

بررسی اثر آبیگری انتخابی و کاهش شوری ورودی بر نمودارهای توزیع شوری در مخزن سد پانزده خرداد

محمد ابراهیم خواجه‌پور^۱، افشین اقبالزاده*^۲، مرتضی افتخاری^۳، میترا جوان^۴

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۱۱

چکیده

سد ۱۵ خرداد نخستین آبیگری که آبی لب‌شور را در ایران انبار می‌کند به‌وجود آورده است. این مخزن با حجم کل ۲۰۰ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۷۳ به پایان رسید. در آغاز بهره‌برداری، اندازه‌ی کل مواد جامد محلول در مخزن ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود؛ پس از گذشت ۵ سال این مقدار به ۲۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر رسید. در این مقاله برای واسنجی دما و شوری در مخزن سد پانزده خرداد از شبیه دو بعدی متوسط‌گیری شده در عرض آبیگری با کاربرد CE-QUAL-W2 استفاده شد. پس از واسنجی شبیه، تأثیر محل برداشت آب بر کاهش شوری در مخزن مورد بررسی قرار گرفت. سپس با کاربرد شبیه واسنجی شده، تأثیر محل برداشت آب بر کاهش شوری در مخزن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که تأثیر آن بر کاهش شوری در مخزن ناچیز بود. در ادامه، تأثیر کاهش شوری ورودی به مخزن بر اثر اعمال روشهای مدیریت در حوضه‌ی آبریز بررسی شد. نتایج نشان دادند که با کاهش ۲۵ درصد شوری ورودی، افزایش شوری در آب مخزن رشد کمتری داشته و با کاستن ۵۰ درصدی، می‌توان میزان شوری آب داخل مخزن را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: مخزن سد پانزده‌ی خرداد، کل مواد جامد محلول، CE-QUAL-W2، کاهش شوری ورودی

^۱ - دانش آموخته کارشناسی ارشد عمران-آب، دانشگاه رازی کرمانشاه

^۲ - استادیار گروه مهندسی عمران دانشگاه رازی کرمانشاه

^۳ - استادیار گروه مهندسی عمران دانشگاه رازی کرمانشاه

^۴ - استادیار گروه مهندسی عمران دانشگاه رازی کرمانشاه

*- نویسنده مسوول مقاله: afeghbal@yahoo.com

مقدمه

جریان آب رودخانه‌ها، تحت تأثیر فرایندهایی چون هواگیری، تنفس سلولی و اختلاط قرار داشته، و از کیفیت یکنواختی برخوردار است. هنگامی که با احداث سد جلوی این جریان گرفته می‌شود، کیفیت آب تغییر خواهد کرد. مهمترین تغییراتی که ممکن است بوقوع پیوندند لایه‌بندی دمایی و به تبع آن لایه‌بندی اجزای کیفی دیگر در مخزن سد می‌باشد. علاوه بر دما، غلظت مواد جامد محلول^۱ که به عنوان شاخص شوری در مخازن و پیکره‌های آبی مطرحند، عامل مهمی است که بر لایه‌بندی مخزن تأثیرگذار بوده و ضروری است مورد بررسی قرار گیرد (قاهری و همکاران، ۱۳۸۴).

در حالت کلی، برای بررسی پدیده‌های داخل مخزن می‌توان از یک یا ترکیبی از بررسیهای میدانی، مطالعات آزمایشگاهی و شبیه‌سازی عددی استفاده کرد (افتخاری ۱۳۸۷). از آنجا که بررسیهای میدانی و مطالعات آزمایشگاهی نیاز به صرف وقت و هزینه زیاد، و همچنین استفاده از تجهیزات خاصی دارند، شبیه‌سازی عددی می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای مناسب در نظر گرفته شود. البته جهت واسنجی شبیه عددی نیاز به استفاده از نتایج بررسیهای میدانی و مطالعات آزمایشگاهی در دوره‌های محدودتری وجود دارد. در سالهای اخیر، شبیه دو بعدی CE-QUAL-W2 به وفور برای شبیه‌سازی مخازن و رودخانه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است، بطوری‌که تا سال ۲۰۰۷ بیش از ۱۰۰۰ مورد بهره‌برداری از این شبیه در سرتاسر جهان ثبت شده است (زو و همکاران، ۲۰۰۷). کو و همکاران (۲۰۰۶)، مخازن تیسنگ ون و تی چای را در تایوان با کاربرد شبیه CE-QUAL-W2 برای شبیه‌سازی دما، فسفر، آمونیوم، نیترات، کلروفیل a و اکسیژن محلول مورد مطالعه قرار دادند. آنها پس از واسنجی شبیه، از شبیه استفاده کرده و به شبیه‌سازی کیفیت آب مخزن بر اثر کاهش بار مغذی پرداختند. نتایج نشان دادند که کاهش ۳۰ تا ۵۵ درصد بار فسفر می‌تواند وضعیت مخزن تی چای را از حالت مغذی به شاداب تغییر دهد. ری شیان و همکاران (۲۰۰۴) به واسنجی مخزن شیمان برای شبیه‌سازی غلظت کلروفیل a

پرداخته، سپس نمایشنامه‌های مختلف را برای تغییر وضعیت این مخزن از حالت مغذی به شاداب بررسی نموده و نتیجه گرفتند که کاهش نود درصدی غلظت بار آلاینده‌ها منجر به این تغییر وضعیت می‌شود. چونگ و اوه (۲۰۰۶) اثر اختلاط جریان را در لایه‌بندی مخزن در مخازن واقع در شرایط آب و هوایی مانسون در مخزن دائیچئونگ کره مورد مطالعه قرار دادند. آنها با تحلیل حساسیتی که در مورد ضرایب واسنجی انجام دادند به تأثیر مهم ضرایب پوشش باد، ضرایب شزی و تبادل گرمایی رسوبها در شکل‌گیری لایه‌بندی دمای پی بردند. در ضمن، تأثیر دمای آب ورودی بر توزیع دما طی سالهای بارش متوسط زیاد بوده اما، طی سالهای خشک تأثیر آن ناچیز بود. بعد از واسنجی اندازه‌ی خطای AME و RMSE به ترتیب ۰/۶۸٪ و ۰/۸۵٪ به‌دست آمد. لیو و همکاران (۲۰۰۹) مخزن مینگدر را در تایوان با کاربرد شبیه دو بعدی CE-QUAL-W2 طی یک دوره‌ی دو ساله شبیه‌سازی کرده و پس از کاربرد موفق شبیه در پیش‌بینی اجزای کیفی، آن را تحت نمایشنامه‌های مختلف کاهش مواد مغذی مورد بررسی قرار دادند **Error! Unknown switch argument.** نتایج نشان دادند که با کاهش به‌ترتیب ۲۰ و ۸۰ درصد بار فسفر کیفیت دریاچه از حالت مغذی به نیمه مغذی و شاداب تغییر پیدا خواهد کرد.

در مقاله‌ی حاضر، ابتدا با کاربرد داده‌های سال ۷۶، که در مخزن سد پانزده خرداد، به‌صورت ماهانه، و در اواخر هر ماه برداشت می‌شد، شبیه دو بعدی متوسط‌گیری شده در عرض CE-QUAL-W2 به منظور شبیه‌سازی توزیع دما و شوری مورد استفاده قرار گرفت. از آنجا که مشکل عمده‌ی مخزن سد پانزده خرداد افزایش شوری از زمان احداث سد بوده است، در ادامه، تأثیر آبیگری انتخابی بر نمودارهای شوری در مخزن و نیز شوری پایین دست مورد بررسی قرار گرفت. سپس تأثیر کاهش شوری ورودی به مخزن در صورت اعمال روشهای مدیریت در حوضه‌ی آبخیز بر نمودارهای توزیع شوری داخل آبیگر بررسی شد.

مواد و روشها

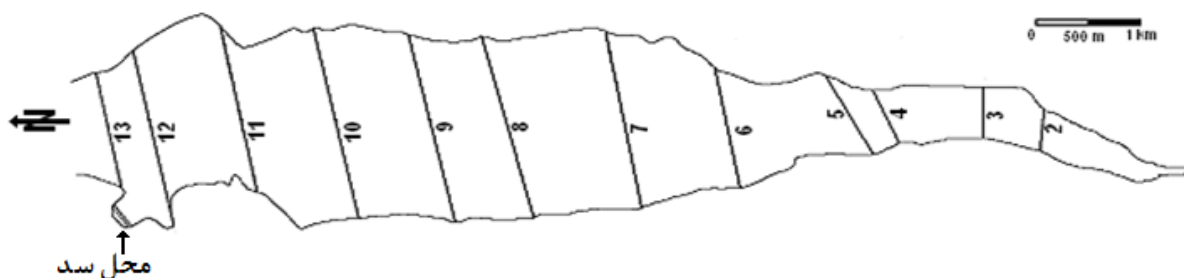
وضعیت عمومی و منطقه‌ی مورد مطالعه

سد پانزده‌ی خرداد در سال ۱۳۷۲ در عرض

^۱-total dissolved solids (TDS)

حق آبه‌های حدود ۸۰۰۰ هکتار از اراضی پایین دست محل سد به اندازه‌ی ۲۸/۳ میلیون متر مکعب در حاشیه‌ی رودخانه‌ی دشت قم بوده است. مشخصه‌ی عمده‌ی سد پانزده‌ی خرداد را می‌توان نخستین بودن آن در کشور برای مهار کردن رودی لب‌شور و با هدف تأمین آب شرب شهری دانست. در شکل ۱ نمای بالای مخزن، و موقعیت سد بر روی آن نشان داده شده است.

جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی، با ظرفیت مخزن ۲۰۰ میلیون متر مکعب، ظرفیت تنظیم آب ۸۵ میلیون مترمکعب، و با ارتفاع ۵۴ متر از بستر بر روی رود لب‌شور قمرود، در نزدیکی روستای عباس‌آباد دلیجان، و در ۲۱۰ کیلومتری جنوب تهران احداث گردیده است. هدف از احداث این سد مهار کردن آبه‌های سطحی، تأمین آب شرب شهرستان قم به میزان ۳۷/۴ میلیون مترمکعب، و تأمین



شکل ۱- نمای بالایی آبنگير سد پانزده‌ی خرداد و محل قرارگیری مقاطع عرضی.

$$\frac{\partial UB}{\partial t} + \frac{\partial UUB}{\partial x} + \frac{\partial WUB}{\partial z} = gB \sin \alpha \quad (3)$$

$$+ g \cos \alpha B \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{g \cos \alpha B}{\rho} \int_{\eta}^z \frac{\partial \rho}{\partial x} dz$$

$$+ \frac{1}{\rho} \frac{\partial B \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial B \tau_{xz}}{\partial z} + qBU_x$$

$$\frac{\partial UB}{\partial x} + \frac{\partial WB}{\partial z} = qB \quad (4)$$

$$\frac{\partial B \Phi}{\partial t} + \frac{\partial UB \Phi}{\partial x} + \frac{\partial WB \Phi}{\partial z} - \frac{\partial (BD_x \frac{\partial \Phi}{\partial x})}{\partial x} \quad (5)$$

$$- \frac{\partial (BD_z \frac{\partial \Phi}{\partial z})}{\partial z} = q_{\phi} B + s_{\phi} B$$

$$\rho = f(T_w, \Phi_{TDS}, \Phi_{ss}) \quad (6)$$

در این روابط، X و Z مختصات افقی و قائم، B عرض پیکره‌ی آبی، U سرعت افقی میانگین عرضی، W سرعت قائم میانگین عرضی، ρ چگالی آب، t زمان، P فشار، g شتاب گرانش، q آبدهی ورودی و خروجی، α شیب کف پیکره‌ی آبی، ϕ غلظت اجزا متوسط‌گیری شده در جهت

شبه عددی

این شبهه بر اساس روش تفاضل محدود معادلات متوسط‌گیری شده در عرض، شامل معادله‌ی سطح آزاد آب (رابطه‌ی ۱)، اندازه‌ی حرکت در جهت Z (رابطه‌ی ۲)، پیوستگی اندازه‌ی حرکت در جهت X (رابطه‌ی ۳)، پیوستگی (رابطه‌ی ۴)، انتقال اجزای کیفی (رابطه‌ی ۵) و معادله‌ی حالت (رابطه‌ی ۶) که ارتباط بین چگالی، دمای آب و غلظت مواد جامد محلول و معلق را برقرار می‌کند، مورد حل قرار داده و قادر به محاسبه‌ی تراز سطح آزاد، فشار، چگالی، سرعت‌های قائم و افقی و غلظت اجزا بر پایه روابط زیر می‌باشد (کول و ولز، ۲۰۱۰).

$$\frac{\partial B_{\eta} \eta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \int_{\eta}^h UB dz - \int_{\eta}^h qB dz \quad (1)$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} = \rho g \cos \alpha \quad (2)$$

شرایط مرزی در شبیه اعمال شده‌اند.

زمان شروع و خاتمه‌ی شبیه‌سازی که به ترتیب سی‌ام اردیبهشت و بیست و ششم اسفند می‌باشند، به صورت روزهای میلادی به شبیه معرفی گردیدند. از آن‌جا که اول ژانویه (یازدهم دی) دارای شماره‌ی روز یک است، زمان شروع و خاتمه شبیه‌سازی به ترتیب ۱۴۱ و ۴۴۲ وارد شدند.

ضرایب پوشش گیاهی منطقه، و ضرایب اصلاح باد برای مقاطع مختلف طولی، به عنوان داده‌های ورودی معرفی شدند که مقادیر نهایی آنها پس از واسنجی به دست آمدند.

محاسبه‌ی میزان خطا

برای محاسبه‌ی میزان خطا بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده از معیار خطای میانگین مطلق استفاده شده است. این رابطه به صورت زیر است:

$$AME = \frac{\sum |Prediction - Observed|}{number - of - observations} \quad (7)$$

بر اساس توصیه‌ی راهنمای شبیه این معیار یکی از بهترین اجزای آماری برای ارائه در گزارشها می‌باشد. در واقع، خطای میانگین مطلق مقدار متوسط خطاها را در مجموعه‌ی پیش‌بینیها بدون در نظر گرفتن جهت آنها اندازه‌گیری می‌کند. به عنوان نمونه مفهوم AME برابر با $0.5^{\circ}C$ ، وجود فاصله‌ی متوسط میان مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده برابر با $\pm 0.5^{\circ}C$ می‌باشد.

عرضی، D_x و D_z ضرایب پخش دما و اجزا در جهت‌های X و Z ، τ_{xx} و τ_{xz} تنش برشی آشفته در جهات X و Z ، q_{ϕ} غلظت اجزای ورودی و خروجی، S_{ϕ} منبع تولید یا هدر رفتن اجزای کیفی، β_{η} عرض سطح آب، که با زمان و مکان متغیر می‌باشد، η محل سطح آزاد آب و h عمق می‌باشد. در معادله‌ی حالت نیز چگالی تابعی از T_w دمای آب، ϕ_{IDS} غلظت مواد جامد محلول و ϕ_{SS} غلظت مواد جامد معلق است.

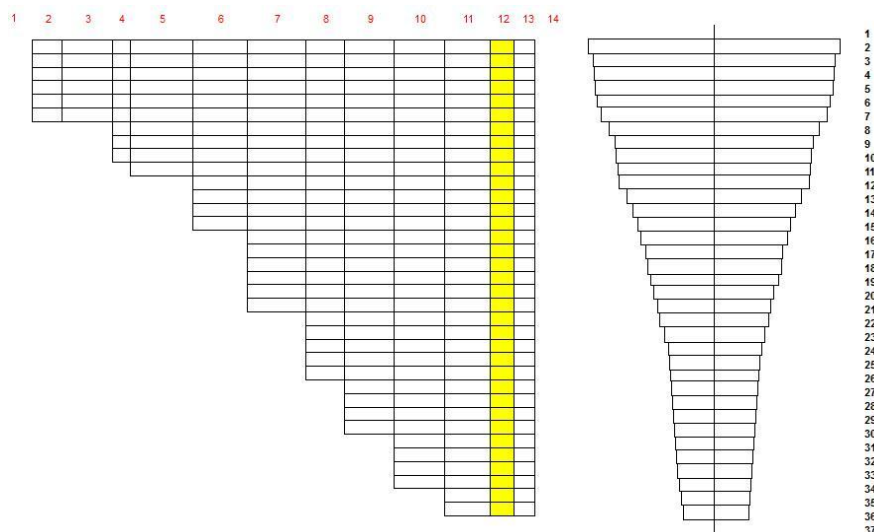
ورود اطلاعات به شبیه

اطلاعات مورد نیاز جهت شبیه‌سازی شامل هندسه‌ی مخزن، هواشناسی، شرایط اولیه، شرایط مرزی، طول دوره‌ی شبیه‌سازی و ضرایب پوشش گیاهی و اصلاح باد می‌باشند.

در این بررسی، به منظور معرفی هندسه به شبیه، مخزن سد پانزده خرداد به ۱۴ بخش طولی و ۳۷ لایه در جهت قائم مطابق شکل ۲ تقسیم شده است. عمق همه‌ی لایه‌ها به میزان ثابت یک متر منظور گردیده، اما فاصله‌ی طولی بخشها از ۳۰۰ تا ۱۳۰۰ متر متغیر می‌باشد.

اطلاعات هواشناسی شامل دمای هوا، دمای نقطه‌ی شبنم، سرعت و جهت باد و میزان ابری بودن است که از نزدیکترین ایستگاه هواشناسی مجاور به سد، و به صورت متوسط روزانه به شبیه معرفی شدند.

اطلاعات دما و شوری و نیز تراز سطح آب در نخستین روز شبیه‌سازی، به عنوان شرایط اولیه و آبدهی ورودی و خروجی، دما و شوری آب ورودی به مخزن به عنوان



شکل ۲- معرفی هندسه‌ی مخزن به شبیه

نتایج و بحث

واسنجی شبیه

واسنجی شبیه CE-QUAL-W2 شامل واسنجی هندسه، تراز سطح آب و دما می‌باشد. در تحقیق حاضر، ابتدا نمودار حجم ارتفاع تولید شده با کاربرد شبیه، که معرف هندسه‌ی مخزن است، با نمودار واقعی مورد مقایسه قرار گرفت. سپس، تراز سطح آب تولید شده به وسیله‌ی شبیه با تراز سطح آب مشاهداتی، که از پایگاه اینترنتی مدیریت منابع آب برداشت شد، مقایسه گردید. میانگین خطای مطلق تراز مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در حدود ۲/۵ سانتی‌متر به دست آمد، که نشان‌دهنده‌ی صحت واسنجی تراز سطح آب می‌باشد.

در مرحله بعد، به منظور انجام واسنجی دمای آب در مخزن سد پانزده‌ی خرداد، از اندازه‌گیری‌های صورت گرفته

در مقاطع عرضی مخزن سد استفاده شده است (شکل ۱). برای انجام واسنجی دمای آب در این تحقیق، پس از انجام تحلیل حساسیت، ضرایب مختلف بر حسب ناحیه‌ی تأثیرشان بر نمودارهای توزیع دما (رولایه، میان لایه و زیرلایه) و نیز دامنه‌ی تأثیرشان (کم و زیاد) دسته‌بندی گردیدند. با استفاده از نتایج به دست آمده، واسنجی در هر قسمت از ضرایب تأثیرگذارتر شروع شد؛ در ابتدا، ضرایبی که تأثیرگذارتر بودند تعیین گردیدند. بعد از این که تناسب کافی بین نمودارهای توزیع شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در قسمت مربوطه حاصل گردید، با واسنجی سایر ضرایب تأثیرگذار دقت شبیه‌سازی افزایش داده شد. پس از انجام سعی و خطاهای پی در پی، اندازه‌های نهایی ضرایب شبیه مطابق جدول ۱ به دست آمد.

جدول ۱- ارزش ضرایب موثر در واسنجی.

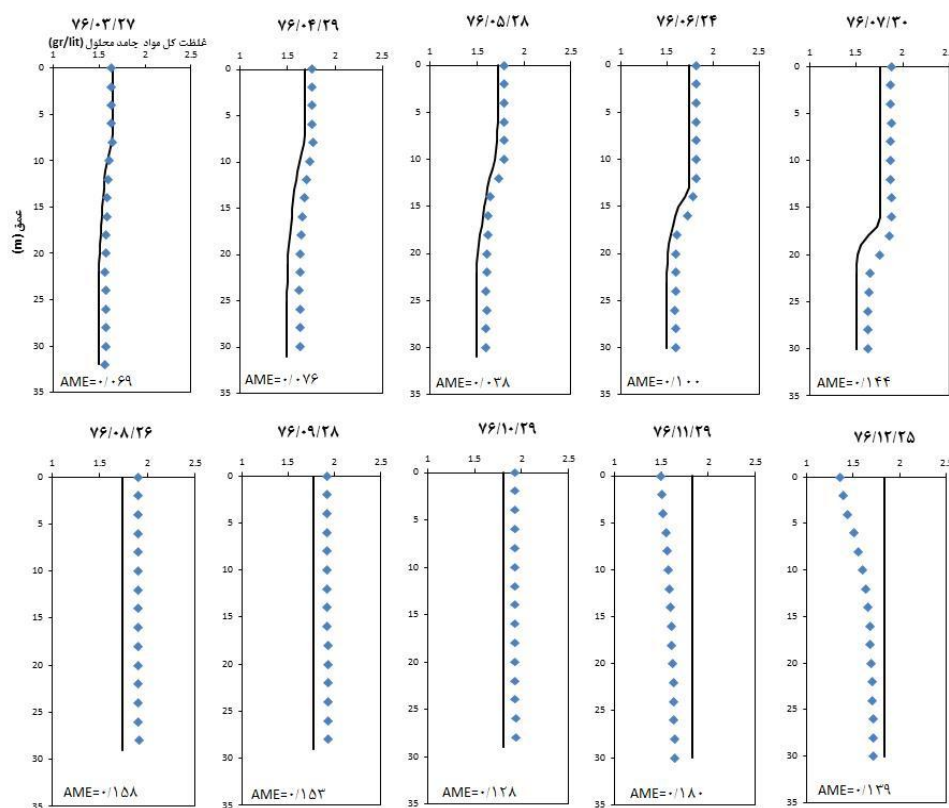
عنوان ضریب	علامت اختصاری	ارزش ضریب
گرانروی گردابه‌ی افقی	AX	۱
پخش گردابه‌ی افقی	DX	۱
تابش جذب شده در لایه سطحی	Beta	۰.۴
عمق نفوذ آب (ضریب خاموشی نور)	EXH2O	۰.۳۵
ضریب سایه اندازی	SHD	۱
ضریب پوشش باد	WSC	متغیر
ضریب تبادل دما در کف	CBHE	۰.۹
دمای رسوب	TSED	۱۵
بازتابش برگشتی از رسوبات به ستون آب	TSEDF	۱
گرانروی قائم آشفته	AZC	W2
بیشینه‌ی گرانروی قائم آشفته	AZMAX	۰.۰۰۰۰۱
ضریب اصطکاک کف	FRICC	شزی
ضریب زبری باد	Z0	۰.۰۰۱
ضریب تبخیر a در تابع باد	AFW	۱۴
ضریب تبخیر b در تابع باد	BFW	۵.۵۲
ضریب تبخیر c در تابع باد	CFW	۲

شبیه‌سازی غلظت مواد جامد محلول در مخزن

پس از تعیین ضرایب مهم شبیه و اخذ جواب مطلوب از نمودارهای شبیه‌سازی دما و انطباق مناسب با واقعیت مرحله واسنجی آب پویایی مخزن خاتمه یافت. در اکثر شبیه‌سازیها از دما به عنوان جزء واسنجی آب پویایی مخزن استفاده می‌گردد. از آنجایی که در این تحقیق فرض بر پایستار بودن غلظت مواد جامد محلول (شوری) می‌باشد، لذا در شبیه‌سازی به واسنجی مجدد نمی‌باشد. در این شبیه‌سازی توزیع اولیه‌ی غلظت مواد جامد محلول در آغاز شبیه‌سازی به‌عنوان شرط اولیه، و غلظت مواد جامد محلول در طول دوره‌ی شبیه‌سازی در ورودی مخزن به عنوان شرط مرزی به شبیه وارد شدند. در شکل ۳ نتایج مربوط به توزیع غلظت مواد جامد محلول در ژرفترین نقطه‌ی مخزن (مقطع عرضی شماره ۱۱ در شکل ۱) و در ماههای مختلف نشان داده شده‌اند. با توجه به نتایج به‌دست آمده و مقدار خطای میانگین مطلق که در شکل ۳ در هر ماه محاسبه شده است، شبیه CE-QUAL-W2 مقادیر غلظت مواد جامد محلول را بطور نسبتاً مناسبی

پیش‌بینی کرده است. همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است، از آغاز شبیه‌سازی تا دی ماه، اندازه‌های پیش‌بینی شده به‌وسیله‌ی شبیه مقادیری کمتر از اندازه‌گیربها می‌باشند، اما در ماههای بهمن و اسفند، شبیه مقادیر بیشتری را ارائه می‌دهد. از دی تا بهمن مقدار غلظت مواد جامد محلول کاهش مهمی را به‌دلیل افزایش تراز آب مخزن، نمایان می‌کند.

در شکل ۳ ملاحظه می‌شود که در ماههای ابتدایی سال تا مهر، غلظت مواد جامد محلول در سطح آب بیشتر است. دلیل این امر بالا بودن تبخیر در منطقه‌ی سد پانزده‌ی خرداد در این ماهها می‌باشد. بر اثر تبخیر آب از لایه‌های سطحی، نمکهای محلول به همراه آن تبخیر نشده، بلکه به غلظت مواد جامد محلول در لایه‌های بالایی می‌افزاید، و این امر باعث می‌شود که غلظت در لایه‌های فوقانی بیشتر باشد. اما چگالی سیال، که تابعی از دما و غلظت مواد جامد محلول است، به سمت سطح آب کاهش می‌یابد.



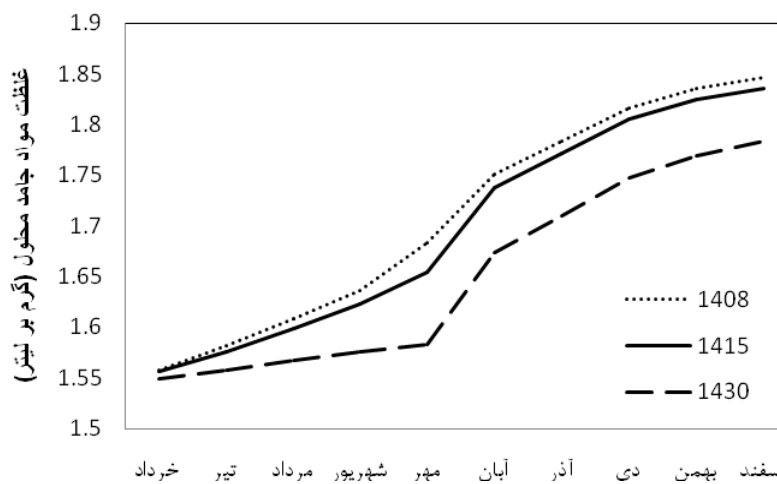
شکل ۳- مقایسه‌ی نمودارهای توزیع شبیه‌سازی شده و مشاهداتی غلظت کل مواد جامد محلول در ژرفترین نقطه‌ی مخزن.

اثر آگیری انتخابی بر روی نمودارهای توزیع شوری

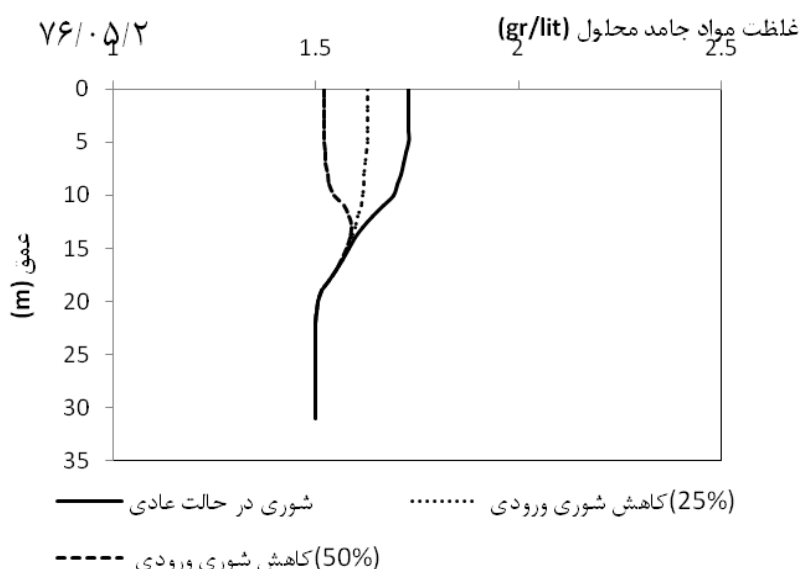
در آگیری سد ۱۵ خرداد، در حالت عادی، که واسنجی برای آن انجام گرفت، آب از تراز ۱۴۱۵ متری برداشت می‌شد. با توجه به این‌که سد پانزده‌ی خرداد دارای دو آگیری دیگر در ترازهای ۱۴۰۸ و ۱۴۳۰ متری است، اثر محل برداشتن آب بر غلظت شوری در داخل مخزن بررسی شد. در شکل ۴ میانگین غلظت مواد جامد محلول در ژرفترین مقطع عرضی (مقطع شماره ۱۱ در شکل ۱) هنگامی که برداشتن از ترازهای مختلف صورت پذیرد، نشان داده شده است. با توجه به این‌که میزان غلظت مواد جامد محلول طبق شکل ۳ در لایه‌های بالایی بیشتر از لایه‌های پایینی است، برداشتن آب از تراز ۱۴۳۰ سبب خروج میزان بیشتری از آب شور از داخل مخزن شده و شوری نسبت به حالت عادی کاهش می‌یابد. اما با خروج آب از تراز ۱۴۰۸ متری، به علت خروج آب با شوری کمتر از لایه‌های پایینی مخزن، افزایش شوری نسبت به حالت عادی اتفاق می‌افتد، که میزان کاهش شوری در نتیجه

برداشتن آب از تراز ۱۴۳۰ شدت بیشتری را نسبت به افزایش شوری در نتیجه برداشتن آب از تراز ۱۴۰۸ نشان می‌دهد. همچنین، از ابتدای دوره‌ی شبیه‌سازی تا اواسط آبان، که شروع دوره‌ی اختلاط در مخزن است، نرخ افزایش و کاهش مربوط به برداشتن آب از ترازهای ۱۴۰۸ و ۱۴۳۰، در هر تراز ارتفاعی نسبت به ماه قبل تفاوت دارد. از اواسط آبان تا انتهای دوره‌ی شبیه‌سازی، چون مخزن در دوره‌ی واژگونی به سر می‌برد، نرخ این افزایش و کاهش در ماههای پس از آبان برابر می‌شود.

مشکل عمده‌ی مخزن سد پانزده‌ی خرداد روند افزایشی شوری مخزن از ابتدای بهره برداری بوده است. هر چند بر اثر برداشت آب از لایه‌های بالایی شاهد کاهش شوری نسبت به حالت عادی هستیم (کمتر از ۵ درصد)، اما روند رو به افزایش شوری در مخزن در طول دوره‌ی شبیه‌سازی همچنان مشاهده می‌شود، ضمن این‌که بر اثر برداشتن آب از ترازهای بالایی، شوری در پایین دست سد هم افزایش خواهد یافت. بنابراین یافتن راهکارهایی برای حل این مسأله از اهمیت بسزایی برخوردار است.



شکل ۴- اثر مکان برداشتن آب بر میزان متوسط غلظت مواد جامد محلول (در مقطع ۱۱ شکل ۱) طی دوره‌ی شبیه‌سازی.



شکل ۵ - تأثیر نمایشنامه‌ی کاهش شوری ورودی به مخزن بر شوری آب در ژرفترین مقطع در دوره‌ی لایه بندی.

برای این منظور میزان شوری ورودی به مخزن، که به عنوان شرط مرزی به شبیه وارد می‌شود، در اجراهای مختلف به ترتیب به میزان ۲۵ و ۵۰ درصد از مقدار واقعی کاهش داده شد و اثر آن بر شوری در داخل مخزن مورد بررسی قرار گرفت. تأثیر کاهش شوری ورودی بر توزیع شوری در مقطع ۱۱ در اشکال ۵ و ۶ نشان داده شده است. شکل ۵ مربوط به دوره‌ی لایه‌بندی در مخزن (اواخر مرداد)، و شکل ۶ مربوط به دوره‌ی اختلاط مخزن (اواخر آذر) می‌باشد؛ در نتیجه، کاهش شوری ورودی، شوری داخل مخزن نیز بطور محسوسی کاهش می‌یابد. بطوری‌که در دوره لایه‌بندی کاهش شوری ورودی به مخزن باعث کاهش شوری در لایه‌های بالایی شده است، زیرا تراز خروجی در این دوره در ۱۴۱۵ متری قرار داشته است. از طرفی، با توجه به سرعت باد و شرایط هواشناسی در منطقه، شروع دوره‌ی واژگونی مخزن اواسط آبان بود، که در ماههای پس از آن به دلیل اختلاط کامل در عمق، با کاهش شوری ورودی به مخزن غلظت شوری در عمق مخزن کاهش می‌یابد، بطوری‌که میزان شوری بر اثر کاهش ۲۵ و ۵۰ درصد شوری ورودی، نسبت به حالت عادی در دوره‌ی اختلاط مخزن، به میزان $8/2$ و $16/5$ درصد کاهش خواهد یافت. اعتماد شهیدی و همکاران (۲۰۰۹) پس از واسنجی مخزن سد کرخه نشان دادند که

بررسی تأثیر شوری ورودی بر شوری مخزن

مخزن سد پانزده‌ی خرداد با حجم کل ۲۰۰ میلیون متر در سال ۱۳۷۳ به بهره‌برداری رسید. میزان کل مواد جامد محلول در مخزن در آغاز بهره‌برداری ۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود که پس از گذشتن ۵ سال این مقدار به ۲۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر رسید. می‌توان با انجام مطالعات زمین‌شناسی، آب‌شناسی و آب زمین‌شناسی در حوضه‌ی آبخیز، عواملی را که بیشترین تأثیر را در شور شدن قمرود دارند، مشخص نمود، سپس برای جلوگیری از روند رو به افزایش غلظت شوری، با استفاده از راهکارهای گوناگون، از جمله احداث بندهای انحرافی و دیواره‌های ناتراوا، و نیز انتقال جریانهای شور به پایین دست سد، از شوری ورودی به مخزن کاست. برای بررسی تأثیر میزان شوری ورودی بر غلظت کل جامدات محلول در آبیگر سد، در ادامه اثر کاهش شوری ورودی به مخزن بر توزیع شوری داخل مخزن مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور سه نمایشنامه به‌صورت زیر تعریف شد.

نمایشنامه‌ی اول: نمایشنامه‌ی موجود

نمایشنامه‌ی دوم: کاهش ۲۵ درصدی شوری ورودی به

مخزن در اثر روشهای مدیریت در حوضه‌ی آبخیز

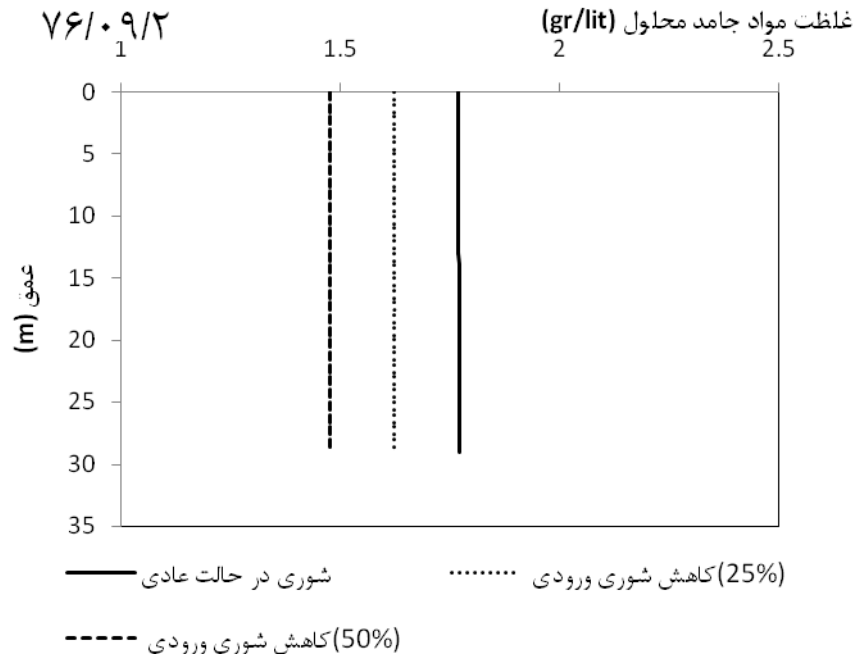
نمایشنامه‌ی سوم: کاهش ۵۰ درصدی شوری ورودی

به مخزن.

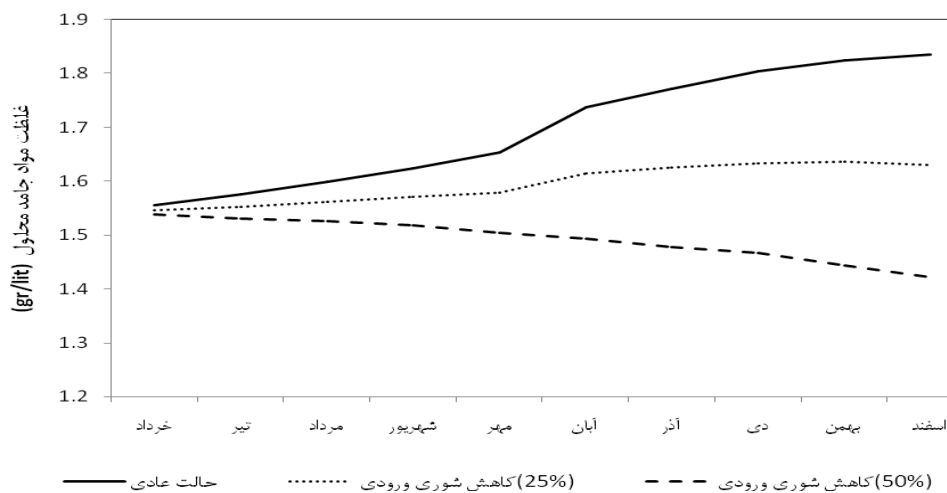
می‌یابد، اما در نمایشنامه‌ی سوم، شوری در داخل مخزن روند کاهشی را نشان می‌دهد؛ بنابراین، با مدیریت صحیح حوضه‌ی آبخیز و کار بردن روشهای جلوگیری از افزایش شوری در حوضه‌ی سد پانزده‌ی خرداد می‌توان نه تنها از افزایش شوری در مخزن جلوگیری کرد، بلکه شوری را در آن مهار کرد و کیفیت آب مخزن را بهبود بخشید.

با کاهش ۵۰ درصد شوری ورودی، می‌توان میزان شوری در خروجی سد را تا ۴۰ درصد کاهش داد.

در شکل ۷ مقادیر متوسط شوری (مقطع شماره ۱۱ در شکل ۱) طی دوره شبیه‌سازی در سه نمایشنامه‌ی عنوان شده نشان داده شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در نمایشنامه‌های موجود و ۲۵ درصد کاهش شوری ورودی روند افزایشی شوری در طی دوره ادامه



شکل ۶ - تأثیر نمایشنامه‌های کاهش شوری ورودی به مخزن بر شوری آب در ژرفترین مقطع سد در دوره‌ی اختلاط.



شکل ۷ - تأثیر نمایشنامه‌های مختلف کاهش شوری ورودی بر میانگین غلظت مواد جامد محلول (در مقطع ۱۱ شکل ۱) در طی دوره‌ی شبیه‌سازی.

نتیجه گیری

در این مقاله در ابتدا واسنجی آب پویایی و شوری مخزن سد پانزده خرداد با کاربرد شبیه CE-QUAL-W2 انجام شد.

با توجه به این که مخزن این سد در سال ۷۳ احداث گردیده و شوری آن پس از گذشتن ۵ سال چهار برابر شده، و با توجه به این که از اهداف اصلی استفاده از شبیه‌های عددی ارائه راهکارهای مدیریتی برای استفاده تصمیم‌گیرندگان می‌باشد، در ادامه این تحقیق، و پس از تعیین ضرایب واسنجی، از شبیه جهت مدیریت شوری در مخزن استفاده شد. برای این منظور ابتدا تأثیر آبیگری انتخابی بر توزیع شوری در مخزن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که چون غلظت مواد جامد محلول در ترازهای بالایی بیشتر از لایه‌های پایینی بود، بر اثر برداشتن آب از لایه‌های بالایی شاهد کاهش شوری نسبت به حالت عادی هستیم (کمتر از ۵ درصد)، اما روند رو به افزایش شوری در مخزن در طول دوره‌ی شبیه‌سازی همچنان مشاهده می‌شود.

در ادامه، تأثیر کاهش شوری ورودی به مخزن بر اثر اعمال روشهای مدیریت حوضه آبخیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که می‌توان با اعمال روشهای مدیریت در حوضه از روند رو به افزایش شوری در مخزن جلوگیری کرد، بطوری که با کاهش ۵۰ درصدی غلظت شوری ورودی، در طول دوره‌ی شبیه‌سازی، شوری کاهش می‌یابد.

سپاسگزاری

نویسندگان از موسسه‌ی تحقیقات آب وزارت نیرو به منظور در اختیار قرار دادن اطلاعات و داده‌های مورد نیاز برای شبیه‌سازی مخزن سد پانزده‌ی خرداد کمال تشکر را دارند.

منابع

۲. افتخاری، م. ۱۳۸۷. شبیه سازی عددی دو بعدی لایه بندی دما و شوری در مخزن سد پانزده خرداد. رساله‌ی دکتری. دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
۳. قاهری ع.، غ. اسدالله فردی، و م. ج. بدرقاسمی. ۱۳۸۴. شبیه سازی روند مواد جامد محلول در مخزن سد کرخه. مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران.
4. Chung, S.W., and J.K. Oh. 2006. Calibration of CE-QUAL-W2 for a monomictic reservoir in a monsoon climate area. *Water Sci. Technol.* 54:29-37.
5. Cole, T.M., and S.A. Wells. 2010. CE-QUAL-W2: A two dimensional, laterally averaged, hydrodynamics and water quality model, version 3.7. US Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Technical Report EL-95-1. Vicksburg, Mississippi, USA.
6. Etemad-Shahidi, A., A. Afshar, H. Alikia, and H. Moshfeghi. 2009. Total dissolved solid modeling; Karkheh Reservoir case example. *Int. J. Environ. Res.* 3:671-680.
7. Kou, J.T., W.S. Lung, Ch.P. Yang, W.Ch. Liu, M.D. Yang, and T.Sh. Tang. 2006. Eutrophication modelling of reservoirs in Taiwan. *Environ. Modell. Softw.* 21:829-844.
8. Liu, W.C., W.B. Chen, and N. Kimura. 2009. Impact of phosphorus load reduction on water quality in a stratified reservoir-eutrophication modeling study. *Environ. Monit. Assess.* 159:393-406.
9. Ray-Shyan, W., L. Wen-Cheng, and H. Wen-Hsiung. 2004. Eutrophication modeling in Shihmen Reservoir; Taiwan. *J. Environ. Sci. Heal.* 39:1455-1477.
10. Xu, Z., A.N. Godrej, and T.J. Grizzard. 2007. The hydrological calibration and validation of a complexly linked watershed-reservoir model for the Occoquan watershed, Virginia. *J. Hydrol.* 345:167-183.

۱. مطالعات جامع کیفیت آب مخزن سد پانزده خرداد. ۱۳۷۸. جلد چهارم اندازه‌گیریها و بررسیهای کیفی آب دریاچه، موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو، تهران.