایینی ۳۲۳ و ۳۰۹ میلیگرم در لیتر را داشت. ولی در فصول پاییز و زمستان اختلاط آب مخزن، باعث یکنواختی شرایط شوری آب گردید و میانگین شوری مخزن در این دو فصل به ترتیب مقادیر ۳۱۳ و ۳۲۴ میلیگرم در لیتر را نشان داد. این میزان شوری، با توجه به استانداردهای آب آشامیدنی و کشاورزی در حد مطلوبی می‌باشد.

در سال ۲۰۰۲ نیز روند تغییرات املاح در ترازهای مختلف مخزن با روند تغییرات حرارتی تطابق داشته است. میانگین شوری آب مخزن در فصول زمستان و بهار، به ترتیب ۴۳۰ و ۴۵۰ میلیگرم در لیتر بوده است. با شروع فصل تابستان و افزایش دما و تبخیر از سطح آب، شوری آب مخزن بیش از پیش افزایش یافته و این روند تا انتهای پاییز ادامه داشته و به ۶۵۰ میلیگرم در لیتر رسیده است. در این فصول میزان شوری آب بیشتر از مقادیر استانداردهای شوری آب شرب و کشاورزی (۵۰۰ میلیگرم در لیتر) بوده که نامناسب بودن شرایط کیفی آب را برای مصارف فوق دلالت دارد (۵). شایان ذکر است که در این سال حداکثر ارتفاع آب از کف مخزن به ۲۱ متر رسیده است که تنها از آبیگر قرار گرفته در تراز صفر امکان آبیگری مهیا بوده است. لذا در جدول ۱ شوری آب در آبیگرهای ۲۸، ۲۹ و ۵۱ متری ارائه نشده است.

### تغییرات میزان اکسیژن محلول در آب مخزن سد طرق

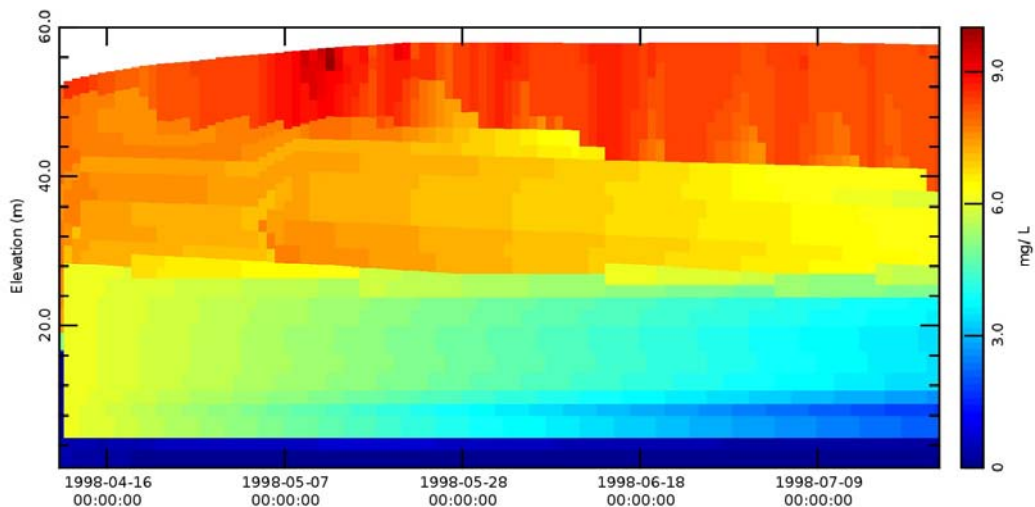
جهت بررسی اکسیژن محلول (DO) از داده‌های ایستگاه هیدرومتری کرتیان استفاده گردید. بررسی این پارامتر، با توجه به داده‌های موجود، برای یک دوره آماری ۱۰۵ روزه (از تاریخ ۱۹۹۸/۴/۱۰ تا تاریخ ۱۹۹۸/۷/۲۲) انجام گرفت. انتخاب این دوره جهت بررسی تغییرات غلظت اکسیژن محلول در آب، با توجه به همزمانی آن با اوج شرایط تشکیل لایه بندی حرارتی نسبت به سایر اوقات سال، امری منطقی به نظر می‌رسد.

نتایج حاصل از شبیه سازی میزان اکسیژن محلول در آب مخزن سد طرق در دوره مورد مطالعه در شکل ۸ نشان داده شده است. با توجه به این شکل، میزان اکسیژن آب در ترازهای بالایی بیش از ترازهای پایینی است که علت اصلی این مسئله وجود لایه بندی حرارتی در مخزن و عدم انتقال اکسیژن اتمسفر به لایه هیپولیمنیون می‌باشد. دامنه تغییرات اکسیژن محلول در لایه‌های مخزن طی دوره مورد بررسی، بین صفر تا ۹ میلیگرم در لیتر نوسان داشته است. از اوایل اردیبهشت ماه به تدریج اکسیژن محلول در آب اعماق زیر ۲۰ متر، کاهش می‌یابد تا اینکه در اواسط تیر ماه ضخامت لایه بی‌هوایی تا ارتفاع ۱۰ متر از کف مخزن می‌رسد و شرایط تا پایان دوره به همین منوال ادامه پیدا می‌کند. نکته قابل توجه اینکه در طول دوره مورد بررسی میزان اکسیژن محلول در ۵ متر پایینی مخزن همواره صفر بوده و که این امر شرایط را برای تولید بو، رنگ و طعم نامطبوع مهیا می‌سازد.



(جدول ۱) - میانگین شوری ماهانه در ترازهای آگیری مخزن سد طرق (میلیگرم در لیتر)

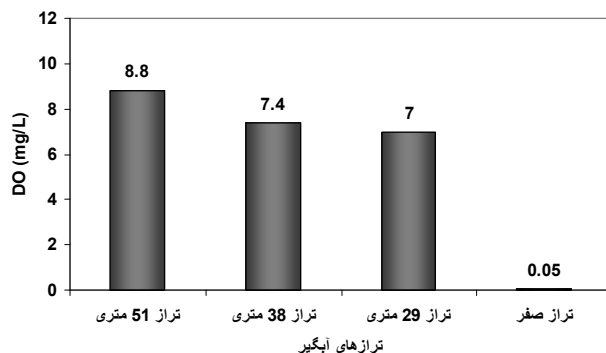
سال ۲۰۰۲				سال ۱۹۹۸				زمان
تراز ۵۱ متری	تراز ۲۸ متری	تراز ۲۹ متری	تراز صفر	تراز ۵۱ متری	تراز ۲۸ متری	تراز ۲۹ متری	تراز صفر	
-----	-----	-----	۳۹۵/۲	۳۲۵/۶	۳۲۵/۷	۳۲۵/۷	۳۲۶/۴	ژانویه
-----	-----	-----	۴۰۹/۱	۳۲۵/۰	۳۲۵/۵	۳۲۵/۵	۳۲۵/۱	فوریه
-----	-----	-----	۴۰۸/۹	۳۰۷/۸	۳۲۳/۳	۳۲۳/۳	۳۲۳/۳	مارس
-----	-----	-----	۴۰۴/۴	۳۱۹/۵	۳۲۴/۸	۳۲۴/۸	۳۲۴/۹	میانگین فصل زمستان
-----	-----	-----	۴۰۱/۵	۲۷۵/۹	۳۲۳/۲	۳۲۳/۳	۳۲۳/۳	آوریل
-----	-----	-----	۳۸۹/۴	۲۷۷/۸	۳۱۶/۶	۳۲۳/۳	۳۲۳/۳	می
-----	-----	-----	۴۱۷/۲	۲۸۵/۱	۲۸۵/۱	۳۲۳/۳	۳۲۳/۳	ژوئن
-----	-----	-----	۴۰۲/۷	۲۷۹/۶	۳۰۸/۳	۳۲۳/۳	۳۲۳/۳	میانگین فصل بهار
-----	-----	-----	۴۴۷/۲	۲۹۳/۳	۲۹۳/۲	۳۰۵/۱	۳۲۲/۳	ژولای
-----	-----	-----	۴۸۲/۳	۳۰۰/۴	۳۰۰/۳	۲۹۹/۹	۲۹۹/۹	اگوست
-----	-----	-----	۵۲۰/۴	۳۰۵/۹	۳۰۵/۶	۳۰۵/۳	۳۰۵/۱	سپتامبر
-----	-----	-----	۴۸۳/۳	۲۹۹/۸	۲۹۹/۷	۳۰۳/۴	۳۰۹/۱	میانگین فصل تابستان
-----	-----	-----	۵۶۰/۷	۳۱۰/۱	۳۱۰/۱	۳۰۹/۹	۳۰۹/۶	اکتبر
-----	-----	-----	۵۹۷/۷	۳۱۴/۰	۳۱۳/۹	۳۱۳/۸	۳۱۳/۸	نوامبر
-----	-----	-----	۶۲۳/۵	۳۱۷/۷	۳۱۷/۰	۳۱۶/۹	۳۱۶/۴	دسامبر
-----	-----	-----	۵۹۴/۰	۳۱۳/۹	۳۱۳/۷	۳۱۳/۵	۳۱۳/۳	میانگین فصل پاییز



(شکل ۸) - نقشه لایه بندی اکسیژن محلول در آب مخزن سد طرق

میانگین تقریباً صفر (۰/۰۵ میلیگرم در لیتر) کمترین مقدار اکسیژن محلول را دارا بوده اند. لذا بدترین تراز آگیری در دوره‌های گرم سال به دلیل شرایط بی هوازی و احتمال تولید بو و رنگ نامطبوع، پایین ترین تراز آگیری می‌باشد.

در شکل ۹، میانگین اکسیژن محلول طی دوره ۳ ماهه اواسط اردیبهشت تا اواسط مرداد در ترازهای آگیری، با یکدیگر مقایسه شده است. با توجه به این نمودار، تراز ۵۱ متری با میانگین اکسیژن محلول ۸/۸ میلیگرم در لیتر بیشترین مقدار و پایین ترین تراز آگیری با

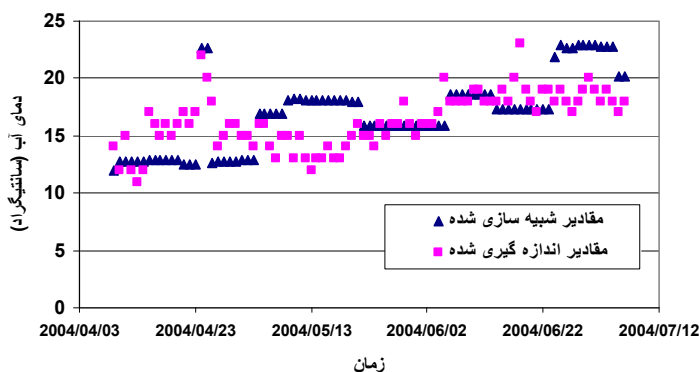


(شکل ۹) - میانگین غلظت اکسیژن محلول در ترازهای آبگیری مخزن سد طرق

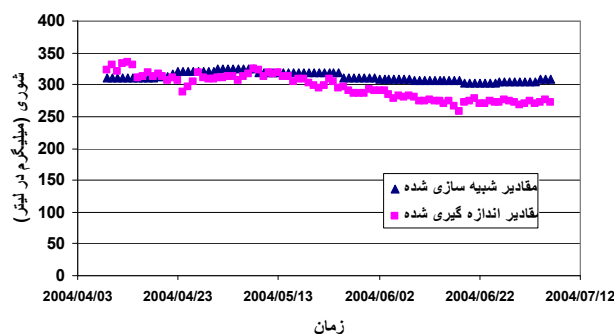
و همکاران (۱۵) که میزان خطا را برابر ۱۰٪ محاسبه نموده است منطبق می‌باشد. در خصوص تراز سطح آب همان گونه که در شکل ۱۲ نشان داده شده است همپوشانی نسبتاً مناسبی بین مقادیر شبیه سازی شده و اندازه گیری شده وجود دارد و میزان خطای محاسبه شده برابر ۷٪ می‌باشد. خطاهای مشاهده شده را می‌توان به عواملی مانند: (۱) عدم وجود آمار در ارتباط با پارامترهای کیفی آب در ترازهای مختلف مخزن سد، (۲) نبودن آمار دقیق مربوط به خصوصیات آب ورودی و (۳) اندازه گیری پارامترهای دما و شوری آب خروجی سد در محل تصفیه خانه که در واقع در ۳ کیلومتری پایین دست سد قرار گرفته است، نسبت داد.

### میزان خطای محاسباتی

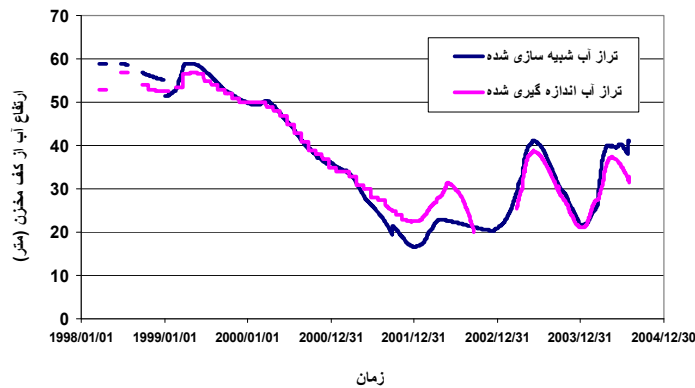
جهت بررسی دقت محاسباتی مدل اقدام به مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی توسط مدل با داده‌های اندازه گیری شده از مخزن گردید. در مورد پارامترهای دما و شوری آب، با توجه به داده‌های موجود، مقایسه برای یک دوره سه ماهه از ۲۰۰۴/۴/۹ تا ۲۰۰۴/۷/۶ و در خصوص تراز سطح آب مقایسه برای یک دوره ۶ ساله (۱۹۹۹ تا ۲۰۰۴) انجام گرفت. در خصوص دما و شوری مقایسه مقادیر شبیه سازی شده و اندازه گیری شده از محل آبگیر قرار گرفته در تراز صفر انجام گرفته است که در اشکال ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که میزان خطا برای پارامترهای دما و شوری به ترتیب برابر ۱۲٪ و ۸٪ بوده که با توجه به نتایج ارائه شده توسط گال



(شکل ۱۰) - مقایسه داده‌های اندازه گیری شده و شبیه سازی شده دمای آب



(شکل ۱۱) - مقایسه داده‌های اندازه گیری شده و شبیه سازی شده شوری آب



شکل ۱۲: مقایسه تراز آب شبیه سازی شده و اندازه گیری شده سد طرق

## نتیجه گیری

زمستان به دلیل وجود اختلاط در مخزن و یکنواختی شرایط کیفی آب، انتخاب تراز آبگیری چندان اهمیتی ندارد.

در سالهایی مانند سال ۲۰۰۲ که تراز آب مخزن سد، به دلیل کاهش بارندگی و بالا بودن درجه حرارت هوا، کاهش یافته و به زیر ۲۰ متر می‌رسد، معمولاً لایه بندی حرارتی به صورت جزئی اتفاق افتاده و یا اصلاً تشکیل نمی‌شود. در چنین شرایطی، اختلاط طبیعی در مخزن باعث یکنواختی کیفیت آب در تمامی ترازهای مخزن می‌گردد. در این دوران به دلیل افزایش تبخیر از سطح آب مخزن، میزان شوری آب افزایش یافته و ممکنست به حدی برسد که کیفیت آب جهت مصارف شرب و کشاورزی مطلوب نباشد.

به طور کلی، نتایج حاصل از این طرح نشان داد که مدل هیدرودینامیکی یک بعدی DYRESM را می‌توان با دقت و درجه اطمینان قابل قبولی جهت شبیه سازی و پیش بینی پارامترهای کیفی آب مخازن سدها به کار برد. مقایسه نتایج شبیه سازی توسط مدل و مقادیر اندازه گیری شده، در مورد پارامترهای دما، شوری و تراز سطح آب، میزان خطایی را به ترتیب معادل ۱۲٪، ۸٪ و ۷٪ نتیجه داد.

نتایج حاصل از شبیه سازی پارامترهای کیفی آب در مخزن سد طرق نشان داد که در سالهای پر آب همچون سال ۱۹۹۸، به دلیل بالا بودن تراز سطح آب (بیش از ۵۰ متر)، لایه بندی حرارتی در داخل مخزن به صورت کامل تشکیل شده و باعث به وجود آمدن سه لایه حرارتی مجزا (اپیلیمنیون، متالیمنیون و هیپولیمنیون) می‌گردد. لایه بندی حرارتی از اواسط بهار تا اواخر تابستان دوام آورده و تغییر کیفیت آب را در ترازهای مختلف مخزن سبب می‌شود. در طی این دوره، آب لایه بالایی مخزن (تراز ۴۰ تا ۵۱ متری) به دلیل بالا بودن درجه حرارت و رشد جلبکی زیاد ممکنست شرایط کیفی مناسبی را به لحاظ رنگ، بو و طعم برای مصارف مختلف، به خصوص برای آشامیدن، نداشته باشد. همچنین در تراز پایینی مخزن (تراز صفر تا ۱۰ متری)، کیفیت آب به دلیل میزان املاح، تجمع رسوبات، ایجاد شرایط بی هوازی و نتیجتاً تولید ترکیبات مولد بو و طعم نامطبوع، نامناسب است. به همین جهت در دوره‌هایی که در مخزن سد لایه بندی حرارتی اتفاق می‌افتد، بهترین محل برای آبگیری، تراز میانی یعنی تراز ۲۹ مترمخزن است که به طور نسبی بهترین کیفیت آب را دارا است. در فصول پاییز و

## منابع

- ۱- گزارش هواشناسی، سازمان هواشناسی استان خراسان رضوی، واحد آمار و اطلاعات. ۱۳۸۶.
- ۲- گزارش هیدرولوژی، شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان رضوی، واحد آمار و اطلاعات. ۱۳۸۶.
- ۳- توحیدی، ح. ر. ۱۳۷۷. تحقیق در رابطه با عوامل موثر در تغییرات کیفی آب مخزن سد طرق و ارائه روشهای بهینه کردن آب دریاچه. کمیته تحقیقات کاربردی شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی (وزارت نیرو).
- ۴- سارنگ، ا. و تجریشی، م. و ابریشمچی، ا. ۱۳۸۰. شبیه سازی کیفی مخزن سد بوکان. مجله آب و فاضلاب شماره ۳۷، ص ۲-۱۵.
- ۵- شیعتی، ک. ۱۳۸۰. مطالعات لایه بندی و کیفیت آب مخزن سد مخزنی دوستی، بخش تحقیقات شرکت طوس آب.
- ۶- شیعتی، ک. ۱۳۸۵. پروژه مطالعات لایه بندی و کیفیت آب مخزن سد مخزنی شورپیچه بر روی رودخانه کشف رود، بخش تحقیقات شرکت طوس آب.
- ۷- علیزاده، ا. ۱۳۸۵. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات استان قدس رضوی.

- ۸- کرمانی، م. و ناصری، س. ۱۳۸۱. اثرات احداث سد بر کیفیت آب. مجله آب و محیط زیست. شماره ۵۱، ص ۱۱-۶.
- 9- Anderson, D. R., Dracup, J. A., Forgy, T. J., and Willis, R. 1976. Water quality modeling of deep reservoirs. J. Water Pollution Control Federation, Vol. 48, NO. 14-31.
- 10- Asaeda, T., Pham, H. S., Nimal Priyantha, D. G., Manatunge, J., and Hocking, G. C. 2001. Control of algal blooms in reservoirs with a curtain: a numerical analysis. Ecological Eng., Vol.16, Iss. 3, pp. 395-404.
- 11- Balistrieri, L., Tempel, R. N., Stillings, L., and Shevenell, L. 2006. Modeling spatial and temporal variations in temperature and salinity during stratification and overturn in Dexter Pit Lake, Tuscarora, Nevada, USA. Applied Geochemistry, Vol. 21, Iss. 7, pp.1184-1203
- 12- CE-QUAL-R1. 1982. A Numerical one-dimensional model of reservoir water quality. User 's manual., U. S . Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Environmental and water quality operational studies , Instruction Report E-82-1.
- 13- DYRESM. 1982. A numerical one-dimensional model of reservoir water quality. User 's manual. Water Resources Engineering and Management. Report, Center for Water Research the University of Western Australia.
- 14- Ford, D. E., and Thornton, K.W. 1979. Time and length scales for the one-dimensional assumption and its relation to ecological models. Water Resources Res., Vol. 15, pp. 113-120.
- 15- Gal, G., Imberger, J., Zohary, T., Antenucci, J., Anis, A., and Rosenberg, T. 2003. Simulating the thermal dynamics of Lake Kinneret. Ecological Modelling, Vol. 162, Iss. 1-2, pp. 69-86.
- 16- Han. P., Armengol. J., Garcia. C. J., Comerma. M., Roura. M., Dolz. J., and Straskraba, M. 2000. The thermal structure of Sau Reservoir (NE: Spain): a simulation approach. Ecological Modelling. Vol. 125, Iss. 2-3, pp. 109-122.
- 17- Lombardo, P. S. 1972. Critical review of currently available water quality models, Hydrocomp, Inc. Technical report, Control. No.14.31.
- 18- Louise, C. B., Hamilton. D., Imberger, J., Gal. G., Gophen, M., Zohary, T., and Hambright, K. D. 2006. A numerical simulation of the role of zooplankton in C, N and P cycling in Lake Kinneret, Israel. Ecological Modelling, Vol.93, Iss. 3-4, pp. 412-436.
- 19- Norton, W. R., King, I. P. and Orlob, G. T. 1973. A finite element model for lower granite . reservoir, Report to Walla Dist. U. S. Corps of Engineers, by WRE, Inc.
- 20- Reynolds, C. S. 1992. Dynamics, selection and composition of phytoplankton in relation to vertical structure in lakes. Arch Hidrobiol. Beih Ergbn. Limnol. Vol. 35, pp. 13-31.
- 21- Simons, T. J. 1976. Verification of numerical models of lake Ontario, III-long-term heat transports. J. Oceanography., Vol. 6, pp. 372-378.



## Simulation of Water Quality in Dam's Basins (Case Study – Torogh Dam Basin)

M. Khayammi<sup>\*1</sup> - S. Danesh<sup>2</sup> - S. Khodashenas<sup>2</sup> - K. Davari<sup>2</sup>

### Abstract

In this research the thermal stratification of the water in the Torogh Dam Basin and the resulted changes in its quality with respect to temperature, salinity and dissolved oxygen was investigated using the Dynamic Reservoir Simulation Model. The results indicated that in wet years such as 1998, when the average annual precipitation and the resulted inflows to the basin is higher than its long-term average, the water level in the basin reaches above 50 m. Under such conditions, thermal stratification starts from mid-spring and lasts to the end of summer, and establishes through the total depth of the basin. Consequently, considerable changes in water quality occur through the depth. However in dry years such as year 2000, the water level in the basin diminishes considerably (16 to 20m in depth) and thermal stratification either does not establish or if establishes, it is incomplete, starts much earlier and persists for much shorter periods of time. On the basis of the model's results, the differences observed in the average temperatures of the surface and deep layers of the basin during the spring and summer seasons of 1998 were 10°C and 11°C, respectively while in the spring of 2002, the observed difference was only 1.5°C. The results of the study also showed concurrent occurrence of salinity stratification with thermal stratification which results in increase in salinity with increase in depth. The difference between salt concentration of the surface and deep water layers of the basin was observed to be 43 mg/lit in the spring of 1998 and 10 mg/lit for the summer of the same year. In regard to the dissolved oxygen concentration, the simulation results showed a difference in the range of 0 to 9 mg/lit between the surface and deep water layers. With the start of stratification, oxygen concentration decreases gradually with depth., such that in July the lowest 10m layer of the basin becomes completely anaerobic, providing conditions for production of undesired odors, tastes and color. During the period of 1998 to 2004 (period of data analysis and simulation run), the water quality of the basin was observed to be uniform in autumn and winter months indicating a complete mixing condition in the basin.

**Key Words:** Water Quality Models, Thermal Stratification, Water Salinity, Dissolved Oxygen, Dam's Basin.

<sup>1</sup>- Former M.S.C. Student, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad(\* - Corresponding author Email: mostafa.136231@yaho.com)

<sup>2</sup>- Assistant Professor, Dept. of water Engineering, College of Agriculture Ferdowsi University. of Mashhad