مجله علمی - پژوهشی
علوم و مهندسی آبخیـــزداری ایران
Iran-Watershed Management Science & Engineering
سال سوم - شماره ۷ - تابستان ۱۳۸۸
Vol. 3, No. 7, Summer 2009

اندازه گیری و شبیه سازی نیتروژن نیتراتی و ارتوفسفات در مخزن سد درودزن به وسیله ی مدل های HEC-5Q و WASP7

مسعود نوشادی[۱] و محمدعلی صادق نژاد[۲]
تاریخ دریافت: ۸۷/۱۱/۳۰ تاریخ پذیرش: ۸۸/۵/۱۶

چکیده
در دهه های اخیر کمبود منابع آب در جهان و همچنین رشد روز افزون جمعیت و در پی آن توسعه ی فعالیت های کشاورزی و صنعتی، باعث تلاش هایی برای دستیابی به منابعی قابل اطمینان به منظور تأمین این ماده ی حیاتی شده است که از جمله ی این تلاش ها احداث سد است، اما با احداث سد کیفیت آب مخزن سدها و پایین دست رودخانه تغییر خواهد کرد، بنابراین بررسی کیفی آب مخازن سدها ضروری است. سد درودزن روی رودخانه کر نزدیک به ۷۰ کیلومتری شمال غربی شیراز قرار دارد. این سد در سال ۱۳۵۱ مورد بهره برداری قرار گرفته و ظرفیت اولیه ی آن حدود ۹۹۳ میلیون متر مکعب است. در این پژوهش نیتروژن نیتراتی و ارتوفسفات در اعماق گوناگون سد درودزن در طول یک سال اندازه گیری شده و به وسیله ی دو مدل HEC-5Q و WASP7 شبیه سازی گردیده و سپس این دو مدل با یکدیگر مقایسه شده اند تا مدل مناسب انتخاب گردد. ارزیابی این مدل ها نشان داد که پیش بینی هر دو مدل مناسب و قابل قبول است. در ماههای فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور، آبان، آذر، دی و اسفند شبیه سازی نیتروژن نیتراتی در مدل WASP7 بهتر از HEC-5Q بود و در ماههای مهر و بهمن مدل HEC-5Q مناسب تر بود. روی هم رفته بر اساس میانگین داده های اندازه گیری و شبیه سازی شده در نیمرخ سد، شبیه سازی مدل WASP7 بهتر از HEC-5Q بوده است. برای ارتوفسفات شبیه سازی مدل WASP7 در ماه های اردیبهشت، تیر، مرداد، آبان، آذر، دی و بهمن بهتر از HEC-5Q بود و در سایر ماهها (فروردین، شهریور، مهر و اسفند) مدل HEC-5Q بهتر شبیه سازی کرده است. میانگین داده های اندازه گیری و شبیه سازی شده نشان داد که مدل WASP7 بهتر از HEC-5Q شبیه سازی را انجام داده است. براساس میانگین داده های اندازه گیری شده در مخزن سد درودزن، غلظت نیتروژن نیتراتی و ارتوفسفات در مخزن سد در طول سال به ترتیب بین ۱/۲۳ -۰/۳۳ و ۰/۰۱۴ -۰ میلی گرم در لیتر می باشد.

واژه های کلیدی: مخزن سد، HEC-5Q، WASP7، شبیه سازی، نیتروژن نیتراتی و ارتوفسفات

مقدمه
سدها و مخازن به عنوان یکی از مهم ترین منابع تأمین و ذخیره سازی آب برای مصارف شهری، کشاورزی، تفریحی، صنعتی و تولید انرژی می باشند. با وجود این که سدها و مخازن محاسن زیادی دارند، اما به وجود آمدن آن ها باعث اثراتی ژرف در محیط زیست بالادست و پایین دست رودخانه می شود. همچنین فاضلاب های شهری و صنعتی تخلیه شده به زهکش ها و رودخانه های بالادست مخازن باعث کاهش کیفیت آب مخازن شده است. ایجاد سد امروزه به گونه ای گسترده در جهان و همچنین در سال های اخیر در کشور ما مورد توجه قرار گرفته است. بر اساس مطالعات صورت گرفته، به دلایل گوناگونی از جمله ضعف در انجام مطالعات و پایش جامع زیست محیطی سدها، در مراحل گوناگون احداث سد از طراحی تا بهره برداری و حتی پس از پایان عمر آن، شمار زیادی از سدهای کشور دچار مشکلات زیاد زیست محیطی چون شوری، تغذیه گرایی، گندیدگی آب و ... شده اند [۴]، بنابراین بررسی کیفیت آب سدها و اثرات متقابل آن بر محیط زیست ضروری بوده و شبیه سازی کیفی مخازن با مدل های گوناگون ریاضی و رایانه ای ابزاری مناسب در این خصوص هستند.

مدل های شبیه سازی گوناگونی برای ارزیابی کیفی سیستم های منابع آب ساخته شده اند. از مدل های مهم شبیه سازی کمی و کیفی مخازن و دریاچه ها می توان به HEC-5Q، WASP7، DYRESM، CE-QUAL-W2، HEC-RESSIM، WQRRS و... اشاره کرد. در این پژوهش براساس اندازه گیری های صورت گرفته مدل های HEC-5Q و WASP7 برای مخزن سد درودزن واسنجی شده و سپس پارامترهای نیتروژن نیتراتی (NO3) و ارتوفسفات (PO4) به وسیله ی این مدل ها شبیه سازی شده است.

ارحامی و همکاران [۱] تغییرات دما، DO و TDS آب مخزن سد

۱- نویسنده ی مسئول و عضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز
noshadi@shirazu.ac.ir
۲- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست (آب و فاضلاب)

Archive of SID
www.SID.ir

لتیان را مورد بررسی قرار داده و از مدل HEC-5Q برای شبیه سازی مخزن سد استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که مدل روند تغییرات پارامترهای کیفی و لایه‌بندی مخزن را به‌خوبی پیش‌بینی نموده است. بنی‌سعید و همکاران [۲] تغییرات کیفیت آب و لایه‌بندی مخزن دریاچه‌ی سد چراغ‌ویس را با مدل HEC-5Q پیش‌بینی نمودند. آن‌ها با توجه به غلظت‌های مجاز نیتروژن و فسفر در آب خروجی از دریاچه سد، کم‌ترین حجم مورد نیاز برای تأمین نیازهای زیست محیطی را مورد ارزیابی قرار دادند. امین سارنگ و همکاران [۴] طی مطالعات میدانی خود در مخزن سد بوکان با سنجش پارامترهای دما، نیتروژن، فسفر، DO، TDS، BOD5 و EC وضعیت کیفی مخزن را تحلیل و از نتایج آن برای شبیه‌سازی روزانه‌ی لایه‌بندی حرارتی و کیفی به کمک مدل HEC-5Q استفاده کردند. ملکی و همکاران [۵] طی مطالعات خود روی رودخانه‌ی پسیخان در گیلان، پس از اندازه‌گیری آمونیوم، نیترات، نیتروژن و فسفات، با استفاده از مدل WASP6، رودخانه را شبیه‌سازی کردند و نتیجه گرفتند که زهکش‌ها مهم‌ترین منبع آلوده‌کننده‌ی آب رودخانه‌ی پسیخان هستند و نشان دادند که مدل WASP6 از قابلیت بالایی در شبیه‌سازی کیفیت آب برخوردار است. تفرج نوروز و همکاران [۳] با استفاده از مدل HEC-5Q پارامترهای اندازه‌گیری‌شده TDS و دما را در سد کندک شبیه‌سازی کردند و نتیجه گرفتند که تخلیه‌ی انتخابی در ماههای غیرآبیاری به‌منظور ذخیره‌سازی سیلاب‌ها باعث بهبود نسبی کیفیت آب مخزن می‌گردد. مارکوفسکی و هارلمن [۷] یک مدل ریاضی کیفیت آب (DO) توسعه داده شده را ارایه نمودند که با مدل پیش‌بینی لایه‌بندی حرارتی در مخزن تلفیق شده بود. کو و یانگ [۶] طی مطالعات خود بر روی مخزن فیتسویی[1] در تایوان با استفاده از مدل‌های WASP5 و CE-QUAL-W2 کیفیت آب مخزن را شبیه‌سازی کردند و نتیجه گرفتند که مخزن غنی از نیتروژن بوده، ولی به دلیل محدودیت مقدار فسفر رشد جلبک‌ها محدود شده بود.

مواد و روش‌ها

سد درودزن نزدیک به ۷۰ کیلومتری شمال غربی شیراز دارای مختصات ۳۰ درجه و ۱۴ دقیقه شمالی و ۵۲ درجه و ۲۶ دقیقه شرقی می‌باشد. طول مخزن از مبدأ سد به سمت بالادست، حدود ۳۰ کیلومتر است. اراضی آبخور سد به‌طول ۷۰ کیلومتر از تنگه‌ی درودزن تا بند امیر گسترده شده است و نزدیک به ۷۰۰۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی به‌وسیله ی این سد آبیاری می‌شود. بیشینه‌ی ظرفیت مخزن سد درودزن حدود ۱۰۶×۹۹۳ متر مکعب در تراز ۱۶۷۶/۵ (تراز تاج سرریز) است. با کسر حجم پیش‌بینی‌شده ۱۰۶×۱۳۳ مترمکعب برای رسوب‌گذاری، حجم مفید مخزن ۱۰۶×۸۶۰ مترمکعب می‌باشد.

برای محاسبه‌ی جریان ورودی به محل سد درودزن از اطلاعات ایستگاههای هیدرومتری بالادست مخزن سد استفاده شده است. این ایستگاه‌ها عبارتند از: چم‌ریز روی رودخانه‌ی کر، هنجان روی رودخانه‌ی تنگ بستانک و بادامک روی رودخانه‌ی تنگ شول. میانگین دبی سالانه‌ی رودخانه‌ی کر که اصلی‌ترین تأمین‌کننده آب مخزن سد است، برابر ۳۰/۸۶۵ مترمکعب در ثانیه و معادل ۹۷۳/۴ میلیون مترمکعب در سال خواهد بود.

در مخزن سد دو بخش برای آبگیری تعبیه شده است که در یک بخش دریچه‌های آبگیری مخصوص کشاورزی (۶ دریچه) در یک سطح و در رقوم ۱۶۵۶ متر از سطح قرار دارند و در بخش دیگر دریچه‌های مخصوص آب شرب شهر شیراز تعبیه‌شده که در سه سطح گوناگون قرار دارند. دریچه‌ی اصلی آب شرب شهر شیراز (دریچه شماره دو) که در تراز ۱۶۵۶ و هم‌سطح دریچه‌های کشاورزی است، دریچه‌ی شرب ۱ که ۱۰ متر بالاتر از محل دریچه‌های اصلی و برای زمانی که آب مخزن بالاست، استفاده می‌شود و دریچه‌ی شرب ۳ که ۱۰ متر پایین‌تر از محل دریچه‌های اصلی قرار دارد و اغلب به دلیل بوی بد آب در اعماق پایین مخزن از آن استفاده نمی‌شود مگر در مواقعی از سال که آب سد افت زیادی کرده باشد.

به منظور بررسی کیفیت آب و شبیه‌سازی کیفی مخزن سد درودزن پارامترهای نیتروژن نیتراتی و ارتوفسفات به مدت ۱۲ ماه از فروردین تا اسفند در عمق‌های گوناگون مخزن اندازه‌گیری شده است. نمونه‌گیری آب از محل برج آبگیر سد که در فاصله‌ی ۲۰۰ متری از دیواره سد قرار دارد و از سطح آب تا کف مخزن به فاصله‌های ۵ متر از یکدیگر انجام شده است.

مدل HEC-5Q وWASP7 برای شبیه‌سازی کیفی مخزن سد درودزن به داده‌های هواشناسی منطقه نیاز دارد. این داده‌ها شامل درصد ابری بودن، تشعشع موج کوتاه، نسبت ساعات آفتابی موجود به بیشینه‌ی ساعات آفتابی ممکن (n/N)، دمای خشک و تر، فشار بارومتریک، میانگین درجه‌ی حرارت هوا، فشار بخار، بارندگی، سرعت باد، تبخیر و تعرق و ... می‌باشد که این داده‌ها از ایستگاههای هواشناسی سد درودزن و شیراز استخراج شده است.

برای واسنجی مدل‌های یاد شده عمدتاً از پارامترهای مربوط به نفوذ نور، ضریب جذب انرژی خورشیدی، کم‌ترین پایداری ستون آب، ضرایب پخشیدگی، ضریب تبادل حرارتی، ثابت نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون، ضریب حرارتی نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون، ثابت معدنی شدن ازت و فسفر آلی، نسبت تبدیل فیتوپلانکتون های مرده به ازت و فسفر آلی استفاده شده است.

ارزیابی مدل‌ها

برای ارزیابی مدل‌های HEC-5Q و WASP7 از تحلیل‌های آماری شاخص تطابق[1] (d)، ویلموت [۸] جذر میانگین مربعات

1- Feitsui

1- Index of agreement

Archive of SID
www.SID.ir

خطا[1] (RMSE) و میانگین قدر مطلق خطا[2] (MAE) استفاده شده است. حد پایین RMSE صفر بوده و مقدار RMSE بیانگر میزان انحراف مقادیر شبیه سازی شده از مقادیر مشاهده شده است. d نیز بیانگر عملکرد مدل بوده و مقدار آن بین صفر و یک می باشد که هر چه به یک نزدیک تر باشد، بهتر است. میانگین قدر مطلق خطا (MAE) بیانگر میانگین مقدار خطا بوده و هرچه کم تر باشد، نشان دهنده ی دقت بیش تر است.

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

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

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

$$p_i' = p_i - \bar{o} \quad (4)$$

$$o_i' = o_i - \bar{o} \quad (5)$$

که در آن:

p_i= مقادیر پیش بینی شده

O_i= مقادیر مشاهده شده

$\bar{O}$ = میانگین مقادیر مشاهده شده

n = تعداد نمونه ها

بحث و نتیجه گیری

نتایج شبیه سازی غلظت نیتروژن نیتراتی از راه مدل HEC-5Q و WASP7

نمودارهای ۱ و ۲ تغییرات غلظت اندازه گیری شده و شبیه سازی شده ی نیتروژن نیتراتی را در ماه های گوناگون نشان می دهند. جدول (۱) نیز نتایج ارزیابی مدل ها را نشان می دهد.

نمودار (۱- الف) مقادیر غلظت را در ۳۰ فروردین نشان می دهد. براساس این شکل تغییرات غلظت نیتروژن نیتراتی بین ۱/۲۳ میلی گرم در لیتر در سطح مخزن و ۱/۱۶ میلی گرم در لیتر در کف مخزن می باشد. بیش ترین غلظت نیتروژن نیتراتی در این ماه در عمق ۵ متری (۱/۳۱ میلی گرم در لیتر) و کم ترین غلظت در اعماق ۲۵ و ۳۰ متری (۱/۱۶ میلی گرم در لیتر) می باشد. بر اساس شکل (۱- الف) روند تغییرات غلظت نیتروژن نیتراتی پیش بینی شده با مقادیر مشاهده شده یکسان است. بیش ترین غلظت پیش بینی شده از راه مدل HEC-5Q در عمق ۵ متری (۱/۲۴ میلی گرم در لیتر) و کم ترین غلظت در عمق ۳۰ متری (۰/۹۸ میلی گرم در لیتر) بوده و در تمامی اعماق مخزن مقادیر پیش بینی شده به وسیله ی مدل کم تر از مقادیر مشاهده ای است. جدول (۱) بیانگر دقت شبیه سازی خوب مدل HEC-5Q می باشد. غلظت نیتروژن نیتراتی پیش بینی شده به وسیله ی مدل WASP7 در این ماه دارای روندی مشابه مقادیر مشاهده شده است. بیش ترین غلظت پیش بینی شده در عمق ۵ متری (۱/۳۱ میلی گرم در لیتر) و کم ترین غلظت در عمق ۳۰ متری (۱/۱۶ میلی گرم در لیتر) بوده است. جدول (۱) که بیانگر عملکرد بسیار خوب مدل WASP7 در شبیه سازی است. در این ماه عملکرد مدل WASP7 از HEC-5Q بهتر بوده است.

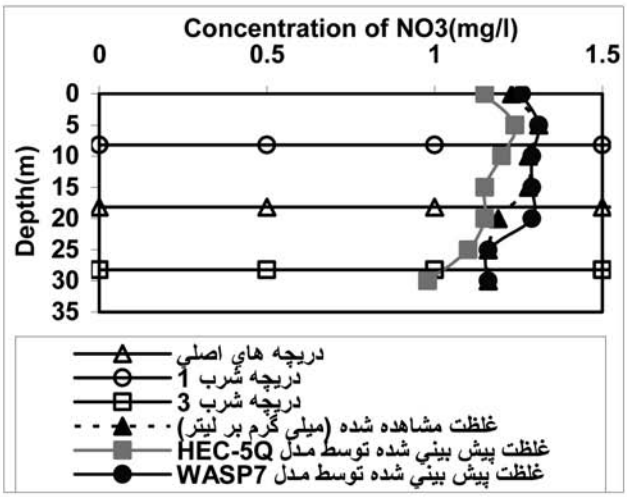
نمودار (۱ - ب) غلظت مشاهده شده و شبیه سازی شده ی نیتروژن نیتراتی را در ۳۰ اردیبهشت نشان می دهد. بیش ترین غلظت مشاهده شده در اعماق ۱۰ و ۱۵ متری (۰/۸۲ میلی گرم در لیتر) و کم ترین غلظت آن در عمق ۲۵ متری (۰/۷۴ میلی گرم در لیتر) است. غلظت مشاهده شده در اعماق میانی از دیگر اعماق بیش تر است. غلظت نیتروژن نیتراتی پیش بینی شده از راه مدل HEC-5Q در سطح و اعماق ۵ و ۱۰ متری از غلظت مشاهده شده بیش تر بوده و بیش ترین غلظت نیتروژن نیتراتی شبیه سازی شده در سطح مخزن و کم ترین غلظت در عمق ۲۵ متری و نزدیک به کف مخزن می باشد. جدول (۱) نشان دهنده ی دقت خوب مدل HEC-5Q است. مدل WASP7 هم مقادیر و هم روند تغییرات را بهتر پیش بینی کرده است. جدول (۱) بیانگر دقت بالای مدل WASP7 بوده و از مدل HEC-5Q بهتر شبیه سازی انجام شده است.

مقادیر غلظت مشاهده شده و شبیه سازی شده در ۱۴ خرداد (نمودار ۱ - ج) نشان می دهد که بیش ترین غلظت مشاهده شده در کف مخزن (۰/۸۳ میلی گرم در لیتر) و کم ترین در سطح مخزن (۰/۶۴ میلی گرم در لیتر) می باشد. از سطح مخزن غلظت نیتروژن نیتراتی به ترتیب تا عمق ۱۵ و ۲۰ متری افزایش داشته و سپس در عمق ۲۵ متری کم شده و در کف مخزن به بیش ترین حد خود رسیده است. غلظت نیتروژن نیتراتی پیش بینی شده به وسیله ی مدل HEC-5Q نیز در کف مخزن به بیش ترین مقدار خود (۰/۷۸ میلی گرم در لیتر) و در عمق ۱۰ متری به کم ترین مقدار خود (۰/۶۶ میلی گرم در لیتر) رسیده است. مقدار غلظت نیتروژن نیتراتی پیش بینی شده در سطح مخزن از مقدار مشاهده شده ی آن بیش تر است. بر اساس جدول (۱) مقادیر پارامترهای آماری RMSE، d و MAE به ترتیب ۴/۵۵، ۰/۸۹ و ۰/۰۳ بوده که بیانگر عملکرد خوب مدل HEC-5Q است. غلظت نیتروژن نیتراتی پیش بینی شده به وسیله ی مدل WASP7 نیز در کف مخزن به بیش ترین مقدار خود (۰/۸۴ میلی گرم در لیتر) و در سطح مخزن به کم ترین مقدار خود (۰/۶۴ میلی گرم در لیتر) رسیده است. مقادیر RMSE، d و MAE به ترتیب ۲/۷۳، ۰/۹۸ و ۰/۰۱ می باشد (جدول ۱) که بیانگر عملکرد عالی مدل WASP7 در شبیه سازی بوده و پیش بینی آن بهتر از مدل HEC-5Q بوده است.

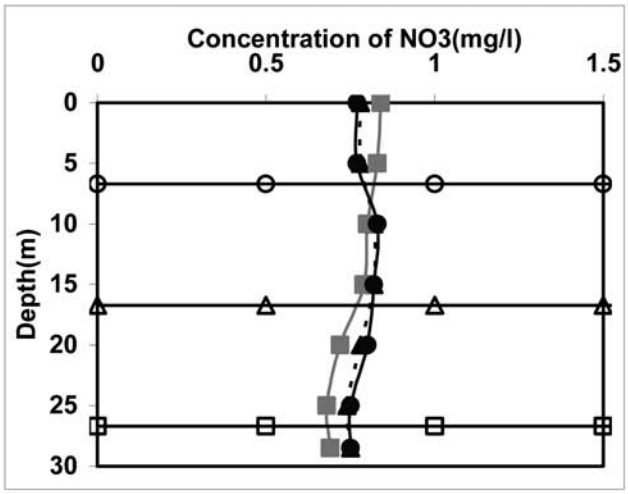
به طور کلی در فصل بهار مقادیر پیش بینی شده از سطح تا کف مخزن دارای تغییرات زیادی نبوده و روند تغییرات آن تقریباً با مقادیر مشاهده شده یکسان می باشد. همان گونه که در نمودار (۱) مشاهده

Archive of

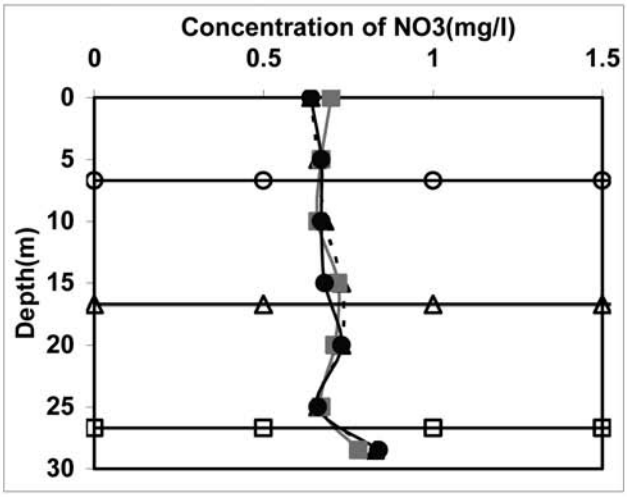
www.SID.ir



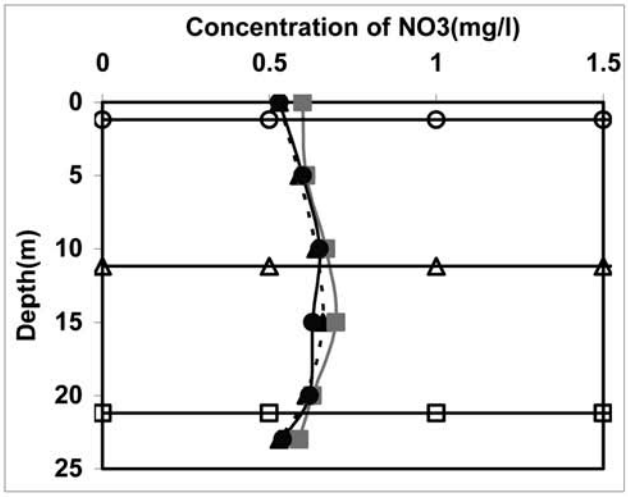
(الف)



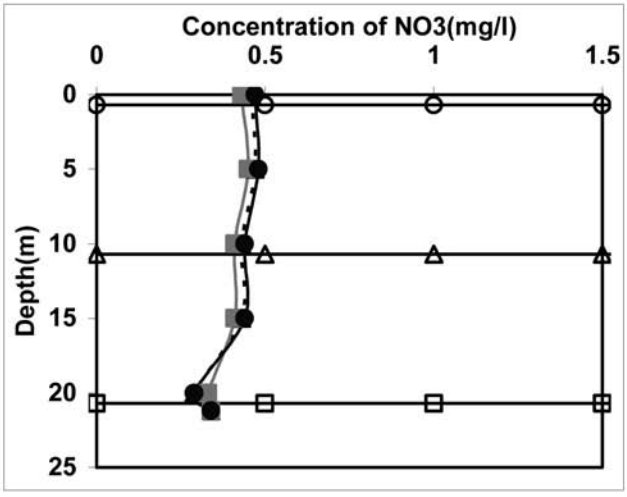
(ب)



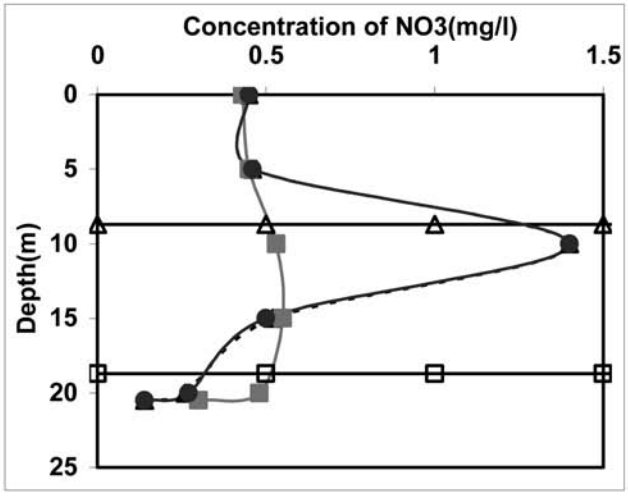
(ج)



(د)



(ه)



(و)

نمودار ۱ - نیمرخ غلظت نیتروژن نیتراتی در مخزن سد درودزن در سال ۱۳۸۳ : الف) ۳۰ فروردین ، ب) اردیبهشت ، ج) ۱۴ خرداد ، د) ۲۷ تیر ، ه) ۲۱ مرداد ، و) ۷ شهریور

www.SID.ir

می‌شود، مقدار غلظت نیتروژن نیتراتی از ابتدای فصل بهار رو به کاهش گذاشته که این روند نزولی به وسیله‌ی مدل‌ها نیز پیش بینی شده است.

نمودار (۱- د) مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده‌ی غلظت نیتروژن نیتراتی را در ۲۷ تیر نشان می‌دهد. غلظت نیتروژن نیتراتی از سطح مخزن تا عمق ۱۵ متری به صورت صعودی بوده و از عمق ۱۵ متری تا کف مخزن به صورت نزولی می باشد. بیش‌ترین غلظت نیتروژن نیتراتی در عمق ۱۵ متری (۰/۶۶ میلی گرم در لیتر) و کم ترین مقدار آن در سطح و کف مخزن (۰/۵۳ میلی گرم در لیتر) بوده است. غلظت پیش بینی شده نیتروژن نیتراتی به وسیله‌ی مدل 5Q-HEC مشابه غلظت مشاهده شده بوده و از سطح مخزن تا عمق ۱۵ متری به‌صورت صعودی و از عمق ۱۵ متری تا کف مخزن به‌صورت نزولی بوده است که بیش‌ترین مقدار آن در عمق ۱۵ متری (۰/۷۰ میلی گرم در لیتر) و کم‌ترین مقدار آن در کف مخزن (۰/۵۹ میلی گرم در لیتر) می باشد. مقادیر RMSE، d و MAE به ترتیب ۴/۴۷، ۰/۸ و ۰/۰۴ می باشد (جدول ۱) که بیانگر دقت بسیار خوب شبیه سازی مدل HEC-5Q است. روند تغییرات غلظت پیش بینی شده نیتروژن نیتراتی به وسیله‌ی مدل WASP7 مشابه مدل HEC-5Q بوده و بیش ترین مقدار نیتروژن نیتراتی در عمق ۱۰ متری (۰/۶۵ میلی گرم در لیتر) و کم‌ترین مقدار آن در سطح مخزن (۰/۵۳ میلی گرم در لیتر) می باشد. مقادیر پارامترهای آماری RMSE، d و MAE به ترتیب ۲/۲۳، ۰/۹۸ و ۰/۰۱ بوده که باز هم مدل WASP7 در شبیه سازی از دقت بسیار بالایی برخوردار بوده و پیش بینی آن از مدل HEC-5Q بهتر است.

مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده‌ی غلظت نیتروژن نیتراتی در ۲۱ مرداد (نمودار ۱- ه) نشان می دهد که غلظت نیتروژن نیتراتی از عمق ۵ متری به بعد به صورت نزولی کاهش یافته و به کم‌ترین مقدار خود در عمق ۲۰ متری (۰/۲۹ میلی گرم در لیتر) رسیده و سپس در کف مخزن افزایش یافته و به ۰/۳۴ میلی گرم در لیتر رسیده است. بیش‌ترین غلظت آن در عمق ۵ متری (۰/۴۷ میلی گرم در لیتر) بوده است. بیش‌ترین غلظت نیتروژن نیتراتی پیش بینی شده به وسیله‌ی مدل HEC-5Q و WASP7 در عمق ۵ متری (به‌ترتیب ۰/۴۵ و ۰/۴۸ میلی گرم در لیتر) و کم‌ترین غلظت آن در عمق ۲۰ متری (به‌ترتیب ۰/۳۳ و ۰/۲۹ میلی گرم در لیتر) است که تا حد بسیار زیادی شبیه مقادیر اندازه گیری شده می باشد. جدول (۱) نشان دهنده‌ی دقت بسیار خوب شبیه سازی این دو مدل بوده، ولی دقت شبیه سازی مدل WASP7 بیش‌تر است. روند تغییرات غلظت پیش بینی شده به وسیله‌ی مدل WASP7 و HEC-5Q شبیه تغییرات غلظت مشاهده شده است.

نمودار (۱- و) مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده‌ی غلظت نیتروژن نیتراتی را در ۷ شهریور نشان می‌دهد. تغییرات غلظت مشاهده شده زیاد بوده و بیش‌ترین غلظت آن در عمق ۱۰ متری (۱/۴ میلی گرم در لیتر) و کم‌ترین آن در کف مخزن (۰/۱۴ میلی گرم در لیتر) می باشد، اما مقادیر پیش بینی شده به وسیله‌ی مدل HEC-5Q تغییرات چندانی نداشته و بیش‌ترین غلظت آن در عمق ۱۵ متری (۰/۵۵ میلی گرم در لیتر) و کم‌ترین آن در کف مخزن (۰/۳ میلی گرم در لیتر) می باشد. در این تاریخ غلظت به طور ناگهانی در عمق ۱۰ متری افزایش زیادی داشته و از ۰/۴۶ در عمق ۵ متری به ۱/۴ میلی گرم در لیتر در عمق ۱۰ متری رسیده است. این افزایش شدید در غلظت می‌تواند به علت شستشوی کودهای شیمیایی داده شده به اراضی باشد. براساس بررسی‌های صورت گرفته در مخزن سد درودزن در این تاریخ لایه بندی در مخزن شدید است که این نیز می‌تواند دلیل افزایش شدید غلظت در عمق ۱۰ متری باشد. به علت افزایش شدید غلظت در عمق ۱۰ متری دقت شبیه سازی در این عمق نیز کم است و روی هم رفته مدل 5Q-HEC نتوانسته شبیه سازی را به خوبی انجام دهد. مقادیر پیش بینی شده‌ی غلظت نیتروژن نیتراتی به وسیله‌ی مدل WASP7 در مخزن نیز تغییرات زیادی داشته است و بیش‌ترین غلظت آن در عمق ۱۰ متری (۱/۴ میلی گرم در لیتر) و کم‌ترین آن در کف مخزن (۰/۱۴ میلی گرم در لیتر) می باشد. جدول (۱) بیانگر عملکرد عالی مدل WASP7 در شبیه سازی است و دقت آن به مراتب از HEC-5Q بیش‌تر است.

بیش‌ترین غلظت مشاهده‌شده‌ی نیتروژن نیتراتی در ۲۰ مهر در عمق ۵ متری (۰/۴۰ میلی گرم در لیتر) و کم ترین آن در عمق ۱۸ متری یعنی کف مخزن (۰/۲۳ میلی گرم در لیتر) می باشد (نمودار ۲- الف). غلظت نیتروژن نیتراتی در لایه‌های پایینی مخزن کاهش زیادی داشته است. غلظت پیش بینی شده‌ی نیتروژن نیتراتی به وسیله‌ی مدل HEC-5Q نیز با غلظت مشاهده شده تقریباً یکسان بوده و بیش‌ترین غلظت آن در عمق ۱۰ متری (۰/۳۹ میلی گرم در لیتر) و کم ترین آن در کف مخزن (۰/۲۵ میلی گرم در لیتر) بوده است. جدول (۱) نشان‌دهنده‌ی شبیه سازی با دقت عالی برای مدل HEC-5Q است. غلظت پیش بینی شده‌ی نیتروژن نیتراتی به وسیله‌ی مدل WASP7 نیز با غلظت مشاهده شده تقریباً یکسان بوده و بیش‌ترین غلظت آن در عمق ۵ و ۱۰ متری (۰/۴۶ میلی گرم در لیتر) و کم‌ترین آن در کف مخزن (۰/۲۵ میلی گرم در لیتر) بوده است. جدول (۱) نشانه‌ی دقت خوب مدل WASP7 است. در این تاریخ مدل HEC-5Q اندکی بهتر از WASP7 پیش بینی را انجام داده است.

بر اساس نمودار (۲- ب) بیش‌ترین غلظت نیتروژن نیتراتی مشاهده شده در ۲۳ آبان ماه در سطح مخزن (۰/۶۱ میلی گرم در لیتر) و کم‌ترین آن در کف مخزن (۰/۴۷ میلی گرم در لیتر) بوده و غلظت نیتروژن نیتراتی از سطح تا کف مخزن به صورت نزولی می باشد. روند تغییرات غلظت پیش بینی شده به وسیله‌ی مدل 5Q-HEC با مقادیر مشاهده شده یکسان بوده و بیش‌ترین غلظت در سطح مخزن (۰/۶۶ میلی گرم در لیتر) و کم‌ترین آن در کف مخزن (۰/۵۲ میلی گرم در لیتر) بوده است. جدول (۱) بیانگر دقت شبیه سازی خوب مدل است. تغییرات غلظت پیش بینی شده به وسیله‌ی مدل WASP7 نیز همانند تغییرات غلظت مشاهده شده

Archive of SID

www.SID.ir

بوده و از سطح تا عمق ۱۵ متری به صورت نزولی کاهش یافته است. مقادیر پارامترهای آماری جدول (۱) نشانه‌ی عملکرد بسیار خوب WASP7 در شبیه‌سازی بوده و مدل WASP7 شبیه‌سازی بهتری انجام داده است.

نمودار (۲- ج) مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده‌ی غلظت نیتروژن نیتراتی را در ۲۵ آذر ۱۳۸۳ نشان می‌دهد. بیش‌ترین غلظت نیتروژن نیتراتی مشاهده شده در کف مخزن (۰/۵۴ میلی گرم در لیتر) و کم‌ترین آن در عمق ۱۵ متری (۰/۴۹ میلی گرم در لیتر) می‌باشد. تغییرات غلظت نیتروژن نیتراتی پیش بینی شده به وسیله‌ی مدل HEC-5Q نیز اندک بوده و بیش‌ترین آن ۰/۵۴ میلی گرم در لیتر در عمق ۱۰ متری و کم‌ترین آن ۰/۵۰ میلی گرم در لیتر در عمق ۱۵ متری می‌باشد. مقادیر پارامترهای آماری RMSE، d و MAE به‌ترتیب ۳/۸۴، ۰/۵۵ و ۰/۰۲ بوده که نشان‌دهنده‌ی دقت نسبتاً خوب مدل است. تغییرات غلظت نیتروژن نیتراتی پیش بینی شده به وسیله‌ی مدل WASP7 نیز ناچیز بوده و بیش‌ترین آن ۰/۵۴ میلی گرم در لیتر در کف مخزن و کم‌ترین آن ۰/۴۸ میلی گرم در لیتر در سطح مخزن می باشد. مقادیر پارامترهای آماری RMSE، d و MAE به‌ترتیب ۲/۱، ۰/۹۲ و ۰/۰۱ بوده که بیانگر عملکرد بسیار خوب مدل در شبیه‌سازی است و در این ماه نیز مدل WASP7 دقت بالاتری داشته است.

نمودار (۲- د) مقادیر مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده غلظت نیتروژن نیتراتی را در ۹ دی ۱۳۸۳ نشان می‌دهد. بیش‌ترین غلظت نیتروژن نیتراتی مشاهده شده در کف مخزن (۰/۷۴ میلی گرم در لیتر) و کم‌ترین غلظت آن در اعماق ۱۰ و ۱۵ متری (۰/۶۷ میلی گرم در لیتر) می‌باشد. روند تغیرات غلظت نیتروژن نیتراتی از سطح مخزن تا عمق ۱۵ متری به صورت نزولی و از آن به بعد تا کف مخزن به‌صورت صعودی بوده است. غلظت‌های پیش بینی شده به وسیله‌ی مدل HEC-5Q نیز همین روند را داشته و مقادیر پارامترهای آماری RMSE، d و MAE به ترتیب ۶/۲۲، ۰/۶۴ و ۰/۰۴ می‌باشد. مقادیر این پارامترها برای مدل WASP7 به‌ترتیب ۳/۴۷، ۰/۷۸ و ۰/۰۲ است. این مقادیر بیانگر شبیه‌سازی نسبتاً خوب دو مدل بوده، ولی نتایج مدل WASP7 اندکی بهتر بوده است.

نمودار(۲- ه) مقادیر مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده‌ی غلظت نیتروژن نیتراتی را در ۷ بهمن ۱۳۸۳ نشان می‌دهد. بیش‌ترین غلظت نیتروژن نیتراتی مشاهده شده در سطح مخزن (۰/۷۸ میلی گرم در لیتر) و کم‌ترین غلظت آن در کف مخزن (۰/۵۷ میلی گرم در لیتر) می‌باشد. روند تغییرات غلظت از سطح تا عمق ۵ متری به‌صورت نزولی و از عمق ۵ متری تا ۱۰ متری با کمی افزایش به صورت صعودی و از عمق ۱۰ متری تا کف مخزن به‌صورت نزولی بوده است. غلظت پیش بینی شده به وسیله‌ی مدل HEC-5Q نیز شامل یک روند نزولی بوده که از سطح تا کف مخزن ادامه داشته و بیش‌ترین غلظت نیتروژن نیتراتی در سطح مخزن و (۰/۸۲ میلی گرم در لیتر) و کم‌ترین آن در کف مخزن (۰/۶۵ میلی گرم در لیتر) بیانگر دقت خوب مدل HEC-5Q و ضعف مدل WASP7 در شبیه‌سازی بوده و در این تاریخ مدل HEC-5Q شبیه‌سازی را بهتر انجام داده است.

نمودار (۲- و) مقادیر مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده‌ی غلظت نیتروژن نیتراتی را در ۱۸ اسفند ۱۳۸۳ نشان می‌دهد. غلظت مشاهده شده‌ی نیتروژن نیتراتی در مخزن دارای نوسان ناچیزی بوده که بیش‌ترین غلظت آن در عمق ۵ و ۲۷ متری (۱/۰۳ میلی گرم در لیتر) و کم‌ترین آن در اعماق متوسط می‌باشد. غلظت پیش بینی شده به وسیله‌ی مدل HEC-5Q نیز همانند غلظت مشاهده‌شده دارای یک نوسان ناچیز است که بیش‌ترین غلظت آن در عمق ۲۷ متری (۱/۰۶ میلی گرم در لیتر) و کم‌ترین آن در سطح مخزن (۰/۹۸ میلی گرم در لیتر) بوده است. مقادیر RMSE، d و MAE به‌ترتیب ۴/۰۵، ۰/۴۵ و ۰/۰۴ می‌باشد که بیانگر دقت متوسط مدل در شبیه‌سازی است. غلظت پیش بینی شده به وسیله‌ی مدل WASP7 نیز همانند غلظت مشاهده‌شده دارای یک نوسان ناچیز است که بیش‌ترین غلظت آن در عمق ۵ متری و کم‌ترین آن در عمق ۲۰ متری بوده است. مقادیر پارامترهای آماری RMSE، d و MAE به‌ترتیب ۰/۸۲، ۰/۹۶ و ۰/۰۱ می‌باشد که بیانگر عملکرد بسیار خوب مدل بوده و در این ماه مدل WASP7 شبیه‌سازی را به مراتب بهتر از HEC-5Q انجام داده است.

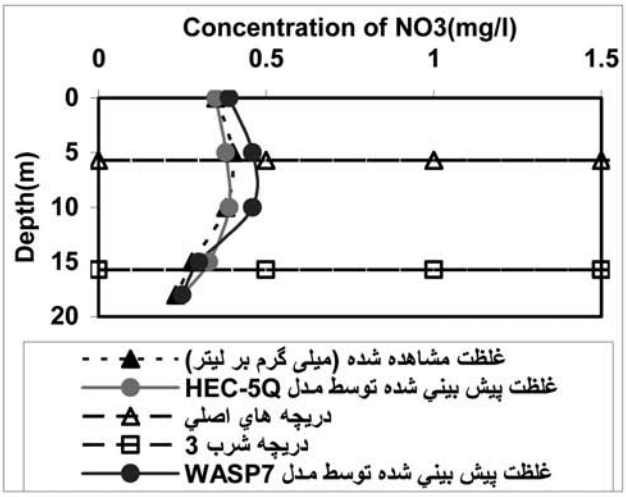
نتایج شبیه‌سازی غلظت ارتوفسفات به وسیله‌ی مدل HEC-5Q و WASP7

نمودارهای ۳ و ۴ تغییرات ارتوفسفات اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده به وسیله‌ی مدل‌های HEC-5Q و WASP7 را در عمق‌های گوناگون مخزن در طول سال نشان می‌دهند. جدول (۲) نیز نتایج ارزیابی مدل را نشان می‌دهد.

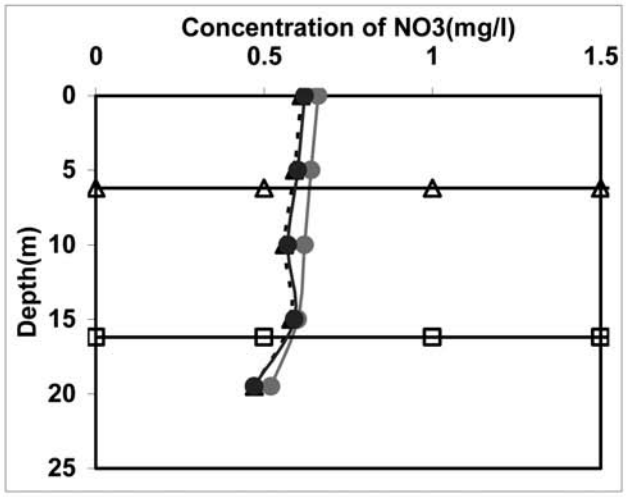
نمودار (۳-الف) مقادیر غلظت مشاهده‌شده و شبیه سازی شده‌ی ارتوفسفات را در ۳۰ فروردین نشان می‌دهد. بیش‌ترین غلظت ارتوفسفات در کف مخزن (۰/۰۱۵ میلی گرم در لیتر) و کم‌ترین میزان آن در سطح مخزن (۰/۰۰۳ میلی گرم در لیتر) می‌باشد، اما بیش‌ترین غلظت پیش بینی شده به وسیله‌ی مدل HEC-5Q در کف مخزن (۰/۰۰۸ میلی گرم در لیتر) و کم‌ترین آن در سطح مخزن (۰/۰۰۲ میلی گرم در لیتر) است. روند تغییرات غلظت پیش بینی شده مشابه مقادیر مشاهده شده است. بیش‌ترین غلظت پیش بینی شده به وسیله‌ی مدل WASP7 نیز در کف مخزن و ۰/۰۱ میلی گرم در لیتر می‌باشد. جدول (۲) نشان می‌دهد مدل WASP7 شبیه سازی خود را نسبتاً ضعیف انجام داده و مدل HEC-5Q در این ماه برتر از WASP7 بوده است.

در ۳۰ اردیبهشت مخزن تقریباً حالت یکنواخت داشته است و غلظت ارتوفسفات بین صفر تا ۰/۰۰۵ میلی گرم در لیتر می‌باشد (نمودار۳- ب). پیش بینی انجام‌شده به وسیله‌ی مدل HEC-5Q در

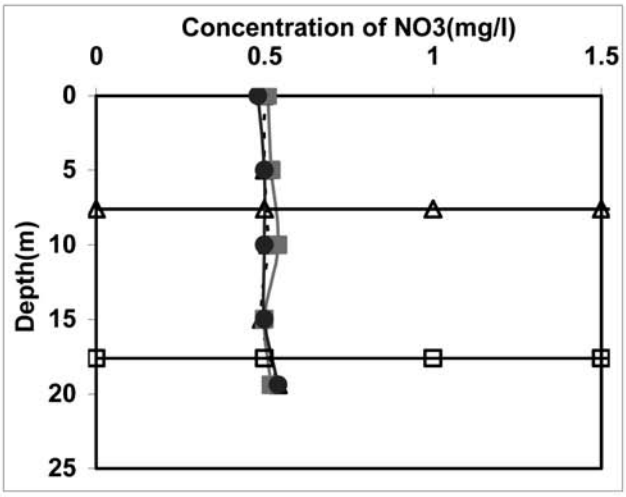
Archive of SID
www.SID.ir



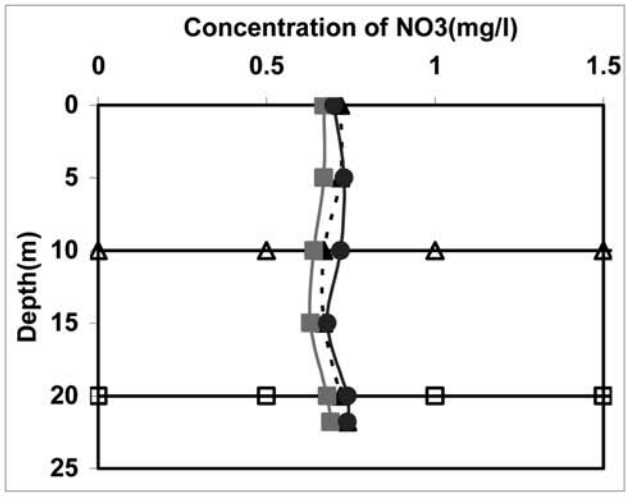
(الف)



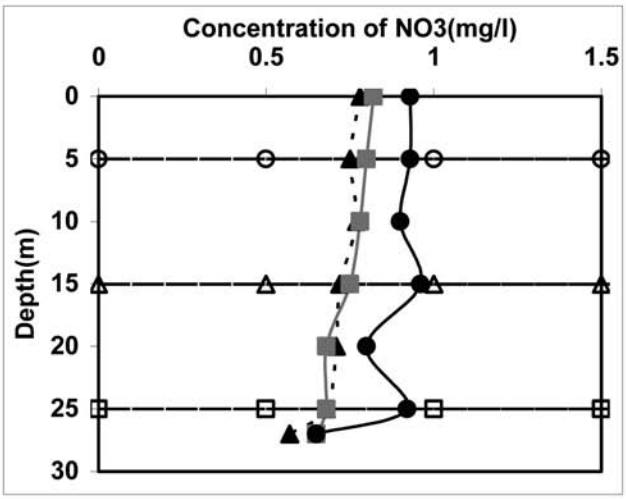
(ب)



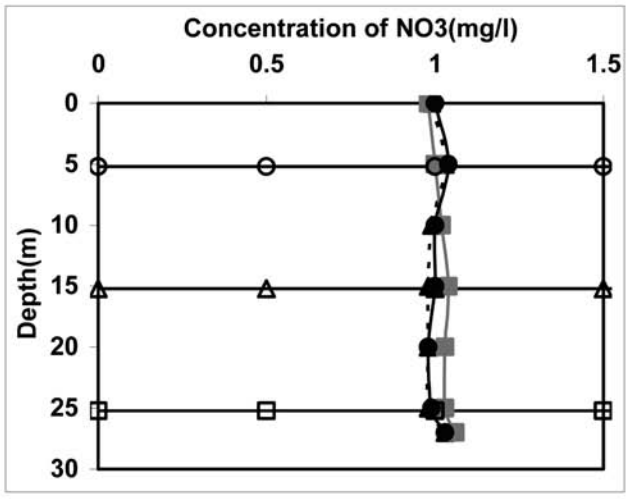
(ج)



(د)



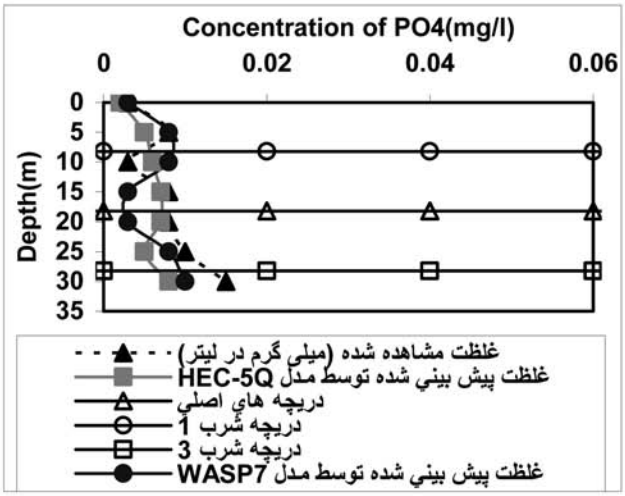
(ه)



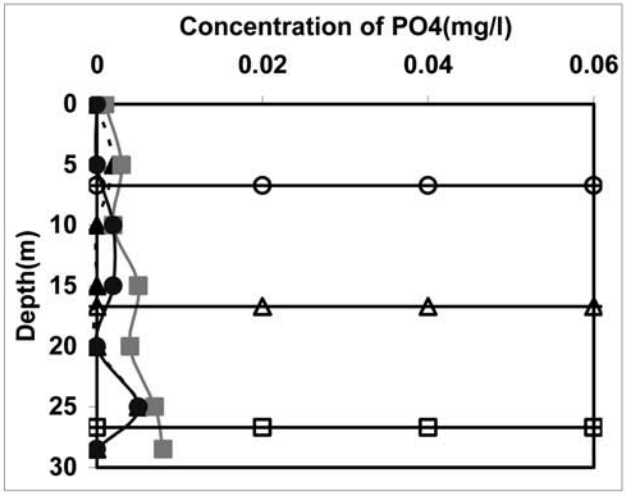
(و)

نمودار ۲ - نیمرخ غلظت نیتروژن نیتراتی در مخزن سد درودزن در سال ۱۳۸۳ : الف) ۲۰ مهر ، ب) ۲۳ آبان، ج) ۲۵ آذر ، د) ۹ دی ، ه) ۷ بهمن ، و) ۱۸ اسفند

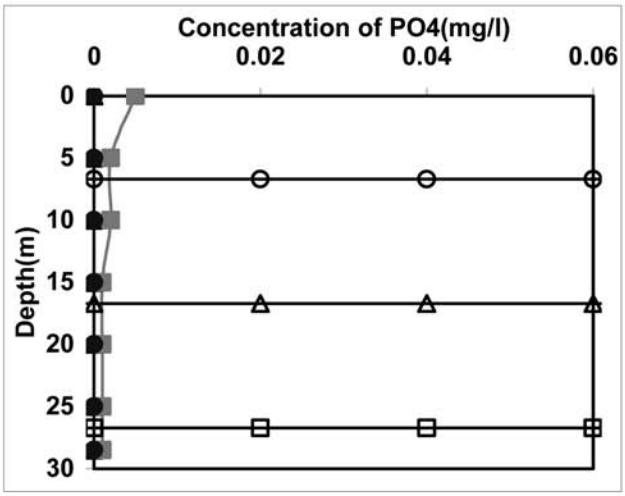
www.SID.ir



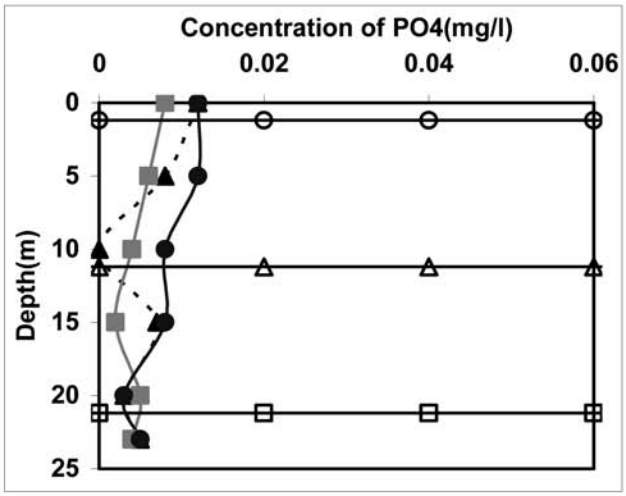
(الف)



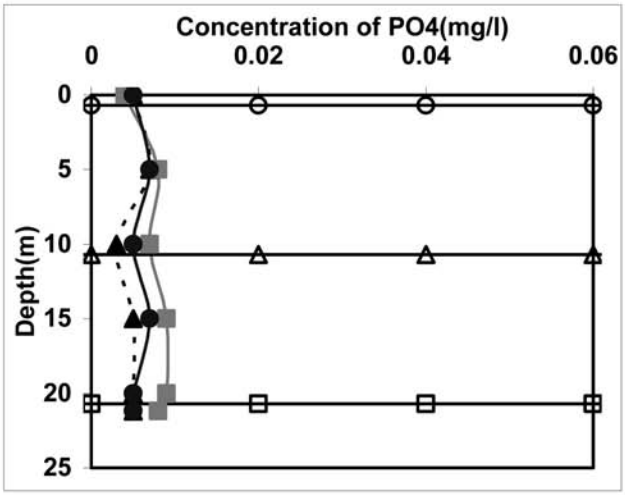
(ب)



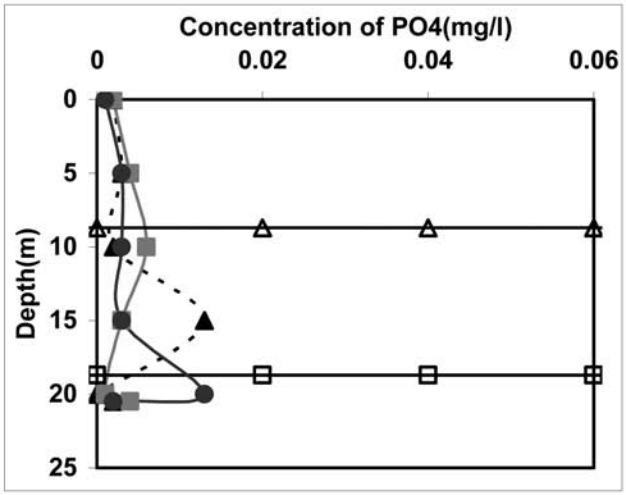
(ج)



(د)



(ه)



(و)

نمودار ۳ - نیمرخ غلظت ارتوفسفات در مخزن سد درودزن در سال ۱۳۸۳ : الف) ۳۰ فروردین ، ب) اردیبهشت ، ج) ۱۴ خرداد ، د) ۲۷ تیر ، ه) ۲۱ مرداد ، و) ۷ شهریور

www.SID.ir

این ماه نیز یکنواختی مخزن را نشان داده و تقریبا همان روند مشاهده شده را دارد. جدول (۲) بیانگر عملکرد خوب مدل WASP7 بوده و پیش بینی انجام شده به وسیله ی مدل WASP7 بهتر از HEC-5Q بوده است. همان گونه که از نمودارهای (۳-الف) و (۳-ب) مشخص است، شبیه سازی مدل های HEC-5Q و WASP7 مناسب بوده و روند و مقادیر داده های شبیه سازی شده به مقادیر اندازه گیری شده بسیار نزدیکند، ولی چون داده ها خیلی کوچک و عموماً کم تر از ۰/۰۲ هستند، مقدار RMSE خیلی زیاد به دست می آید که این به دلیل کوچکی داده ها بوده و ربطی به دقت مدل ندارد.

در ۱۴ خرداد در تمامی اعماق غلظت برابر صفر بوده و مقادیر شبیه سازی شده به وسیله ی HEC-5Q بسیار ناچیز و نزدیک به صفر است (نمودار ۳- ج). به خاطر صفر بودن غلظت های اندازه گیری امکان محاسبه ی مقادیر RMSE، d وجود ندارد و MAE نیز ۰/۰۰۲ است. مقادیر شبیه سازی شده به وسیله ی مدل WASP7 نیز صفر بوده است. در این ماه مخزن کاملاً یکنواخت می باشد.

نمودار (۳-د) مقادیر غلظت مشاهده شده و شبیه سازی شده ی ارتوفسفات را در ۲۷ تیر نشان می دهد. بیش ترین غلظت ارتوفسفات در سطح مخزن (۰/۰۱۲ میلی گرم در لیتر) و کم ترین آن در عمق ۱۰ متری (صفر میلی گرم در لیتر) می باشد. بیش ترین غلظت ارتوفسفات پیش بینی شده به وسیله ی مدل HEC-5Q در سطح (۰/۰۰۸ میلی گرم در لیتر) و کم ترین آن در عمق ۱۵ متری (۰/۰۰۲ میلی گرم در لیتر) می باشد. بیش ترین غلظت ارتوفسفات پیش بینی شده به وسیله ی مدل WASP7 در سطح (۰/۰۱۲ میلی گرم در لیتر) و کم ترین آن در عمق ۲۰ متری (۰/۰۰۳ میلی گرم در لیتر) می باشد. جدول (۲) نشان می دهد که هر دو مدل شبیه سازی را خوب انجام داده اند، ولی مدل WASP7 شبیه سازی بهتری داشته است.

بر اساس نمودار (۳- ه) در ۲۱ مرداد مخزن دارای تغییرات محسوسی نبوده و روند تغییرات مشاهده شده با تغییرات پیش بینی شده به وسیله ی مدل های HEC-5Q و WASP7 یکسان بوده است. جدول (۲) بیانگر شبیه سازی بهتر مدل WASP7 است.

بر اساس نمودار (۳- و) بیش ترین غلظت ارتوفسفات در ۷ شهریور در عمق ۱۵ متری (۰/۰۱۳ میلی گرم در لیتر) بوده و در دیگر اعماق غلظت آن ناچیز و بین ۰/۰۰۱۶ و ۰/۰۰۳ میلی گرم در لیتر می باشد. تغییرات غلظت مقادیر شبیه سازی شده به وسیله ی مدل های HEC-5Q و WASP7 نیز کم بوده و جدول (۲) بیانگر عملکرد بهتر مدل HEC-5Q می باشد.

براساس نمودار (۴- الف) در ۲۰ مهر تغییرات غلظت مشاهده شده و پیش بینی شده ناچیز بوده است. مقادیر پارامترهای آماری RMSE، d و MAE در مدل HEC-5Q به ترتیب ۲۱/۶۷، ۰/۶۸ و ۰/۰۰۳ بوده و برای مدل WASP7 به ترتیب ۳۱/۴۶، ۰/۱۷ و ۰/۰۰۳ می باشد، بنابراین مدل HEC-5Q نسبت به WASP7 برتر بوده است.

بیش ترین غلظت ارتوفسفات در ۲۳ آبان در اعماق ۱۵ و ۱۰ متری (۰/۰۱۰ میلی گرم در لیتر) و کم ترین میزان آن در سطح مخزن (۰/۰۰۲ میلی گرم در لیتر) می باشد (نمودار ۴- ب). روند تغییرات غلظت شبیه سازی شده به وسیله ی مدل های HEC-5Q و WASP7 در مخزن تطابق خوبی با مقادیر مشاهده شده دارد. جدول (۲) بیانگر برتری مدل WASP7 می باشد.

بیش ترین غلظت ارتوفسفات در ۲۵ آذر در کف مخزن (۰/۰۶۳ میلی گرم در لیتر) و کم ترین آن در اعماق ۵ و ۱۰ متری و به میزان صفر میلی گرم در لیتر می باشد (نمودار ۴- ج). غلظت ارتوفسفات در کف مخزن افزایش زیادی نسبت به اعماق بالای مخزن نموده است. مقادیر شبیه سازی شده به وسیله ی مدل های HEC-5Q و WASP7 نیز این افزایش ناگهانی در کف مخزن را پیش بینی کرده است. جدول (۲) نشان دهنده ی دقت بسیار بالای مدل WASP7 در شبیه سازی بوده و در این ماه مدل WASP7 از HEC-5Q برتر می باشد.

نمودار (۴- د) مقادیر غلظت مشاهده شده و شبیه سازی شده ی ارتوفسفات را در ۹ دی نشان می دهد. بیش ترین غلظت ارتوفسفات در عمق ۱۵ متری (۰/۰۶۰ میلی گرم در لیتر) بوده و در دیگر اعماق مقدار آن صفر است. مدل HEC-5Q تغییرات غلظت ارتوفسفات در مخزن را ناچیز و مخزن را یکنواخت پیش بینی کرده و بیش ترین غلظت را نیز در کف مخزن (۰/۰۰۷ میلی گرم در لیتر) پیش بینی کرده است. مقادیر پارامترهای RMSE، d و MAE به ترتیب ۲۲۱/۵۳، ۰/۲۹ و ۰/۰۱ می باشد جدول (۲). مدل WASP7 تغییرات غلظت ارتوفسفات در مخزن را صفر در نظر گرفته و مخزن را کاملاً یکنواخت پیش بینی کرده است. مقادیر پارامترهای RMSE، d و MAE به ترتیب ۲۲۶/۷۸، ۰/۳۶ و ۰/۰۱ می باشد (جدول ۲). دقت هر دو مدل در شبیه سازی تقریباً یکسان بوده است.

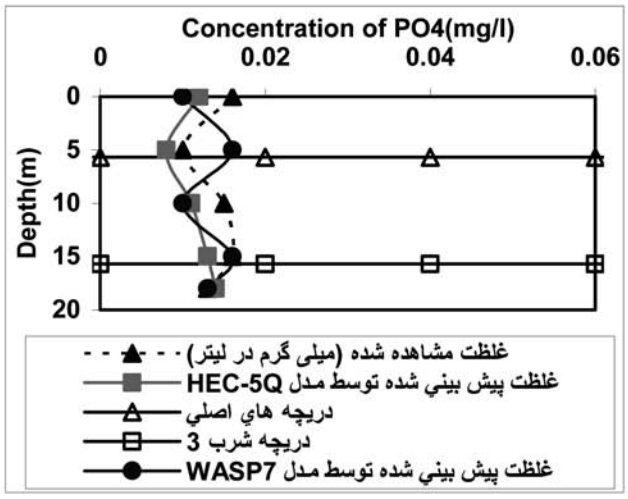
بر اساس نمودار (۴- ه) بیش ترین غلظت ارتوفسفات در ۷ بهمن در عمق ۲۰ متری (۰/۰۵۱ میلی گرم در لیتر) و کم ترین آن در سطح مخزن و صفر میلی گرم در لیتر بوده است. نتایج شبیه سازی شده به وسیله ی مدل HEC-5Q نشان می دهد که بیش ترین مقدار شبیه سازی شده در عمق ۲۵ متری (۰/۰۰۹ میلی گرم در لیتر) بوده است، بنابراین مدل بیش ترین غلظت را کم تر و در عمق پایین تر پیش بینی کرده است. در مدل WASP7 نتایج شبیه سازی شده تطابق خوبی با نتایج مشاهده شده دارند. جدول ۲ بیانگر شبیه سازی بهتر به وسیله ی مدل WASP7 است.

در ۱۸ اسفند بیش ترین غلظت ارتوفسفات در عمق ۲۵ متری (۰/۰۲۱ میلی گرم در لیتر) و کم ترین آن در عمق ۲۰ متری و به میزان صفر میلی گرم در لیتر می باشد (نمودار ۴- و). غلظت ارتوفسفات از سطح تا کف مخزن دارای تغییرات زیادی بوده است. افزایش غلظت ارتوفسفات در اواخر پاییز و زمستان می تواند به دلیل ورود بار مواد مغذی بیشتر از بالادست سد به داخل مخزن باشد.

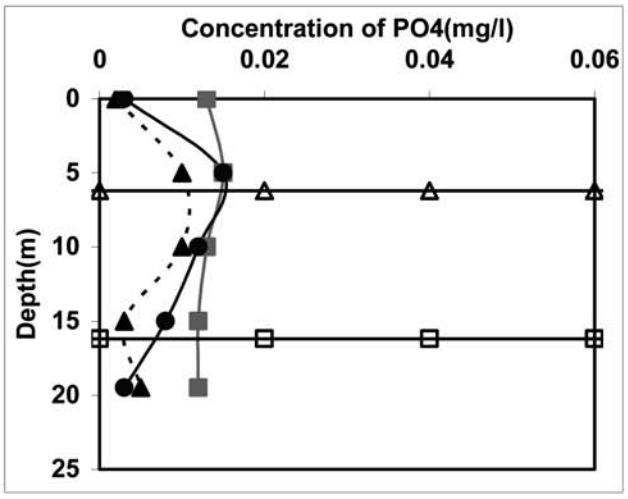
مقادیر شبیه سازی به وسیله ی مدل HEC-5Q از سطح تا عمق ۵ متری به جای کاهش، افزایش یافته است. در دیگر اعماق روند

Archive of SID

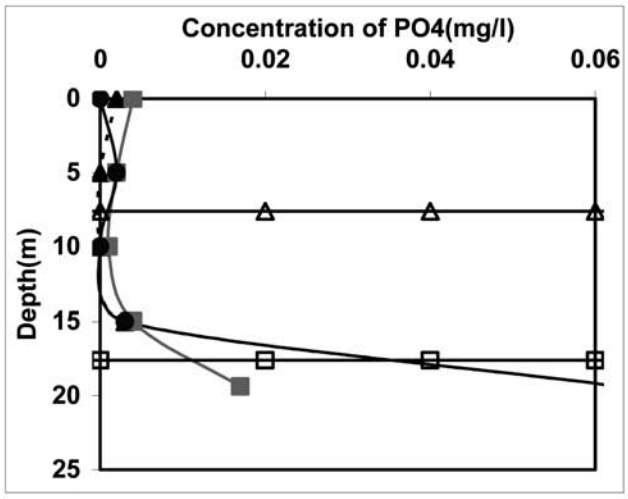
www.SID.ir



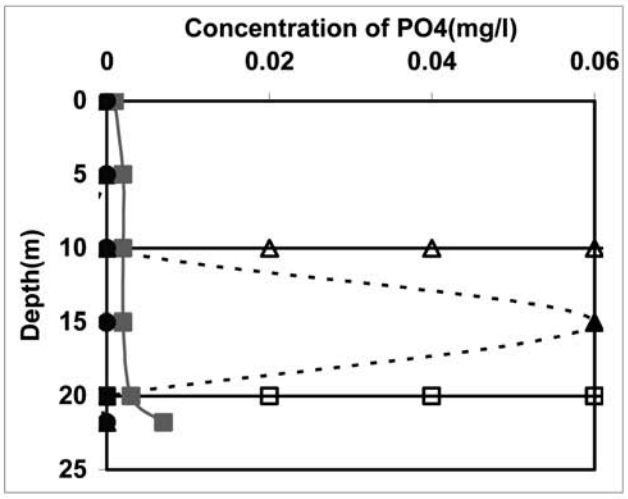
(الف)



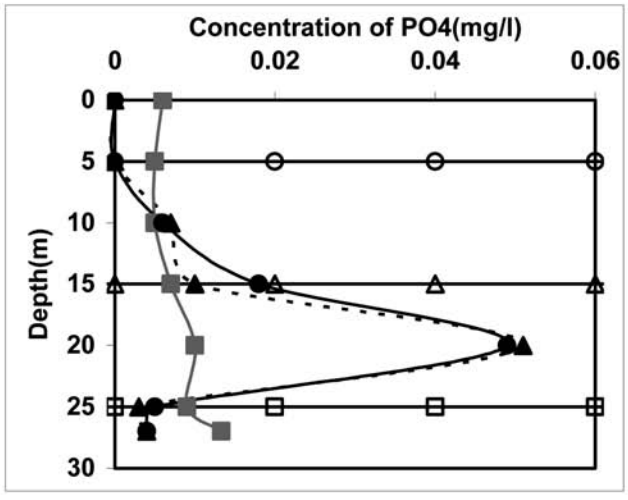
(ب)



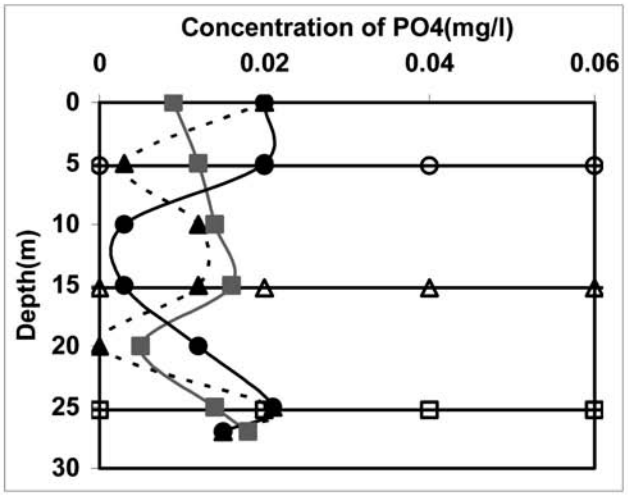
(ج)



(د)



(ه)



(و)

نمودار ۴ - نیمرخ غلظت ارتوفسفات در مخزن سد درودزن در سال ۱۳۸۳ : الف) ۲۰ مهر، ب) ۲۳ آبان، ج) ۲۵ آذر، د) ۹ دی، ه) ۷ بهمن، و) ۱۸ اسفند

www.SID.ir

جدول ۱ - مقایسه‌ی عملکرد مدل‌ها برای نیتروژن نیتراتی

پارامترهای آماری	RMSE		d		MAE	
ماه	HEC-5Q	WASP7	HEC-5Q	WASP7	HEC-5Q	WASP7
فروردین	۸/۲۶۰	۳/۱۴۰	۰/۶۳	۰/۸۹	۰/۰۹	۰/۰۲
اردیبهشت	۶/۵۳	۱/۱۵۰	۰/۶۴	۰/۹۸	۰/۰۵	۰/۰۱
خرداد	۴/۵۵	۲/۷۳	۰/۸۹	۰/۹۸	۰/۰۳	۰/۰۱
تیر	۷/۴۷	۲/۲۳۰	۰/۸	۰/۹۸	۰/۰۴	۰/۰۱
مرداد	۶/۱۶۰	۱/۲۸۰	۰/۹۳	۱	۰/۰۲	۰/۰۰۴
شهریور	۶۹/۱۹	۱/۶۶	-۱/۶۱	۱	۰/۲۹	۰/۰۰۵
مهر	۷/۹۵	۱۵/۱۸	۰/۹۵	۰/۹	۰/۰۲	۰/۰۴
آبان	۸/۵۳	۱/۱۶۰	۰/۸	۱	۰/۰۵	۰/۰۱
آذر	۳/۸۴	۲/۱۰۰	۰/۵۵	۰/۹۲	۰/۰۲	۰/۰۱
دی	۶/۲۲۰	۳/۴۷	۰/۶۴	۰/۷۸	۰/۰۴	۰/۰۲
بهمن	۵/۹۲	۲۳/۸۷	۰/۸۹	۰/۴۸	۰/۰۳	۰/۱۶
اسفند	۴/۰۵۰	۰/۸۲	۰/۴۵	۰/۹۶	۰/۰۴	۰/۰۱
میانگین	۱۱/۵۶	۴/۹۰	۰/۵۵	۰/۹۱	۰/۰۶	۰/۰۳

جدول ۲ - مقایسه‌ی عملکرد مدل‌ها برای ارتوفسفات

پارامترهای آماری	RMSE		d		MAE	
ماه	HEC-5Q	WASP7	HEC-5Q	WASP7	HEC-5Q	WASP7
فروردین	۴۶/۴۵	۴۸/۳۹	۰/۶۳	۰/۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳
اردیبهشت	۴۰۳/۲۷	۱۱۵/۷۸	۰/۴۷	۰/۸۹	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱
خرداد	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰۲	۰
تیر	۵۶/۸۶	۶۳	۰/۶۳	۰/۷۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲
مرداد	۶۲/۱۴	۲۳/۰۹۰	۰/۲۹	۰/۶۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
شهریور	۱۳۱/۵۳	۱۹۰/۹۲	۰/۲۶	۰/۱۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴
مهر	۲۱/۶۷	۳۱/۴۶	۰/۶۸	۰/۱۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳
آبان	۱۲۷/۷۵	۵۷/۲۵	۰/۰۴۷	۰/۸۴	۰/۰۱	۰/۰۰۲
آذر	۱۵۱/۹۵	۹/۳۰۰	۰/۵۷	۱	۰/۰۱	۰/۰۰۱
دی	۲۲۱/۵۳	۲۲۶/۷۸	۰/۲۹	۰/۳۶	۰/۰۱	۰/۰۱
بهمن	۱۴۸/۸۲	۳۰/۱۴	۰/۲۸	۱	۰/۰۱	۰/۰۰۲
اسفند	۵۵/۶۷	۷۷/۷۶	۰/۶۲	۰/۵۲	۰/۰۰۶	۰/۰۱
میانگین	۱۱۸/۹	۷۲/۸۲	۰/۴	۰/۵۸	۰/۰۱	۰/۰۰۳

داده‌های شبیه‌سازی‌شده و مشاهده شده تقریباً یکسان بوده است و غلظت‌ها نیز به یکدیگر نزدیک هستند. جدول (۲) بیانگر عملکرد بهتر مدل HEC-5Q است.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج ارزیابی مدل‌های HEC-5Q و WASP7 در جدول‌های (۱) و (۲) نشان داده شده است. بر اساس این جدول‌ها دقت شبیه‌سازی هر دو مدل خوب بوده است. ارحامی و همکاران (۱۳۸۱) نیز مدل HEC-5Q را برای مخزن سد لتیان مناسب تشخیص دادند. بر اساس جدول (۱) برای ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور، آبان، آذر، دی و اسفند دقت شبیه‌سازی نیتروژن نیتراتی در مدل WASP7 از HEC-5Q بیش‌تر بوده و در ماههای مهر و بهمن برعکس است. میانگین داده‌ها نیز نشان می‌دهد که روی هم رفته در طول سال عملکرد مدل

www.SID.ir

جدول ۳- میانگین مقادیر اندازه و شبیه‌سازی شده‌ی نیتروژن نیتراتی و ارتوفسفات در مخزن سد درودزن

تاریخ	میانگین غلظت‌های مشاهده شده (میلی‌گرم در لیتر)		میانگین غلظت‌های شبیه‌سازی شده (میلی‌گرم در لیتر)			
	PO4	NO3	PO4		NO3	
			HEC-5Q	WASP7	HEC-5Q	WASP7
۱۳۸۳/۰۱/۳۰	۰/۰۰۸	۱/۲۳۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۱/۱۴۰	۱/۲۵۰
۱۳۸۳/۰۲/۳۰	۰/۰۰۱	۰/۷۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۷۶	۰/۷۹
۱۳۸۳/۰۳/۱۴	۰	۰/۷	۰/۰۰۲	۰	۰/۷	۰/۷
۱۳۸۳/۰۴/۲۷	۰/۰۰۶	۰/۵۹	۰/۰۰۵	۰/۰۰۸	۰/۶۳	۰/۵۹
۱۳۸۳/۰۵/۲۱	۰/۰۰۵	۰/۴	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۴	۰/۴۱
۱۳۸۳/۰۶/۰۷	۰/۰۰۴	۰/۵۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۴۷	۰/۵۴
۱۳۸۳/۰۷/۲۰	۰/۰۱۴	۰/۳۳	۰/۰۱۲	۰/۰۱۳	۰/۳۴	۰/۳۷
۱۳۸۳/۰۸/۲۳	۰/۰۰۶	۰/۵۶	۰/۰۱۳	۰/۰۰۸	۰/۶۱	۰/۵۷
۱۳۸۳/۰۹/۲۵	۰/۰۱۴	۰/۵۱	۰/۰۰۶	۰/۰۱۴	۰/۵۲	۰/۵۱
۱۳۸۳/۱۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۷۱	۰/۰۰۳	۰	۰/۶۶	۰/۷۲
۱۳۸۳/۱۱/۰۷	۰/۰۱۲	۰/۷۱	۰/۰۰۸	۰/۰۱۲	۰/۷۴	۰/۸۷
۱۳۸۳/۱۲/۱۸	۰/۰۱۲	۱	۰/۰۱۳	۰/۰۱	۱/۰۲۰	۱
میانگین	۰/۰۰۸	۰/۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۷	۰/۷

WASP7 بهتر بوده است. دقت شبیه‌سازی ارتوفسفات در مدل WASP7 در ماههای اردیبهشت، تیر، مرداد، آبان، آذر، دی و بهمن بهتر بوده و در ماههای فروردین، شهریور، مهر و اسفند برعکس است. البته به دلیل ماهیت داده‌ها که دارای غلظت اندکی هستند، مقادیر RMSE تقریباً در همه‌ی طول سال زیاد است و دقت شبیه‌سازی مانند نیتروژن نیتراتی نبوده است. میانگین پارامترهای آماری در کل طول سال نیز نشان می‌دهد که مدل WASP7 عملکرد بهتری داشته است.

جدول (۳) تغییرات میانگین غلظت مشاهده شده و شبیه‌سازی شده نیتروژن نیتراتی و ارتوفسفات را در مخزن سد درودزن نشان می‌دهد. بر اساس این جدول تغییرات میانگین نیتروژن نیتراتی بین ۰/۳۳ تا ۱/۲۳ میلی‌گرم در لیتر و ارتوفسفات بین صفر تا ۰/۰۱۴ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد که این تغییرات ناچیز بوده و مقادیر آنها نیز بسیار کم‌تر از حد مجاز می‌باشد. کو و یانگ [۶] نیز این غلظت کم را برای فسفات در مخزن فیتسویی گزارش کردند.

منابع

۱- ارحامی، م.، تجریشی، م. و ابریشم‌چی، ا. ۱۳۸۱. مطالعات شبیه‌سازی تغییرات کیفی آب مخزن سد لتیان. مجله آب و فاضلاب، شماره ۴۴، ۱۴-۲.

۲- بنی‌سعید، ن. رضایی، ن. و جعفرزاده حقیقی‌فرد، ن. ۱۳۸۱. پیش‌بینی تغییرات کیفیت آب و لایه‌بندی مخزن دریاچه سد چراغ‌ویس با کاربرد نرم‌افزار HEC-5Q. ششمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه دانشگاه شهید چمران اهواز.

۳- تفرج‌نوروز، ع.، رضایی‌بنیس، ف.، ایزدجو، ف.، اصغری‌پری، ا. و شفاعی‌بجستان، م. ۱۳۸۵. مدل‌سازی کیفیت آب مخزن سد کندک با استفاده از مدل HEC-5Q. هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه دانشگاه شهید چمران اهواز.

۴- سارنگ، ا.، تجریشی، م. و ابریشم‌چی، ا. ۱۳۸۰. شبیه سازی کیفی مخزن سد بوکان. مجله آب و فاضلاب، شماره ۳۷، ۱۵-۲

۵- ملکی، ر.، ولی‌سامانی، م. و محمدی، ک. ۱۳۸۵. بررسی اثر زهکش‌ها بر کیفیت آب رودخانه پسیخان به‌وسیله مدل WASP6. همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز.

6- Kuo, J. T. and Yang, M. D. 2000. Water quality modeling in reservoirs. The Fourteenth Engineering Mechanics Symposium (EM2000) of the American Society of Civil Engineers.

7- Markofsky, M. and Harleman, D.R.F. 1973. Prediction of Water Quality in Stratified Reservoir. Journal of the Hydraulics Division, ASCE. 99 (5): Proc. Paper 9030, 729.

8- Willmott, C.J. 1982. Some Comments on the Evaluation of Model Performance. Bulletin American Meteorological Society.page 1309-1313.

Archive of SID

www.SID.ir